Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Industrial
Unidad de Posgrado

Modelo de gestión para reducir los costos de la no calidad con la metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Dirección de Empresas Industriales y de Servicios

AUTOR

Daniel Alberto CHIRINOS MAGALLANES

ASESOR

Mg. Juan Gerardo HURTADO GARCÍA

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Chirinos, D. (2025). *Modelo de gestión para reducir los costos de la no calidad con la metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Daniel Alberto Chirinos Magallanes
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70365723
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0007-6811-4046
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Juan Gerardo Hurtado García
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	18008883
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-7570-3606
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Daniel Humberto Mavila Hinojoza
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06016444
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Alejandro Cornelio Gallegos Chocce
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08689922

Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Carlos Eduardo Silva Alache
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08535103
Datos de investigación	
Línea de investigación	12. Calidad, mejora y optimización de la producción. ODS 12: PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES C.17.0.12
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Cercado de Lima Calle: Germán Amezaga 325 Latitud: -12.05819 Longitud: -77.01891
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Enero 2023 - Diciembre 2024
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería Industrial https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.04

UNIVERSIDAD NACIONAL
MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, DECANA DE AMERICA

UNIDAD DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN Nº041-UPG-FII-2025

SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN DIRECCIÓN DE EMPRESAS INDUSTRIALES Y DE SERVICIOS

En la ciudad de Lima del día sábado veinte del mes de diciembre del año dos mil veinticinco, siendo las once horas, se instaló el Jurado Examinador para la Sustentación de la Tesis titulada: **"MODELO DE GESTIÓN PARA REDUCIR LOS COSTOS DE LA NO CALIDAD CON LA METODOLOGÍA LEAN SIX SIGMA, EN CONVERTIDORAS DE PAPEL TISÚ",** presentado por el **Bach. DANIEL ALBERTO CHIRINOS MAGALLANES,** para optar el Grado Académico de Magíster en Dirección de Empresas Industriales y de Servicios.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas del Jurado Examinador se procedió a la calificación individual y secreta, habiendo sido **APROBADO** con la calificación de **DIECISIETE (17) MUY BUENO.**

El Jurado recomienda que la Facultad acuerde el otorgamiento del Grado Académico de Magíster en Dirección de Empresas Industriales y de Servicios al Bach. **DANIEL ALBERTO CHIRINOS MAGALLANES.**

En señal de conformidad, siendo las **12.05 horas** se suscribe la presente acta en cuatro ejemplares, dándose por concluido el acto.

Mg. DANIEL HUMBERTO MAVILA HINOJOZA
Presidente

Mg. ALEJANDRO CORNELIO GALLEGOS CHOCCE
Miembro

Mg. CARLOS EDUARDO SILVA ALACHE
Miembro

Mg. JUAN GERARDO HURTADO GARCÍA
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

Anexo 1
CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **JUAN GERARDO HURTADO GARCÍA** en mi condición de asesor acreditado con el **DICTAMEN N°564-UPG-FII-2024** de la tesis cuyo título es: **"MODELO DE GESTIÓN PARA REDUCIR LOS COSTOS DE LA NO CALIDAD CON LA METODOLOGÍA LEAN SIX SIGMA, EN CONVERTIDORAS DE PAPEL TISÚ",** presentado por el bachiller **DANIEL ALBERTO CHIRINOS MAGALLANES** para optar el grado académico de **Magíster en Dirección de Empresas Industriales y de Servicios, CERTIFICO** que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 06% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado académico de **Magíster en Dirección de Empresas Industriales y de Servicios.**

Lima, 25 de Noviembre de 2025

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: **JUAN GERARDO HURTADO GARCÍA**
DNI: **18008883**

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi hijo Matías Chirinos y mi esposa Sandy de la Cruz, por ser el pilar fundamental en mi vida y la fuente constante de apoyo y motivación a lo largo de mi formación académica.

De manera especial a mis padres Sergio Chirinos y Mariella Magallanes, por su amor incondicional, sacrificio y ejemplo de perseverancia, valores que han guiado cada uno de mis esfuerzos y logros.

Asimismo, a mis abuelos Olinda Mesías y Luis Magallanes, por sus enseñanzas, sabiduría y palabras de aliento, que han dejado una huella imborrable en mi vida y han sido inspiración para alcanzar mis metas profesionales y personales.

A mis hermanos y demás familiares por su constante apoyo durante mi formación académica, ustedes siempre creyeron en mí.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN 1
1.1. Situación Problemática 1
1.2. Formulación del problema 3
1.2.1. Problema General 3
1.2.2. Problemas Específicos 3
1.3. Justificación 3
1.3.1. Justificación Teórica 3
1.3.2. Justificación Práctica 4
1.3.3. Justificación Metodológica 4
1.4. Objetivos 5
1.4.1. Objetivo General 5
1.4.2. Objetivos Específicos 5

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO 6
2.1. Marco filosófico o epistemológico de la investigación 6
2.2. Antecedentes de la investigación 7
2.2.1. Antecedentes nacionales 7
2.2.2. Antecedentes internacionales 10
2.3. Bases Teóricas 12
2.3.1. Definición de la Metodología Six Sigma 12
2.3.2. Estructura de la Metodología Six Sigma 14
2.3.3. Beneficios de la Metodología Six Sigma 14
2.3.4. Principios de la Metodología Six Sigma 15
2.3.5. Fases de la Metodología Six Sigma 17
2.3.6. Implementación de la Metodología Six Sigma 19
2.3.7. Sistema de Gestión de la Calidad 20
2.3.8. Definición de Control de Calidad 20
2.3.9. Costos de no Calidad 21
2.3.10. Pruebas de hipótesis 22
2.3.11. Tipos de prueba de hipótesis 22
2.3.12. Prueba de Normalidad 25
2.3.13. Igualdad de varianzas 25
2.3.14. Diseño de Experimentos (DOE) 26
2.3.15. Gráficas de control 28
2.4. Glosario 33

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA 35
3.1. Hipótesis y Variables 35
3.1.1. Hipótesis General 35
3.1.2. Hipótesis Específicas 35
3.1.3. Identificación de variables 35
3.1.4. Operacionalización de las variables 36
3.1.5. Matriz de Consistencia 37
3.2. Tipo y diseño de la investigación 38
3.3. Unidad de análisis 38

3.4. Población de estudio 39
3.5. Tamaño de muestra 39
3.6. Selección de muestra 41
3.7. Técnicas de recolección de datos 41
3.8. Análisis e interpretación de la información 42

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 43
4.1. Fase Definir 45
4.1.1. Definición de Roles del Equipo 46
4.1.2. Análisis de la voz del cliente y del negocio 50
4.1.3. Elaboración del Diagrama del Proyecto (Project Charter) 57
4.1.4. Construcción de Mapas del Proceso 59
4.2. Fase Medir 65
4.2.1. Identificación de los datos a ser medidos 65
4.2.2. Determinación de los tipos de datos y muestreo 70
4.2.3. Elaboración del plan de recolección de datos 71
4.2.4. Análisis del sistema de medición (MSA) 72
4.2.5. Medición de la situación actual del proceso 89
4.3. Fase Analizar 106
4.3.1. Análisis estadístico de la variable "Y" 106
4.3.2. Análisis estadístico de las variables "X" 116
4.3.3. Prueba de hipótesis para definir los factores que afectan el problema 124
4.3.4. Identificación de las causas raíz 126
4.3.5. Verificación de las causas raíz 128
4.4. Fase Mejorar 135
4.4.1. Listado de acciones de mejoras identificadas 135
4.4.2. Plan de Implementación de las Oportunidades de Mejora 139
4.4.3. Condiciones de operación para obtener el mejor grado de apariencia . 141
4.4.4. Análisis de impacto de las soluciones en el proceso 142
4.4.5. Beneficio del proyecto Lean Six Sigma 155
4.5. Fase Controlar 157
4.5.1. Plan de implementación de mantención del proyecto 157
4.5.2. Conclusiones de las actividades del proyecto 165
4.6. Validación de hipótesis 169
4.6.1. Hipótesis General 169
4.6.2. Hipótesis Específicas 172

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 182
5.1. Conclusiones 182
5.2. Recomendaciones 183

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 185

ANEXOS 189

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Visión General del DMAIC 18
Tabla 2. Herramientas para DMAIC 19
Tabla 3. Identificación de variables 36
Tabla 4. Matriz de Operacionalización 36
Tabla 5. Matriz de Consistencia 37
Tabla 6. Definición de Roles del equipo 46
Tabla 7. Formato propuesto de agenda 48
Tabla 8. Reglas básicas para los equipos Six Sigma 49
Tabla 9. Análisis Modelo de Kano 53
Tabla 10. Determinación del requerimiento crítico del cliente 53
Tabla 11. Evolución del indicador de productos defectuosos en L120 54
Tabla 12. Diagrama del proyecto - Proyect Charter 58
Tabla 13. Identificación de variable de entrada asociada 70
Tabla 14. Evaluaciones de los inspectores en los 3 días 73
Tabla 15. Criterios aplicados al análisis del sistema de medición 76
Tabla 16. Características principales de las variables “X” 77
Tabla 17. Mediciones de los operadores de las variables “X” 78
Tabla 18. Plan de mejora para el sistema de medición 83
Tabla 19. Especificaciones de procesos para las variables “X” 90
Tabla 20. Valores medidos de las variables “X” con su respectiva variable “Y” 91
Tabla 21. Resumen de los resultados de las variables “X” 100
Tabla 22. Información histórica de la variable “y” 101
Tabla 23. Tabla de conversión para determinar el Nivel Sigma 104
Tabla 24. Matriz de Diseño Factorial para 4 factores 110
Tabla 25. Grado de apariencia de los rollos de papel tisú 111
Tabla 26. Resultados de las pruebas 111
Tabla 27. Análisis de causa raíz empleando la Herramienta 5 Porqués 127
Tabla 28. Listado de acciones potenciales 136
Tabla 29. Nivel de importancia de las categorías 137
Tabla 30. Criterios de evaluación 137
Tabla 31. Matriz de evaluación de las oportunidades de mejora 138
Tabla 32. Plan de Implementación de las mejoras ejecutadas 140
Tabla 33. Valores medidos de las variables “X” después de las mejoras 143
Tabla 34. Resultados de los análisis de capacidad de las variables “X” 151
Tabla 35. Información de la variable “Y” después de las mejoras 152
Tabla 36. Evolución del indicador de productos defectuosos en L120 después de las mejoras 155
Tabla 37. Plan de Entrenamiento a Operadores 159
Tabla 38. Plan Difusión de Beneficios del Proyecto 160
Tabla 39. Formato de Evaluación del Equipo Six Sigma 167

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gráfica Xbarra – R 30
Figura 2. Gráfica Xbarra-S 31
Figura 3. Gráfica P 32
Figura 4. Gráfico NP 32
Figura 5. Gráfico de Cajas ANOVA 40
Figura 6. Modelo de Gestión con la Metodología Lean Six Sigma 44
Figura 7. Entregables de la Fase Definir 45
Figura 8. Proceso de determinación de VOC a CCR a CTQ 50
Figura 9. Representación del rollo de papel tisú – Modelo de Kano 51
Figura 10. Costo de reproceso por cada unidad de máquina en L120 55
Figura 11. Participación del costo de reproceso en el año 2023 en L120 56
Figura 12. Diagrama de Pareto de los modos de defectos en la unidad gofradora 56
Figura 13. Relación de VOC, CCR y CTQ 57
Figura 14. Mapa del proceso de producción – MAPA SIPOC 60
Figura 15. Diagrama de Operaciones del Proceso 61
Figura 16. Diagrama arriba – debajo del proceso 62
Figura 17. Mapa de despliegue funcional del proceso 64
Figura 18. Árbol crítico para la satisfacción, para la calidad y para el proceso 66
Figura 19. Diagrama de Ishikawa - Causa y Efecto 67
Figura 20. Variables críticas de la unidad gofradora 68
Figura 21. Diagrama de Pareto de paradas en la unidad gofradora del año 2023 69
Figura 22. Variables críticas de la unidad gofradora 71
Figura 23. Resultado del análisis del sistema de medición para atributos 75
Figura 24. Resultado del Análisis del Sistema de Medición – Variable X1 79
Figura 25. Resultado del Análisis del Sistema de Medición – Variable X2 80
Figura 26. Resultado del Análisis del Sistema de Medición – Variable X3 81
Figura 27. Resultado del Análisis del Sistema de Medición – Variable X4 82
Figura 28. Verificación del Análisis del Sistema de Medición – Variable X1 85
Figura 29. Verificación del Análisis del Sistema de Medición – Variable X2 86
Figura 30. Verificación del Análisis del Sistema de Medición – Variable X3 87
Figura 31. Verificación del Análisis del Sistema de Medición – Variable X4 88
Figura 32. Análisis estadístico de la situación actual de la variable “X1” 93
Figura 33. Análisis estadístico de la situación actual de la variable “X2” 95
Figura 34. Análisis estadístico de la situación actual de la variable “X3” 97
Figura 35. Análisis estadístico de la situación actual de la variable “X4” 99
Figura 36. Evolución histórica de Partes Por Millón (PPM) 103
Figura 37. Evolución histórica del Nivel Sigma o Índice Z 105
Figura 38. Gráfico P´ de Laney del modo de defecto sin laminación 107
Figura 39. Gráfico P´ de Laney de Enero a Junio del 2023 108
Figura 40. Gráfico P´ de Laney de Julio a Diciembre del 2023 109
Figura 41. Principales factores para el DOE de Tipo Factorial 110
Figura 42. Gráfico Normal de Efectos Estandarizados 112
Figura 43. Diagrama de Pareto de Efectos 113
Figura 44. Gráfica de Interacción para Y 114
Figura 45. Gráfico de Efectos Principales para Y 115
Figura 46. Análisis de Varianza (ANOVA) 116
Figura 47. Análisis de capacidad para la variable X1 117

Figura 48. Análisis de capacidad para la variable X2 119
Figura 49. Análisis de capacidad para la variable X3 121
Figura 50. Análisis de capacidad para la variable X4 123
Figura 51. Regresión Logística Binaria 125
Figura 52. Tipo de datos de las causas y efecto 128
Figura 53. Tabla de contingencia para la causa “a” 129
Figura 54. Tabla de contingencia para la causa “b” 131
Figura 55. Tabla de contingencia para la causa “c” 132
Figura 56. Tabla de contingencia para la causa “d” 134
Figura 57. Valores de operación para obtener el mejor grado de apariencia 141
Figura 58. Comparativo del análisis de capacidad para la variable X1 144
Figura 59. Comparativo del análisis de capacidad para la variable X2 146
Figura 60. Comparativo del análisis de capacidad para la variable X3 148
Figura 61. Comparativo del análisis de capacidad para la variable X4 150
Figura 62. Evolución de los rollos defectuosos y rollos con el modo de defecto sin laminación (PPM) 153
Figura 63. Evolución de los rollos defectuosos y rollos con el modo de defecto sin laminación (NIVEL SIGMA) 154
Figura 64. Costo de reproceso por cada unidad de máquina en L120 después de las mejoras 156
Figura 65. Formato de Control Estadístico para las Variables “X” 163
Figura 66. Formato de Control Estadístico para la variable “Y” 165
Figura 67. Evaluación de competencias del equipo Six Sigma 168
Figura 68. Prueba de normalidad Multivariable 170
Figura 69. Prueba MANOVA – Antes y después del proyecto 171
Figura 70. Prueba de Normalidad -Indicador de Productos Defectuosos 173
Figura 71. Prueba t para muestras apareadas – Ind. Productos Defectuosos 174
Figura 72. Prueba de Normalidad – Capacidad del proceso (Cp) 176
Figura 73. Prueba t para muestras apareadas – Nivel Z 177
Figura 74. Prueba de normalidad – Costos de Reprocesos 179
Figura 75. Prueba t para muestras apareadas – Costos de Reprocesos 180

RESUSMEN

La presente investigación tiene como finalidad determinar la influencia de la implementación de un modelo de gestión basado en la Metodología Lean Six Sigma para la reducción de los costos de la no calidad en una línea convertidora de papel tisú. El estudio surge ante el incremento del 128 % en el indicador de productos defectuosos durante el año 2023, atribuible a la incorporación de una nueva tecnología de rodillos gofradores con sistema punta a punta (TTT), cuya puesta en marcha generó altos niveles de variabilidad en el proceso y un costo anual de no calidad equivalente a S/ 2 248 428. Bajo un enfoque cuantitativo y un diseño preexperimental, se aplicó la metodología DMAIC para identificar las causas raíz que originaban los defectos, así como para implementar mejoras orientadas a disminuir el PPM, el nivel de reprocesos y la variabilidad de las características críticas de calidad. Durante la fase de medición se analizaron datos históricos de producción y calidad, complementados con herramientas como AMEF, Pareto, análisis de capacidad del proceso, MSA y DOE, determinando que la unidad gofradora representaba el mayor aporte al DPU total. En la fase de mejora se desarrollaron soluciones técnicas asociadas a la regulación, calibración y estandarización de las variables críticas, logrando incrementar el nivel sigma del proceso, reducir significativamente la variabilidad y disminuir los defectos más frecuentes. Finalmente, se implementaron controles estadísticos y estandarización operativa para asegurar la sostenibilidad del modelo. Los resultados demuestran que Lean Six Sigma influye positivamente en la reducción del indicador de productos defectuosos, de la variabilidad del proceso y del costo de reproceso, validando la hipótesis general y consolidándose como una metodología eficaz y sostenible para mejorar la rentabilidad y competitividad en procesos industriales del sector papelero.

Palabras clave: Lean Six Sigma, costos de la no calidad, DMAIC, variabilidad del proceso, defectos de calidad, mejora continua.

ABSTRACT

The present research aims to determine the influence of the implementation of a management model based on the Lean Six Sigma methodology for the reduction of non-quality costs in a tissue paper converting line. The study is based on a 128% increase in the indicator of defective products during 2023, attributable to the incorporation of a new technology of embossing rollers with point-to-point system (TTT), whose commissioning generated high levels of variability in the process and a non-quality annual cost equivalent to S/ 2 248 428. Under a quantitative approach and pre-experimental design, the DMAIC methodology was applied to identify the root causes of defects, as well as to implement improvements aimed at reducing the MPP, the level of reprocessing and the variability of critical quality characteristics. During the measurement phase, historical production and quality data were analyzed, supplemented with tools such as AMEF, Pareto, process capacity analysis, MSA and DOE, determining that the gauze unit represented the greatest contribution to the total DPU. In the improvement phase, technical solutions were developed associated with the regulation, calibration and standardization of critical variables, achieving an increase in the process sigma level, a significant reduction in variability and a decrease in the most frequent defects. Finally, statistical controls and operational standardization were implemented to ensure the sustainability of the model. The results show that Lean Six Sigma has a positive influence on reducing the indicator of defective products, process variability and reprocessing costs, Validating the general hypothesis and consolidating it as an effective and sustainable methodology to improve profitability and competitiveness in industrial processes of the paper sector.

Keywords: Lean Six Sigma, non-quality costs, DMAIC, process variability, quality defects, continuous improvement.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Situación Problemática

Actualmente, el sector papelero enfocado en la fabricación de productos tisú enfrenta diversos desafíos que impactan tanto en la competitividad como en la sostenibilidad; entre los principales agentes se encuentra la escasez y encarecimiento de materias primas, una fuerte presión por la sostenibilidad impulsadas por los consumidores y las regulaciones que exigen adoptar procesos más sostenibles, como el uso de fibras recicladas, energías renovables y la reducción de desperdicios. Los productos comercializados en el mercado deben poseer una calidad excepcional y satisfacer las expectativas de los consumidores, los productos tisú son considerados “commodities”, donde el precio es un factor decisivo para los consumidores, generando una fuerte presión competitiva que obliga a las empresas a operar con márgenes muy estrechos, debido a ello sus procesos deben ser optimizados y estandarizados, para reducir los productos defectuosos que se puedan generar en sus líneas convertidoras.

La empresa perteneciente al sector papelero PRODUCTOS TISSUE DEL PERÚ S.A. es una de las subsidiarias del Holding Forestal CMPC; que fue fundada en el año 1920. Su sede principal se encuentra en Chile y opera en el mercado latinoamericano; en Perú, la empresa comenzó sus actividades en julio de 1995 con un equipo de 1,300 colaboradores. La planta dedicada a la fabricación y conversión de papel tisú está situada en el distrito de Santa Anita, en la provincia de Lima y tiene una capacidad de producción de 100 000 toneladas anuales, en el año 2018 se inauguró una nueva planta

de producción, equipada con tecnología avanzada y completamente automatizada, que tiene una capacidad de 72 000 toneladas anuales y se localiza en el distrito de San Vicente, en la provincia de Cañete, departamento de Lima. Entre sus principales ventajas competitivas, la empresa se destaca por su capacidad para satisfacer las necesidades de sus clientes, ofrecer productos de alta calidad y garantizar entregas a tiempo mediante una efectiva estrategia de distribución.

A principios del año 2023, la alta dirección decide adquirir e instalar una nueva tecnología de rodillos gofradores llamada "Sistema Punta a Punta (TTT, por sus siglas en inglés)", esta tecnología es instalada en la unidad "Gofradora" en una de las líneas convertidoras de la marca PERINI, con el objetivo de ganar diámetro, resistencia y suavidad en los rollos de papel tisú, anteriormente se utilizaba un sistema "Gofraencola (GIC)", el cual se tenía controlado con respecto a las variables físicas de calidad o de atributos, center line de variables críticas de la unidad gofradora, la operación conocía a detalle el know how en temas de regulación y calibración de rodillos. Al ser una nueva tecnología la operación se encuentra determinando los componentes críticos con respecto a temas mecánicos o eléctricos, que requieran mantenimiento o cambio en el tiempo por desgaste y que presentan un alto grado de correlación con el impacto de las variables físicas y de atributos de calidad en el producto terminado, durante el primer año de operación con esta nueva tecnología se observa en el indicador de producto defectuoso un incremento del 128% con respecto al año 2022, al cierre del año 2023 el indicador alcanzado es de 3.58% y para el año 2022 fue de 1.57%; por ende no se logró alcanzar la meta de 1.5% para el año 2023 establecida por la gerencia de operaciones.

Se produce en esta línea aproximadamente 1250 t/mes de producto terminado, el rechazo promedio mensual es de 47 t/mes con un PPM de 35 809 y un nivel sigma de 3.30 en el año 2023; para el año 2022 el PPM fue de 15 722 con un nivel sigma de 3.65 se observa un incremento considerable para el año 2023 con respecto a la identificación de defectos de calidad en el proceso, el costo de fabricación promedio es de S/ 4097/t, dando un acumulado anual para el año 2023 de S/ 2 248 428 correspondiente al costo de la no calidad que impacta directamente en la productividad y rentabilidad de la organización.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el efecto de la implementación de un modelo de gestión para reducir los costos de la no calidad con la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú?

1.2.2. Problemas Específicos

a) ¿Cómo influye en la reducción del indicador de productos defectuosos al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú?

b) ¿Cómo influye en la reducción de la variabilidad del proceso al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú?

c) ¿Cómo influye en la reducción del costo de reproceso al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú?

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación Teórica

Los principios de la calidad total, que hacen hincapié en la importancia de la mejora continua, la satisfacción del cliente y la eliminación de defectos en los procesos de producción, son uno de los principales fundamentos teóricos en los que se basa la metodología Lean Six Sigma y que respaldan su aplicación para reducir el número de productos defectuosos. La empresa puede aumentar su competitividad en el mercado

y satisfacer las exigencias de calidad de los clientes reduciendo el número de productos defectuosos. Mediante el análisis de la variabilidad inherente al proceso de producción provocada por la instalación de los nuevos rodillos gofradores con sistema punta a punta se evaluó el comportamiento de las variables del proceso en función a los parámetros de calidad establecidos por su especificación técnica del producto, el cual busca minimizar la variabilidad para garantizar la consistencia y calidad del producto final. La gestión por procesos es el eje principal de la metodología Lean Six Sigma, que consiste en examinar y mejorar los procesos de las líneas de producción para aumentar la calidad y la eficacia; también promueve la participación activa de los colaboradores en los diferentes niveles organizacionales y el desarrollo de líderes que hayan recibido formación en la metodología.

1.3.2. Justificación Práctica

Debido a que en los diferentes canales de ventas se ofrecen precios competitivos, mejores atributos y una mejora en la calidad de los diversos productos; por consecuencia, la competencia en el mercado nacional se ha incrementado significativamente en los últimos años. En la empresa se ha instalado una nueva tecnología, lo que está generando altos costos de la no calidad en 189 % más con respecto al año 2022, al cierre del año 2023 alcanzó un valor con respecto al costo de reproceso de S/ 2 248 428. Lo que se requiere con urgencia es revisar las principales características de calidad e identificar los principales defectos de mayor frecuencia en el proceso, para reducir el indicador de productos defectuosos aplicando una metodología que sea sostenible en el tiempo, que reduzca los costos asociados a la no calidad y que mejore la satisfacción de los consumidores. Al ofrecer productos de mejor calidad que la competencia, la empresa puede destacarse y aumentar la participación en los canales de venta; generando mayor rentabilidad para el negocio. La metodología Lean Six Sigma se ha probado en varios sectores, con resultados positivos y un cambio en la cultura del lugar de trabajo.

1.3.3. Justificación Metodológica

En esta investigación se aplicará la Metodología Lean Six Sigma el cual ofrece un enfoque sistemático, basado en la recopilación de información y analítica de datos para

entender la variabilidad del proceso e identificar las principales causas de los problemas asociadas a la calidad. El enfoque se basa en un ciclo de mejora continua denominado DMAIC (Definir, medir, analizar, mejorar y controlar), que ofrece un marco sistemático y transparente para el proceso de mejora utilizando las herramientas adecuadas para cada fase; también hace hincapié en la importancia de escuchar y comprender las necesidades de los consumidores, asegurándose de que las mejoras realizadas estén alineadas con la expectativa y requisito del mercado. García (2019) en su tesis "Optimización en la producción mediante la aplicación de la Metodología Six Sigma para una empresa papelera de la región sur del país", donde concluye que al aplicar las fases del DMAIC, se logra reducir considerablemente los reclamos por parte de los clientes en un 86% y generando un incremento del 5% de las ventas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar la influencia de la implementación de un modelo de gestión para reducir los costos de la no calidad con la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú.

1.4.2. Objetivos Específicos

a) Determinar la influencia en la reducción del indicador de productos defectuosos al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú.

b) Determinar la influencia en la reducción de la variabilidad del proceso al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú.

c) Determinar la influencia en la reducción del costo de reproceso al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco filosófico o epistemológico de la investigación

Explorar nuevas metodologías o ya existentes que puedan reducir o eliminar la variabilidad de los procesos es necesario ante el incremento de los costos de la no calidad como consecuencia de una deficiente gestión de la calidad. La variable independiente en estudio es la Metodología Lean Six Sigma y como variable dependiente son los Costos de la no Calidad, las organizaciones tienen la necesidad de conocer los principales factores que puedan estar afectando el desempeño o cambios significativos debido a instalaciones de nuevas tecnologías en el proceso, dando origen al análisis de las problemáticas para determinar las posibles fuentes que producen fallas recurrentes que afectan la calidad e impacto negativo en la eficiencia de la producción; sin embargo, podemos ir descartando cada posible causa empleando herramientas estadísticas, verificación en campo y diálogo directo con los colaboradores que intervienen en los procesos; al determinar las verdaderas causales debemos implementar planes de acción para reducirlos o eliminarlos, estos deben planificarse y a la vez determinar la efectividad de las actividades propuestas.

El principal objetivo de la metodología es minimizar la variabilidad de los procesos y eliminar los defectos para obtener productos de alta calidad, sus beneficios son múltiples pero lo más resaltante es la disminución de los costos relacionados con la baja calidad, incremento en la eficiencia y la identificación de las variables críticas del proceso que están relacionados con la calidad; se ha demostrado a lo largo del tiempo

que es una metodología muy potente en las industrias de bienes y servicios; generando ahorros significativos para las organizaciones, en el contexto actual las empresas buscan llegar a la excelencia operacional empleando diversas metodologías, el punto de quiebre es analizar las diversas causas que desencadenan un problema y emplear la herramienta correcta para el logro de los objetivos.

2.2. Antecedentes de la investigación

2.2.1. Antecedentes nacionales

Con el fin de comprender las variables en diversos entornos y en consecuencia el impacto de la Metodología Six Sigma en las organizaciones; el presente estudio se basa en diversos análisis que se han realizado a lo largo del tiempo por otros investigadores. Se examinaron las siguientes contribuciones:

Calderón (2020) en su tesis "Implementación de la metodología Lean Six Sigma para mejorar la productividad en una empresa de plásticos", este estudio examina el impacto al emplear la Metodología Six Sigma en el proceso de producción, donde se utiliza las cinco etapas estructuradas llamada DMAIC, el producto terminado que se obtiene al final del proceso es evaluado, donde se identifica que la variable física gramaje presenta valores dispersos con respecto al gramaje nominal, lo cual genera que los pesos sean más elevados de lo que indica la especificación técnica del producto terminado, que de acuerdo a lo establecido por el cliente el estándar es de 1050 g/m2, por consecuencia se está consumiendo más resina de policarbonato, el costo de producción es más elevado y el margen de contribución se reduce, además se observa un exceso de los desperdicios de resina en el proceso. Los resultados fueron favorables como la reducción de la variabilidad y la media de la variable física gramaje, pasó de 1066.5 g/m2 a 1050.95 g/m2 y la desviación estándar de 17.19 a 11.22 g/m2. El Nivel Sigma se incrementó de 1.95 a 4.17, dando un DPMO de 3793, generando un menor consumo mensual de 2727 kg de materia prima.

Mallqui (2018) en su tesis “Aplicación de la metodología Six Sigma para reducir la merma de scrap en el proceso de fabricación de sacos de polipropileno”, se plantea la Metodología Six Sigma como una herramienta asociada a la excelencia operacional dentro de la cultura organizacional de una industria especializada en producir y vender productos de plástico. Al realizar un análisis inicial, se identifica dificultad para reducir el indicador de porcentaje de merma con respecto a la producción total; al cierre del año 2016 el indicador acumulado fue de 5.5% y en el primer semestre del año 2017 se tiene un acumulado del 5%; mostrando solo una mejora del 0.5% se decide aplicar las cinco fases del enfoque DMAIC. Luego de implementar cada fase, se determinó que el 85% del porcentaje de merma provienen de los procesos de extrusión y telares; al concluir con la implementación, en el segundo semestre del año 2017 se logra reducir el porcentaje de merma a 3.8% y en el primer semestre del año 2018 se alcanza un 3.7%, generando un ahorro anual de 117 mil dólares americanos.

Facho (2017) en su tesis “Mejora de Procesos en una empresa textil exportadora mediante la metodología Six Sigma”, la organización analizada opera en el rubro textil y de confecciones, destacándose por su integración vertical, esto significa que abarca todas las fases de producción, desde el desmotado del algodón hasta la fabricación de prendas. En el primer semestre del año 2015 se detectó que el indicador: Porcentaje de tela no exportable (%N.E.) el cual engloba los metros de tela que no cumplen con los parámetros de calidad para ser exportados presentaban una tendencia creciente y por encima de la meta de 4% definida por la Alta Dirección. Ante esta situación se decide utiliza la Metodología Six Sigma como un Sistema de Mejora Continua, con la finalidad de reducir el % N.E. perteneciente a los indicadores de gestión de calidad. Al aplicar las fases claves de la metodología Six Sigma: definir, medir, analizar, mejorar y controlar (DMAIC); al finalizar el proyecto se implementó mejoras en el proceso, se evidencia una tendencia decreciente de los indicadores de gestión de calidad relacionados con el indicador de porcentaje de tela no exportable, tela fuera de tono y tela de segunda calidad, alcanzando una mejora del 7.28% en el nivel sigma del proceso, por consecuencia se generaron ahorros que ayudan a la empresa a ser más rentable, por temas de confidencialidad no se pueden develar las cifras monetarias.

Reinoso (2016) en su tesis “Propuesta de mejora para la reducción de productos defectuosos en una planta de producción de neumáticos aplicando la metodología Six Sigma”, la investigación se centra en elaborar una propuesta de mejora destinada a disminuir los productos defectuosos en una empresa de neumáticos mediante la implementación de la Metodología Six Sigma como una herramienta de excelencia operacional. Al aplicar las etapas definir, medir, analizar, mejorar y controlar (DMAIC); en el impacto económico se evidenció que los ahorros derivados de la eliminación de los costos asociados a la falta de calidad superan la inversión mínima necesaria para garantizar la calidad de los neumáticos. Esto indica que es importante mejorar la calidad de los productos en la empresa, creando un cambio de cultura organizacional con el enfoque de generar conciencia en la fuerza operativa y táctica. Se logró un costo/beneficio del proyecto en 254 975 USD lo que representa un ahorro significativo para la organización, este ahorro posibilita que el equipo pueda emprender otros proyectos adicionales, por lo tanto, la implementación de la metodología es altamente beneficiosa.

Delgado (2015) en su tesis “Propuesta de un plan para la reducción de la merma utilizando la metodología Six Sigma en una planta de productos plásticos”, la investigación se origina debido a la necesidad de disminuir el scrap en una empresa que fabrica frascos de plásticos que se emplean en el sector alimentario, cosmético y farmacéutico. De acuerdo con la revisión de la información histórica se alcanzó un scrap del 21% en el año 2014, muy por encima de la meta del 5%, ante esta alarmante situación es recomendable emplear el uso de la metodología Six Sigma por sus diversos beneficios en la mejora de la calidad y reducción de productos defectuosos. Luego de aplicar los pasos de la metodología, se logró implementar mejoras, en dos meses se evidenció una mejora importante del 5% con respecto al cierre del año anterior, confirmándose la efectividad de la metodología Six Sigma en la disminución del scrap, los resultados del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) en el análisis económico efectuado indican un retorno positivo y una rentabilidad que respalda la implementación del proyecto.

2.2.2. Antecedentes internacionales

Pacheco y Gómez (2022) en su tesis "Aplicación de la metodología Six Sigma para el incremento de la productividad del proceso de envasado de cilindros de gas licuado de petróleo", el objetivo de la investigación es aplicar la metodología Six Sigma para incrementar la productividad en el proceso de envasado de cilindros de GLP, debido a la baja productividad de las maquinarias para generar GLP es muy escasa, la tecnología se encuentra desfasada debido a que no se han adquirido nuevas tecnologías. Al emplear la metodología Six Sigma como alternativa de solución proporciona beneficios a la empresa, su implementación ofrece mejoras en el método de trabajo y lo trasforma en un enfoque sostenible en el tiempo. Se determinó que es necesario aumentar la cantidad de balanzas para reducir el tiempo de llenado, además se debe realizar un mantenimiento preventivo de una vez por semana por temas de seguridad y vida útil de las maquinarias, también se verificó que no es necesario contratar personal adicional para mejorar el proceso. Al terminar la implementación se logró incrementar la productividad 1680 USD/hora a 2671.2 USD/hora, generando una rentabilidad mayor a la organización.

Fortunio (2019) en su tesis "Aplicación de metodología Six Sigma hasta fase de mejorar para la reducción de variación de espesor en la producción de láminas de vinil en empresa de autopartes", el objetivo principal de la investigación es reducir la variabilidad de la variable física espesor en una línea de fabricación de láminas de vinil que se utiliza como aislante acústico. Al aplicar la metodología Six Sigma se detectó que el indicador de rechazo de las láminas de vinil en unidades monetarias es 69 491 dólares americanos al año que representaba pérdidas para la organización, se realizó mediciones de la variable física espesor en los diversos turnos operativos dando como resultado una alta variación por lo que se concluyó que las posibles causas que la originan se atribuyen a las variables del proceso, se determinó 2 variables que influyen en gran medida en la variación del espesor de la lámina de vinil: la velocidad de las bandas trasportadora y la temperatura de la fórmula. Se estableció como mejora trabajar la velocidad de la banda trasportadora en un rango de trabajo de 10m/min hasta 11.5m/min y la temperatura de fórmula en una rango de trabajo de 175 °C hasta 185°C, con estas mejoras se logró reducir los defectos por millón de oportunidades de la variable física espesor en un 75%, lo cual representa un costo de reproceso de 32 380

dólares al año, por consecuencia se alcanzó una reducción del 52% en el costo de reproceso con respecto al año anterior, demostrando la relevancia del control de las variables en el proceso.

González (2021) en su tesis "Estudio para reducción de porcentaje de desperdicio (merma) en el proceso de soplado de una manufacturera de envases plásticos aplicando Lean Six Sigma", el objetivo general es identificar las razones principales a través del análisis del indicador de desperdicio en la operación de soplado utilizando la metodología Lean Six Sigma. La empresa está presentando un inconveniente que no ha podido resolver con el trascurrir del tiempo, debido a que el indicador de desperdicio se encuentra por encima de la meta establecida por la gerencia, es por ello que ha tomado la decisión emplear la metodología DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar) que permita identificar las posibles causas y los puntos críticos a mejorar. Se concluyó que es fundamental implementar un plan de mantenimiento preventivo para todas las líneas de producción, además de realizar capacitaciones al personal técnico y operativo para la ejecución de las diferentes actividades que se detallen en el plan preventivo.

Augusto (2021) en su tesis "Un enfoque Lean Six Sigma en una fábrica de ladrillos suelo-cemento para viviendas sociales", el objetivo principal del estudio es implementar la metodología Six Sigma en el proceso de alfarería ecológica, se aplicó cada una de las fases del DMAIC, se evaluó la producción actual de la línea de producción identificando los defectos de calidad en el producto terminado, dando un nivel sigma de 2.6 además de identificar el principal defecto de calidad es cual es baja resistencia a la compresión, esto influye directamente en otros defecto como fisuras y segregación. Las causas raíz de mayor impacto encontrados por medio del diagrama de espina de pescado y FMEA fueron: falta de calibración de las máquinas, curado inadecuado, falta de optimización de la cantidad de agua en la mezcla, material inadecuado y el contacto directo de los ladrillos almacenados con humedad. Al implementar las medidas de corrección en la línea de producción, se incrementó la productividad de 25 ladrillos/h a 31.25 ladrillos/h, además el nivel sigma se incrementó a 3.5; por lo tanto, se concluye que la metodología Six Sigma mejora la calidad del producto y mejora la productividad de la producción.

Maldonado (2021) en su tesis “Propuesta para la disminución del indicador de merma en inventario de producto tercerizado en la Empresa Decoraciones Davids SAS utilizando herramientas de la metodología Lean Six Sigma”, el objetivo central es generar una propuesta mediante la Metodología Six Sigma, para reducir el indicador de merma en el inventario de producto tercerizado. La organización tiene como meta reducir el indicador de merma que actualmente está afectando al 30% del capital invertido, lo que hoy es un sobrecosto y provoca que el negocio no sea rentable. Mediante la metodología Six Sigma se propone mejoras en las métricas al comparar datos obtenidos durante el muestreo con las propuestas para el mismo período tanto mensual como anual, estas mejoras se reflejan en los siguientes resultados: el DPU disminuye de un promedio de 0.774 defectos a 0.259, el DPO reduce de 0.269 oportunidades de falla por mes a 0.129 y el DPMO disminuye de 168.82 meses con excesos de inventario a 129.03 meses, además la bodega de producto tercerizado alcanza un nivel sigma de 2.6. Luego de la implementación y ejecución de las estrategias se proyecta una reducción del 4.2% del costo de mantenimiento de inventario, otro punto es la reducción de pérdidas durante el desempaque y corte disminuye resultando un ingreso total de $79 500.49; en comparación con la pérdida anterior de $39 866.25 al desechar dichos productos. El indicador de devolución se mantiene estable en 6 805 manteles al año debido a la continuidad en la demanda.

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Definición de la Metodología Six Sigma

A principios de los años ochenta dos factores motivaron a los fabricantes estadounidenses a incrementar sus niveles de calidad, en primer lugar, la introducción de componentes electrónicos japoneses asequibles y de alta calidad; en segundo lugar, la fabricación en masa de componentes electrónicos como los transistores. Como respuesta a estos sucesos, las empresas estadounidenses pusieron en marcha varios programas destinados a mejorar la calidad de sus productos, entre ellos estaba la

Metodología Six Sigma, presentada por primera vez por Motorola a principios de la década de 1980, el objetivo era mejorar los procedimientos organizativos y reducir el porcentaje de los productos defectuosos a 3,4 partes por millón. Para realizar una correcta implementación se requiere de estadística descriptiva e inferencial y de herramientas de diagnóstico para determinar los problemas que generan deficiencias en la calidad de los productos, con el fin de establecer planes de acción que generen resultados favorables en el proceso.

De acuerdo con los estudios del Dr. W. Edwards Deming (1900-1993), la variabilidad en los procesos de bienes o servicios genera productos defectuosos o insatisfacción en los clientes, por tal motivo es importante que las organizaciones centren sus esfuerzos en mejorar constantemente y empiecen a difundir en todos sus niveles la cultura de la mejora continua. En estadística, el símbolo griego sigma representa a la desviación estándar, el cual se utiliza para representar la variabilidad de cualquier proceso; un proceso debe tener seis desviaciones estándar que se sitúe dentro de los límites de especificación superior e inferior indicadas por el cliente, suponiendo que los datos extraídos del proceso sigan una distribución normal, se podrá determinar el nivel Six Sigma, el cual es un índice de capacidad de proceso que nos ayuda a comparar el porcentaje de productos sin defectos de una o más organizaciones que se encuentran en el mismo sector e inclusive entre líneas de producción.

Six Sigma es una metodología de gestión que se basa en un enfoque para controlar las variables de calidad de los diversos procesos que existen en una organización, se emplea herramientas estadísticas para determinar la variabilidad y la capacidad del proceso, en función a los resultados se plantean acciones concretas para mejorar la calidad de los productos, esto ayuda a las empresas a comprender mejor las exigencias y necesidades de sus clientes internos o externos. Para lograr el éxito en la implementación se hace uso del ciclo DMAIC que consta de las fases: definir, medir, analizar, mejorar y controlar.

2.3.2. Estructura de la Metodología Six Sigma

La correcta implementación de la metodología Six Sigma es fundamental para alcanzar el objetivo principal de optimizar los procesos de una empresa y mejorar la calidad de los productos, se emplean las cinco fases que determinan el éxito del proyecto:

a) Es imperativo definir de manera precisa el proyecto o inconveniente de calidad, recolectando datos suficientes para comprender las necesidades del cliente.
b) Medir las variables del contexto que genera el problema, empleando el control estadístico de procesos (SPC) en función a los datos extraídos.
c) Analizar las razones detrás del problema, empleando la aplicación de métodos estadísticos sólidos, tales como el Diseño Experimental, el Contraste de hipótesis y los Modelos Lineales.
d) Mejorar las condiciones actuales del proceso mediando la identificación y medición de los factores críticos del proceso; implementando soluciones específicas para cada causa identificada y evaluando los resultados a través del Análisis de modo y efecto de falla (AMEF).
e) Controlar las variables fundamentales del proceso con el objetivo de prevenir la recurrencia del problema de calidad.

2.3.3. Beneficios de la Metodología Six Sigma

A través de la detección y erradicación de fallos o defectos de calidad, la metodología Six Sigma se presenta como un instrumento de gestión de calidad cuyo propósito es incrementar la calidad no solo del producto sino también de los procesos. A continuación, se detallan algunos beneficios al utilizar la metodología:

a) Se centra en reducir la variabilidad de los procesos, lo cual reduce la cantidad de errores o defectos en los bienes producidos o los servicios prestados.

b) Los procesos se vuelven más eficientes al reducir los defectos de calidad y la variabilidad en el proceso, lo que puede generar reducción en los costos de producción, calidad y además puede reducir el tiempo de ciclo.

c) La satisfacción del consumidor puede incrementar al cumplir con las expectativas y necesidades que requieren los consumidores al ofrecer productos o servicios de mayor calidad.

d) Nos ayuda a emitir juicios basados en datos y análisis estadísticos; lo que reduce la subjetividad, incrementa la exactitud en la detección de problemas y la búsqueda de soluciones.

e) Fomenta una cultura organizativa orientada hacia la mejora continua, en la que los equipos colaboran para encontrar diversas posibilidades de mejora y aplicar soluciones prácticas.

f) Al reducir los defectos de calidad en las operaciones y mejorar la eficiencia del proceso se puede lograr un incremento en la rentabilidad corporativa mediante la reducción de los costos de producción, la minimización de los costos de reprocesos, incremento de la productividad y la mejora de las ventas en los diferentes mercados donde se mueve la organización.

2.3.4. Principios de la Metodología Six Sigma

Es fundamental crear una cultura basada en la metodología Six sigma, para ello se requiere conocer y desplegar los principios en todos los niveles organizacionales para que sea sostenible y sólida en el tiempo, de acuerdo con Gutiérrez y De la Vara (2013) fundamenta que los principales son los siguientes:

a) Liderazgo comprometido de arriba hacia abajo: Se refiere a la importancia de que los líderes ejecutivos pertenecientes al nivel estratégico de la organización respalden y lideren los esfuerzos de la implementación de la metodología Six Sigma, esto implica que lo líderes deben estar comprometidos activamente con los objetivos y los procesos de mejora; no solo de manera nominal sino también involucrándose permanentemente en el proceso, esto envía un mensaje claro al nivel táctico y operativo de la empresa sobre la importancia de la calidad y la mejora continua realizando un despliegue de arriba hacia abajo.

b) Orientación al cliente: Implica identificar y comprender las necesidades, expectativas, requerimientos de los clientes y del tipo de mercado donde se encuentra ofertando la empresa; en lugar de basar las decisiones únicamente en las percepciones internas del área comercial. La metodología Six Sigma buscar comprender a profundidad lo que los clientes valoran y consideran necesario e importante en el producto o servicio; bajo ese principio la organización se enfoca en la mejora de los procesos organizacionales para satisfacer y superar las expectativas de los consumidores, con el objetivo de mejorar los indicadores de calidad y reducir o eliminar los reclamos externos del mercado.

c) Enfoque basado en datos y hechos: Se centra en la práctica a la toma de decisiones en los procesos basados en evidencias cuantitativas y análisis estadísticos en lugar de opiniones o suposiciones subjetivas; se recolectan datos relevantes sobre el proceso o problema en cuestión esto puede incluir mediciones de rendimientos, variables de proceso, información de clientes, etc. De los datos recolectados se analizan en detalle para comprender la situación actual y encontrar oportunidades de mejora, utilizando técnicas y herramientas estadísticas para analizar los datos de manera objetiva; existen una gran cantidad de herramientas por ejemplo los histogramas, gráficos de control, análisis de regresión, análisis de varianza, entre otros; ayudando en la toma de decisiones para mejorar el proceso basado en los resultados del análisis de datos.

d) Enfoque en los procesos: Se refiere al mapeo detallado de los procesos para comprender cómo se llevan a cabo actualmente, esto implica identificar las entradas, las actividades, las salidas y los puntos de control en el proceso que son fundamentales en la generación de bienes o servicios de una organización, para lograr mejoras significativas en la calidad y eficiencia en los procesos es fundamental primero entender cómo funcionan, el mapeo de los procesos también nos ayuda a identificar actividades innecesarias que no agregan valor, eliminar desperdicios y reducir la variabilidad que se genera producto de una deficiente estandarización de procesos.

e) Enfoque en la mejora continua: Se centra en una cultura organizacional que valora y promueve la mejora continua en el nivel operativo, táctico y estratégico; generando que los colaboradores se sientan empoderados para identificar las causas de los problemas, proponer soluciones innovadoras y participar activamente en propuestas creativas para generar nuevos productos que sean competitivos en el mercado, es importante capacitar y formar a todos los niveles organizacionales en metodologías de excelencia operacional, siendo una de las principales el ciclo de Deming que se basa en planificar, hacer, verificar y actuar (PDCA) que da origen a la metodología Six Sigma el cual tiene 5 fases: definir, medir, analizar, mejorar y controlar (DMAIC), para gestionar proyectos de mejora de manera sistemática y estructurada; lo cual permite identificar áreas de oportunidad, implementar soluciones, verificar su eficacia y ajustarlas según sea necesario para lograr los objetivos de la organización.

2.3.5. Fases de la Metodología Six Sigma

En la investigación se empleará la metodología Six Sigma que se compone de cinco fases conocidas como DMAIC por sus siglas en inglés, las cuales son: definir, medir, analizar, mejorar y controlar, es muy parecido al modelo PDCA (Planificar, hacer, verificar y actuar). Pyzdez (2003) indica que la metodología Six Sigma está compuesta por cinco fases conocida como DMAIC que se utiliza para organizar el proyecto de una manera esquematizada y sistemática. A continuación, se detalla (ver Cuadro 1) lo siguiente:

Tabla 1. **Visión General del DMAIC**

D	Definir los objetivos específicos del proyecto se realiza a partir de las percepciones de los clientes. Los objetivos estratégicos de la organización se sitúan en el nivel superior de los objetivos, tales como un incremento en la fidelidad de los clientes, un incremento en el entorno de inversión o en la cuota de mercado, o un incremento en la satisfacción del personal. A nivel táctico, los objetivos podrían abarcar la disminución del índice de defectos y el incremento del rendimiento para un proceso específico.
M	Recopilar y medir los datos relevantes relacionados con el proceso que se está analizando, estos pueden ser mediciones, registros de rendimientos, datos transaccionales u otra información que sea necesaria para comprender el funcionamiento del proceso. Establecer medidas específicas para evaluar el desempeño del proceso, estas deben ser cuantificables, objetivas y estar alineadas con los objetivos del proyecto establecido en la fase anterior.
A	Analizar los datos recopilados con herramientas estadísticas para identificar patrones, tendencias, relaciones y posibles causas de problemas dentro del proceso. Realizar un análisis profundo para identificar las causas raíz de los problemas o las fuentes de variación que afectan al proceso, se debe priorizar en función de su impacto y su capacidad para contribuir a los problemas observados permitiendo enfocar los esfuerzos de mejora en las causas más significativas y relevantes.
I	Mejorar el proceso, el equipo del proyecto debe generar ideas y soluciones potenciales para abordar las causas raíz identificadas, fomentado la creatividad y explorar diversas formas de hacer las cosas mejor, más económico, o más rápido. Evaluar las soluciones propuestas en función de criterios predefinidos como su viabilidad, efectividad, consto y factibilidad de implementación. Se puede utilizar el diseño de experimentos para investigar la relación entre variables y optimizar el proceso de manera sistemática, permite identificar la combinación óptima de factores que maximiza el rendimiento del proceso.
C	Controlar las mejoras implementadas, establecer planes detallados que especifican cómo se monitoreará y se controlará el proceso después de la implementación de las mejoras, estos planes incluyen medidas específicas, frecuencia de monitoreo, responsabilidades del equipo y acciones correctivas a tomar en caso de desviaciones. Definir indicadores clave de rendimiento (KPIs), tableros de control, gráficos de control y otras herramientas para detectar cualquier desviación del objetivo.

Fuente. Información tomada de Pyzdek (2003)

Evans et al. (2008) afirma que dos de las características principales de las fases del DMAIC se enfoca en los requisitos del cliente y en la utilización de instrumentos y métodos estadísticos. La metodología Six Sigma incorpora estas herramientas y las fases del DMAIC en los sistemas gestión de toda la administración. A continuación, se presenta la lista de las herramientas y metodologías más utilizadas en las fases del DMAIC (Ver Cuadro 2).

Tabla 2. **Herramientas para DMAIC**

D	❖ Carta del proyecto ❖ Costo del análisis de calidad ❖ Análisis de Pareto ❖ Proceso de mapeo de alto nivel
M	❖ Hojas de chequeo ❖ Estadística descriptiva ❖ Medición y sistemas de evaluación ❖ Análisis de la capacidad del proceso ❖ Benchmarking
A	❖ Mapeo detallado del proceso ❖ Interferencia estadística ❖ Diagramas causa-efecto ❖ Modo de falla y análisis de los efectos ❖ Análisis de causa raíz
I	❖ Diseño de experimentos ❖ Diseño de errores ❖ Producción esbelta ❖ Ciclo Deming ❖ Siete herramientas de la administración y la planeación
C	❖ Control estadístico de procesos ❖ Procedimientos de operación estándar

Fuente. Información tomada de Evans et al. (2008)

2.3.6. Implementación de la Metodología Six Sigma

Gutiérrez (2013) afirma que la implementación de la metodología Six Sigma se apoya en un comité directivo, estos deben ser entrenados y capacitados para lograr alcanzar los objetivos y el éxito del proyecto.

De acuerdo con Valderrey (2011) indica que la implementación de la metodología Six Sigma se logra uniendo todas las áreas de la organización, excluyendo las barreras entre los departamentos y generando una comunicación fluida; es fundamental enfocarse en el cliente, por ejemplo: la empresa ofrece un buen producto a los consumidores; sin embargo, los tiempos de entrega y el servicio de atención al cliente

son deficientes, no servirá de nada el proyecto debido a que los clientes mostrarán insatisfacción.

Krajewski et al. (2008) sustenta que es de suma importancia que la implementación de la metodología Six Sigma para que sea un programa exitoso se debe tener claro que no es producto que se pueda comprar o adquirir de una manera rápida y sencilla, sino que se requiere de mucho compromiso y disponibilidad de tiempo.

2.3.7. Sistema de Gestión de la Calidad

De acuerdo con la ISO 9000 (2015) sostiene que se trata de un sistema de gestión estructurado y sistemático diseñado para la administración y dirección de una organización en relación a temas de calidad del producto o servicio. Este sistema se basa en principios de gestión de calidad, tales como el enfoque en los clientes, el liderazgo, la participación de los colaboradores, el enfoque basado en procesos, la mejora continua y la toma de decisiones basada en datos. Además, debe estar ideado y adaptado específicamente para cumplir con las expectativas y requerimientos de la organización, así como también para cumplir con los requisitos de las partes interesadas pertinentes, como clientes, colaboradores y reguladores; requiere establecer políticas de calidad, así como también la implementación de indicadores de seguimiento para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad deseados.

2.3.8. Definición de Control de Calidad

Calidad es el índice de excelencia operacional establecido y el control de la variabilidad en el alcance de esa excelencia en respuesta a los requerimientos de los clientes, debido a que es la pieza más importante de la cadena de abastecimiento.

Enrick (1989) indica que el control de calidad en una empresa adopta medidas de control para garantizar que los bienes producidos cumplan con la especificación técnica y normas vigentes del país. Estas acciones pretenden garantizar que los bienes y servicios cumplen sus requisitos funcionales de rendimiento, lo que reduce los costos y aumenta la productividad.

El control de calidad se centra en el proceso, reforzándolo mediante la mejora continua para fabricar un producto sin defectos que se pueda generar al pasar por cada una de las etapas de producción, reduciendo la probabilidad de que un producto no cumpla con los parámetros de calidad o especificación técnica.

2.3.9. Costos de no Calidad

Los costos de no calidad también son llamados costos de calidad negativos, se refiere a los gastos asociados con la falta de calidad en los bienes o servicios; estos derivan de las actividades o tareas que no agregan valor a los consumidores y pueden clasificarse en dos categorías principales:

a) Costos de fallas internas: Estos son los costos asociados con los bienes o servicios que no cumplen con los estándares de calidad internos de la organización antes de que sean entregados al cliente, incluyen el retrabajo de productos defectuosos, el desecho de productos no conformes, las reparaciones realizadas durante la producción, el tiempo y los recursos dedicados a la corrección de las deficiencias internas con respecto a temas de calidad.

b) Costos de fallas externas: Estos son los costos relacionados con los bienes y servicios que no cumplen con las expectativas del cliente después de su entrega, incluyen los gastos asociados con la devolución de productos, el reemplazo de productos defectuosos, los reclamos de garantía, las multas o penalizaciones por incumplimientos de contratos, las pérdidas de clientes y la reputación negativa de la marca.

Es fundamental resaltar que los costos de no calidad no se limitan únicamente a los aspectos económicos directos, sino que también incluyen costos intangibles como la pérdida de confianza de los consumidores, la disminución de la lealtad del cliente y el daño a la reputación de la empresa. Por ende, gestionar y reducir los costos de no calidad es de suma prioridad en la organización para mejorar la rentabilidad y la competitividad en los diferentes canales en donde se mueva los productos o servicios.

2.3.10. Pruebas de hipótesis

El método estadístico llamada prueba de hipótesis nos permite determinar si los datos obtenidos de una muestra se ajustan a una determinada afirmación sobre la población. Una prueba de hipótesis evalúa dos proposiciones contradictorias sobe la población: la hipótesis nula, que postula la inexistencia de un efecto, y la hipótesis alternativa, que indica la presencia de un efecto.

Hipótesis nula (H_0): Sostiene un parámetro de la población como, por ejemplo: la media y la desviación estándar; es igual a un valor específico que se plantea en el análisis, generalmente es una afirmación inicial que se basa en estudios previos o en conocimientos de expertos.

Hipótesis alternativa (H_1): Sostiene que un parámetro de la población es diferente, mayor o menor que el valor establecido en la hipótesis nula, esta refleja lo que se cree que es cierto o lo que se busca demostrar con la prueba.

Se lleva a cabo la evaluación de los datos muestrales para establecer si existe suficiente evidencia para descartar la hipótesis nula. Para este propósito se emplea el valor “p”; si el resultado está por debajo del umbral de significancia de 0.05 rechazamos la hipótesis nula. Es un error común pensar que la prueba de hipótesis sirve para elegir la hipótesis más probable; en realidad, sirve para establecer la hipótesis nula como la que se pretende refutar. El nivel de significancia se predetermina antes del análisis (normalmente fijado en 0.05), si se rechaza la hipótesis nula, obtenemos la evidencia estadística que apoya la hipótesis alternativa; en cambio, si no se rechaza la hipótesis nula, no podemos afirmar su validez, ya que no hemos establecido una probabilidad de error suficientemente baja en su aceptación.

2.3.11. Tipos de prueba de hipótesis

Se trata de un conjunto de herramientas específicas que se utiliza en estadística para evaluar diferentes afirmaciones de una o varias muestras extraídas de una determinada población. La selección de la prueba hipótesis apropiada se halla condicionada por múltiples factores, tales como el tamaño de la muestra, el tipo de datos y la pregunta

de investigación en estudio. Se procederá a especificar los tipos de pruebas de hipótesis:

2.3.11.1. Pruebas paramétricas

Se trata de un compendio de técnicas estadísticas utilizadas para el análisis de datos que satisfacen determinadas condiciones: los datos son cuantitativos, exhiben una distribución normal, el tamaño de la muestra es representativo, la homogeneidad de las varianzas y los parámetros poblacionales, tales como la media y la desviación estándar pueden ser estimados o ya han sido establecidos en investigaciones anteriores. Pruebas paramétricas más empleadas:

a) Prueba "t" apareada: Se emplea para comparar las medias de dos conjuntos de datos relacionados, como mediciones antes y después de una intervención. Permite determinar si existe una diferencia significativa entre ambos momentos, considerando la dependencia entre las observaciones emparejadas y asumiendo distribución normal.

b) Prueba ANOVA: Se utiliza para comparar las medias de tres o más grupos, su finalidad primordial es determinar si existen diferencias significativas entre las medias de los grupos que estamos comparando.

c) Prueba MANOVA: Es una técnica estadística que evalúa si existen diferencias significativas entre grupos en múltiples variables dependientes simultáneamente. Permite analizar el efecto de una o más variables independientes sobre un conjunto de variables relacionadas, considerando las correlaciones entre ellas y reduciendo el error tipo I.

d) Prueba Regresión Logística Binaria: Se emplea para para analizar la relación entre una variable dependiente categórica de tipo binario y

un conjunto de variables independientes, que pueden ser continuas o categóricas. Su propósito principal es modelar la probabilidad de ocurrencia de uno de los dos posibles resultados de la variable de respuesta, mediante una función logística que transforma una combinación lineal de los predictores en una probabilidad entre 0 y 1. Esta técnica permite identificar cuáles variables explicativas influyen significativamente en la respuesta y estimar sus efectos, siendo ampliamente aplicada en estudios de clasificación, control de calidad y análisis de decisiones.

2.3.11.2. Pruebas no paramétricas

Se refiere a un compendio de técnicas estadísticas utilizadas para el análisis de datos que cumplen ciertas condiciones: los datos no siguen una distribución normal. Las pruebas no paramétricas más empleadas son:

a) Prueba U de Mann-Whitney: Se utiliza para comparar las medianas de dos muestras independientes, su objetivo principal es determinar si las dos muestras de datos provienen de la misma población y nos ayude a tomar decisiones más informadas sobre si existe diferencias significativas entre ellas.

b) Prueba de Wilcoxon: Se emplea para comparar dos muestras relacionadas, su objetivo principal es determinar si las muestras provienen de las mismas unidades de observación y si existe un cambio significativo entre el antes y después.

c) Prueba de Kruskal – Wallis: Se utiliza para comparar las medianas de tres o más grupos independientes, su objetivo principal es analizar si las múltiples muestras de datos provienen de la misma población y determinar si existe una diferencia significativa entre ellas.

d) Prueba de Friedman: Se emplea para comparar las medianas de tres o más grupos relacionados, su objetivo principal es determinar si las múltiples muestras provienen de las mismas unidades de observación y si existe un cambio significativo entre el antes y después.

2.3.12. Prueba de Normalidad

Como premisa fundamental de varios métodos analíticos paramétricos, incluyendo pruebas t, ANOVA, regresión lineal y análisis multivariante, la prueba de normalidad es un enfoque estadístico para determinar si un conjunto de datos sigue una distribución normal. Dado que garantiza la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos en las investigaciones, la verificación de la normalidad es particularmente crucial en la investigación científica. La dispersión y la forma de los datos se evalúan utilizando pruebas de normalidad en referencia a la distribución normal teórica. Las pruebas de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov y Lilliefors están entre las más populares; cada una depende del tamaño de la muestra y del nivel de sensibilidad necesario. En estas pruebas, un resultado significativo ($p < 0.05$) indica una considerable desviación de la normalidad en los datos. Además, se pueden utilizar gráficos de caja, gráficos de probabilidad normal (gráficos Q-Q) e histogramas para analizar visualmente y mejorar los datos estadísticos.

2.3.13. Igualdad de varianzas

La igualdad de varianzas, también denominada homogeneidad de varianzas constituye una premisa esencial en una variedad de procedimientos estadísticos paramétricos, incluyendo el análisis de varianza (ANOVA), las pruebas t y los modelos de regresión. Este principio afirma que la dispersión o variabilidad de los datos debe ser idéntica entre los grupos o muestras en comparación, la comprobación de esta suposición resulta esencial para asegurar la validez de los hallazgos, dado que la existencia de varianzas significativamente divergentes puede influir en la interpretación de los efectos observados y elevar la probabilidad de error de tipo I o tipo II. Para determinar la igualdad de varianzas, se emplean pruebas estadísticas como la prueba de Levene, Bartlett o el test F, cada una de las cuales presenta características particulares en función del tamaño muestral y la distribución de la información. En caso de que se

identifique una desigualdad en las varianzas, se aconseja la implementación de métodos alternativos o ajustes que no asuman homogeneidad, con el objetivo de preservar la robustez del análisis.

2.3.14. Diseño de Experimentos (DOE)

Se trata de una herramienta estadística empleada para la planificación, ejecución y análisis sistemático de experimentos. El propósito es identificar las variables que influyen en un proceso y establecer su impacto en los resultados obtenidos. A través del estudio simultáneo de múltiples factores y sus interacciones, se puede optimizar la eficiencia y minimizar los errores; se trata de un instrumento fundamental en la metodología Lean Six Sigma para la optimización de procesos, dado que facilita la identificación de la combinación óptima de variables con el objetivo de maximizar la calidad y reducir la variabilidad. El DOE se clasifica en varios tipos en función del número de factores a investigar, la naturaleza de las variables y el objetivo del experimento; a continuación, se detalla los principales tipos:

a) Diseño de Experimentos Factorial: Es un método estadístico que facilita el análisis simultáneo de las repercusiones de dos o más factores sobre una o más variables de repuesta, tomando en cuenta todas las combinaciones posibles de los niveles de estos factores. Este diseño es esencial para identificar no solo las repercusiones primordiales de cada factor, sino también las interacciones entre ellos, lo que ofrece una perspectiva integral del comportamiento del sistema bajo estudio. Se utiliza extensamente en estudios científicos e industriales debido a su eficacia en la recopilación de datos y su habilidad para modelar procesos complejos, mejorar las condiciones de operación y elevar la calidad de los resultados experimentales.

b) Diseño de Experimentos de Bloques: Se trata de una táctica estadística empleada con el objetivo de disminuir la variabilidad experimental atribuible a factores no controlables, mediante la agrupación de las unidades experimentales en bloques uniformes. Cada bloque alberga condiciones similares que podrían afectar la variable de respuesta, facilitando así la separación de su impacto y la concentración en el análisis de los factores. Este

diseño resulta particularmente beneficioso cuando se presentan fuentes de variación conocidas, tales como lotes de materia prima, máquinas o turno laborales, mediante la minimización del error experimental, el diseño por bloques optimiza la exactitud del análisis y potencia la validez de las conclusiones derivadas del experimento.

c) Diseño de Experimentos de Respuesta Superficial (RSM): Es una herramienta estadística empleada para modelar y optimizar procesos en los que una o más variables de respuesta son influenciadas por diversos factores cuantitativos. Este enfoque facilita la elaboración de modelos matemáticos, comúnmente de segundo orden que describen la relación entre las variables independientes y la respuesta. Para la elaboración de estos modelos, se emplean diseños experimentales como el diseño central compuesto (CCD) o el diseño Box-Behnken, la RSM facilita la detección de condiciones de operación óptimas, posibilitando la maximización o minimización de los resultados esperados. Se encuentra ampliamente implementada en las disciplinas de ingeniería, manufactura y desarrollo de productos.

d) Diseño de Experimentos de Planeamiento Central (CCD): Es un tipo de diseño empleada en la herramienta de Diseño de Experimentos de Superficie de Respuesta (RSM) con el objetivo de desarrollar modelos estadísticos de segundo orden que faciliten la optimización de proceso. Este esquema integra tres categorías de puntos experimentales: factoriales que investigan las combinaciones fundamentales de los niveles de los factores, axiales o estrella que facilitan la estimación de curvaturas en la respuesta al ampliar el espectro de los factores y puntos centrales utilizados para evaluar la repetibilidad del experimento e identificar no linealidad. El CCD resulta particularmente beneficioso cuando se busca investigar un extenso espectro de condiciones experimentales de manera eficiente, facilitando la identificación de valores óptimos de operación. Se utiliza de manera extensa en procesos industriales con la finalidad de optimizar la calidad, rendimiento y estabilidad de bienes o servicios.

e) Diseño de Experimentos de Taguchi: Es un método estadístico concebido por Genichi Taguchi con el objetivo de optimizar la calidad de productos y procesos a través del diseño robusto. Su enfoque primordial consiste en reducir la variabilidad y los efectos de factores no controlables (ruido) sin la necesidad de erradicar sus causas, optimizando de este modo el rendimiento del sistema bajo diversas condiciones. Emplea matrices ortogonales para la planificación eficaz de experimentos, minimizando la cantidad de pruebas requeridas. Adicionalmente, utiliza el análisis de la razón señal-ruido (S/N) para evaluar la estabilidad y rendimiento del proceso. Se emplea extensivamente en las áreas de manufactura, ingeniería y desarrollo de productos.

f) Diseño de Experimentos Combinatoria: Se trata de una estrategia experimental que tiene como objetivo examinar de manera eficaz una amplia gama de combinaciones potenciales entre factores y niveles, empleando principios de la combinatoria matemática para minimizar el número total de ensayos. Este método resulta particularmente beneficioso en el manejo de sistemas complejos que implican múltiples variables, tales como en el desarrollo de nuevos materiales, productos farmacéuticos o formulaciones química. Mediante la selección de un subconjunto representativo de combinaciones, es posible distinguir patrones, relaciones y efectos significativos sin la necesidad de efectuar todos los experimentos viables. Este diseño facilita la optimización de tiempo y recursos, preservando la validez estadística del análisis.

2.3.15. Gráficas de control

Son instrumentos estadísticos empleados en el ámbito del control de calidad con el objetivo de monitorear y evaluar la variabilidad de un proceso a través del tiempo. Estos gráficos ilustran la variación de una variable de un proceso frente a límites preestablecidos, facilitando la identificación de desviaciones que podrían sugerir problemas o defectos. Los gráficos de control incorporan líneas centrales, que representan el promedio del proceso, límites superior e inferior de control, y son esenciales para la identificación de patrones y tendencias. Estas son fundamentales en la metodología Lean Six Sigma, dado que posibilitan la toma de decisiones informadas acerca de la estabilidad y capacidad del proceso a lo largo del tiempo.

2.3.15.1. Gráficas de Control para Variables

Es un instrumento estadístico empleado para monitorear datos continuos, que intuitivamente son aquellas que requieren un instrumento de medición (humedad, temperatura, resistencia, longitud, voltaje, volumen, peso, etc.). Facilita la identificación de fluctuaciones atípicas a través del estudio de medias, rangos o desviaciones estándar, garantizando la estabilidad y la capacidad del proceso a través del tiempo.

a. Gráfica Xbarra-R: Se emplea en el ámbito del control de calidad para monitorear la estabilidad del proceso que generan los datos continuos, este tipo de representación gráfica integra dos componentes: en el gráfico X controla la media de las muestras o subgrupos y el gráfico R que evalúa la variabilidad dentro de dichos subgrupos mediante el rango. Principalmente se utiliza cuando el tamaño de la muestra es pequeño (comúnmente entre 2 y 10 datos), la representación gráfica facilita la identificación tanto de desplazamientos en el nivel promedio del proceso como de incrementos en su dispersión, ofreciendo una perspectiva integral de su comportamiento a lo largo del tiempo.

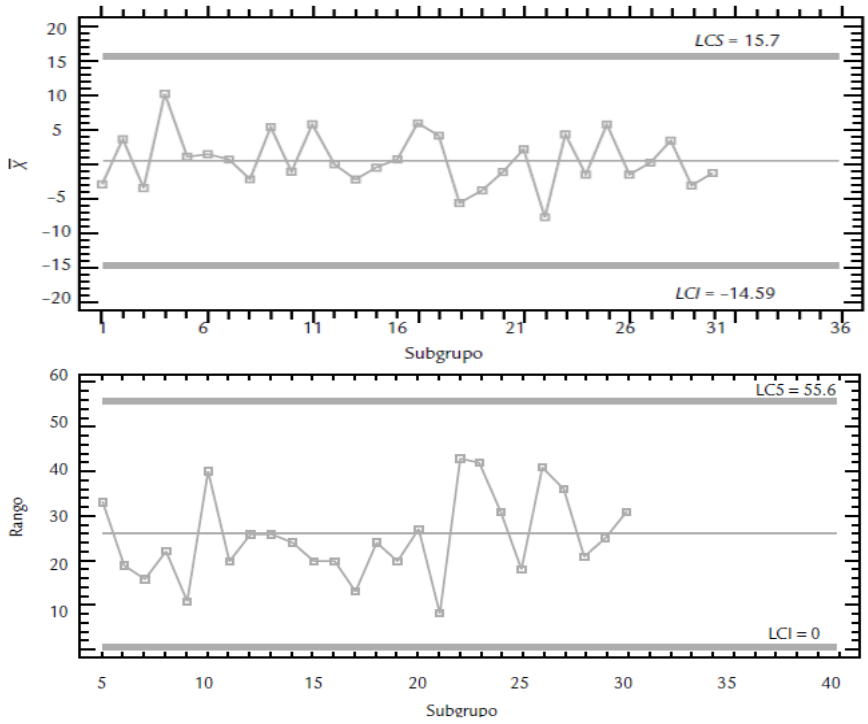


***Figura 1*. Gráfica Xbarra – R**

Fuente. Tomado del libro de Gutierrez y De la Vara (2009)

b. Gráfica Xbarra-S: Se emplea en el control de calidad para monitorear procesos que generan datos continuos, particularmente cuando se interactúa con subgrupos de tamaño moderado a grande. Este tipo de representación gráfica integra dos elementos: la gráfica X que regula las fluctuaciones en la media del proceso y la gráfica S que regula la variabilidad a través de la desviación estándar de cada subgrupo. Contrariamente a la representación gráfica Xbarra-R, la gráfica Xbarra-S exhibe una mayor exactitud al manipular una mayor cantidad de datos, dado que la desviación estándar ofrece una medida más sólida de la dispersión. Es esencial para garantizar la estabilidad y la capacidad del proceso a través del tiempo.

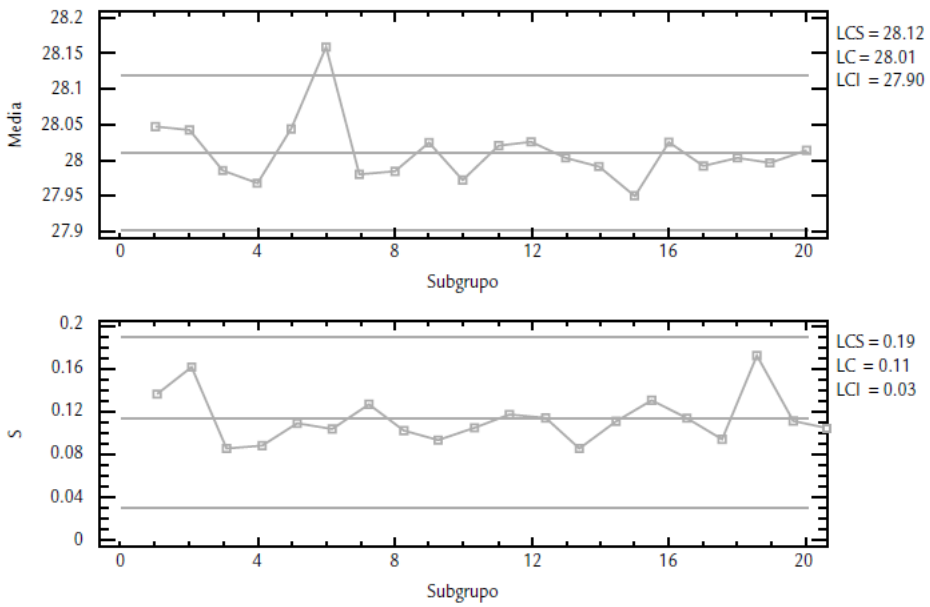


Figura 2. **Gráfica Xbarra-S**

Fuente. Tomado del libro de Gutierrez y De la Vara (2009)

2.3.15.2. Gráficas de Control para Atributos

Se trata de un instrumento estadístico empleado para monitorear procesos cuando los datos son de naturaleza cualitativa, tales como la identificación de defectos. Facilita la regulación de la proporción o la cantidad de unidades defectuosas, contribuyendo a la detección de fluctuaciones en la calidad y garantizando la estabilidad del proceso a través del tiempo.

a) Gráfica P: Es un tipo de gráfico de control para tributos, empleado para monitorear la proporción de unidades defectuosas en un proceso productivo. Es particularmente beneficioso cuando los datos se adquieren a través de inspecciones por muestreos y cada unidad evaluada solo puede ser categorizada como “defectuosa” o “no defectuosa”. Este gráfico facilita la identificación de variaciones en la fracción de productos no conformes a lo largo del tiempo, incluso cuando el tamaño de las muestras fluctúa. La representación gráfica P determina si el proceso está operando bajo

control estadístico, simplificando la toma decisiones correctivas en casos de desviaciones significativas.

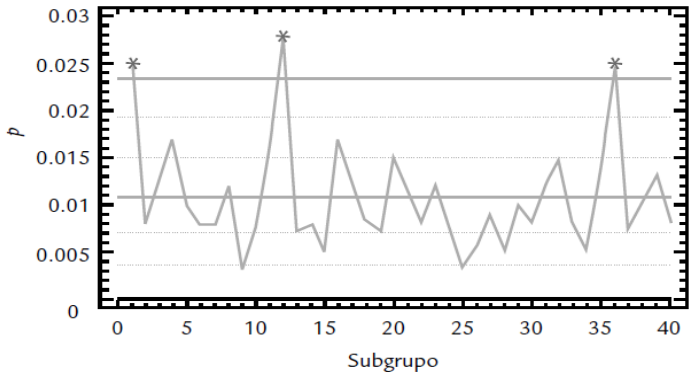


Figura 3. **Gráfica P**

Fuente. Tomado del libro de Gutierrez y De la Vara (2009)

b) Gráfica NP: Se trata de un instrumento estadístico empleado en el ámbito del control de calidad para monitorear la cantidad de unidades defectuosas en muestras de tamaño invariable. Contrariamente al gráfico P, que mide proporciones, la gráfica NP se centra en cuantificar los productos defectuosos presentes en cada muestra, sin tener en cuenta la fracción. Este tipo de representación gráfica resulta beneficiosa cuando cada unidad examinada solo puede ser categorizada como “aceptable” o “defectuosa”; mediante la observación de las variaciones temporales en la cantidad de defectos, este facilita la identificación de desviaciones significativas que podrían alertar complicaciones en el proceso, contribuyendo a mantener su estabilidad y rendimiento.

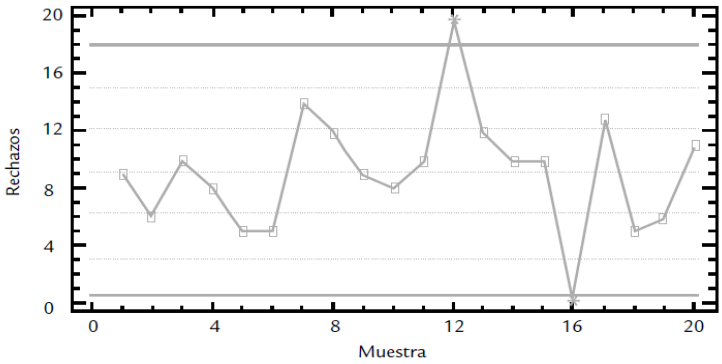


Figura 4. **Gráfico NP**

Fuente. Tomado del libro de Gutierrez y De la Vara (2009)

2.4. Glosario

- AMEF o FMEA: Herramienta de análisis de modo y efecto de las fallas, en inglés Failure Mode and Effects Analysis.
- DMAIC: Metodología compuesta por cinco fases, el nombre deriva de las siglas en inglés de cada una de sus etapas que traducidas al español son: definir, medir, analizar, mejorar y controlar.
- DPO: Defectos por oportunidad, es la métrica que se utiliza para medir la calidad de un proceso y representa el número promedio de defectos o errores que se producen por cada oportunidad de defecto dentro de un proceso específico.
- DPMO: Defectos por millón de oportunidades, es una medida normalizada que expresa el número total de defectos por millón de oportunidades de defecto.
- DPU: Defectos por unidad, es una métrica utilizada para medir la cantidad promedio de defectos o errores encontrados en una unidad del producto o servicio.
- KPI: En español se traduce como Indicadores Claves de Desempeño en inglés es “Key Performance Indicators”, son medidas cuantificables que se emplean para evaluar el rendimiento de la organización.
- Metodología: Es un conjunto de métodos, procedimientos, técnicas y herramientas que se utilizan para llevar a cabo una actividad o investigación de manera sistemática y organizada.
- Nivel sigma: Es la capacidad de un proceso para producir bienes o servicios dentro de los límites de especificación y con una variabilidad mínima.
- PDCA: Se refiere al ciclo de mejora continua también llamado como el Ciclo de Deming, se emplea como una herramienta fundamental en la gestión de la calidad y en proceso de mejora continua, las siglas corresponden a cuatro etapas: planificar (Plan), hacer (Do), verificar (Check) y actuar (Act).
- Reproceso: Es la acción de corregir o modificar un producto o servicio no conforme es decir que no cumple con los requisitos de calidad establecidos por la organización o cliente.

- SPC: Las siglas en inglés significa Statistical Process Control que en español significa Control Estadístico de Procesos, es una herramienta que se emplea para monitorear, controlar y mejorar la calidad de los procesos mediante el uso de técnica estadísticas.
- Variabilidad: Es la cantidad de dispersión o fluctuación que ocurre en un conjunto de datos que se desvían de un valor central o promedio, una baja variabilidad evidencia que los datos se encuentran cerca al valor central, en caso presente una alta variabilidad significa que los datos se encuentran más alejados del valor central o dispersos entre sí.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1. Hipótesis y Variables

3.1.1. Hipótesis General

La implementación de un modelo de gestión reduce los costos de la no calidad con la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú.

3.1.2. Hipótesis Específicas

a) El indicador de productos defectuosos se reduce al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú.

b) La variabilidad del proceso se reduce al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú.

c) Los costos de reprocesos se reducen al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú.

3.1.3. Identificación de variables

En la investigación será considerada como variable independiente a la "Metodología Lean Six Sigma" y como variable dependiente el "Costos de la no Calidad", debido a que la variable independiente tiene un impacto directo en la reducción de los costos de

la no calidad, ya que busca eliminar las causas fundamentales de los problemas de calidad que generan el incremento del costo. Se describe a continuación:

Tabla 3. **Identificación de variables**

	Variable Independiente	Variable Dependiente
Hipótesis General	Metodología Lean Six Sigma	Costos de la no calidad

Fuente. Elaboración propia

3.1.4. Operacionalización de las variables

Se procede a descomponer el objetivo general en la variable independiente y dependiente, definición conceptual, dimensiones y los indicadores:

Tabla 4. **Matriz de Operacionalización**

OBJETIVO	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Determinar la influencia de la implementación de un modelo de gestión para reducir los costos de la no calidad con la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú.	Metodología Lean Six Sigma	Es una metodología para optimizar los procesos, enfocado en la reducción de la variabilidad y reducir o eliminar los defectos en la fabricación de un producto o servicio.	Definir	Identificación del problema y establecimiento de objetivos
			Medir	Recolección de datos y medición de variables críticas
			Analizar	Análisis de datos para identificar causas raíz de los defectos y variabilidad del proceso
			Mejorar	Implementación de soluciones para eliminar las causas raíz
			Controlar	Monitoreo continuo del proceso para asegurar la sostenibilidad de las mejoras
	Costo de la no calidad	Son aquellos costos que se generan por productos defectuosos que no cumplen con los parámetros de calidad o que no satisfacen la necesidad del cliente.	Costos internos	Costo de reproceso
			Productos defectuosos	Porcentaje de productos defectuosos

Fuente. Elaboración propia

3.1.5. Matriz de Consistencia

Tabla 5. **Matriz de Consistencia**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
Problema general: ¿Cuál es el efecto de la implementación de un modelo de gestión para reducir los costos de la no calidad con la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú?	**Objetivo General:** Determinar la influencia de la implementación de un modelo de gestión para reducir los costos de la no calidad con la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú.	**Hipótesis General:** La implementación de un modelo de gestión reduce los costos de la no calidad con la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú.	**Variable Independiente (HG):** Metodología Lean Six Sigma **Variable Dependiente (HG):** Costos de la no calidad	**Tipo de investigación:** Explicativa **Diseño de investigación:** Pre Experimental
Problemas específicos: ¿Cómo influye en la reducción del indicador de productos defectuosos al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú? ¿Cómo influye en la reducción de la variabilidad del proceso al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú? ¿Cómo influye en la reducción del costo de reproceso al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú?	**Objetivos específicos:** Determinar la influencia en la reducción del indicador de productos defectuosos al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú. Determinar la influencia en la reducción de la variabilidad del proceso al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú. Determinar la influencia en la reducción del costo de reproceso al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú.	**Hipótesis específicas**: El indicador de productos defectuosos se reduce al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú. La variabilidad del proceso se reduce al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú. El costo de reproceso se reduce al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú.	**Variable Independiente (H1):** Metodología Lean Six sigma **Variable Dependiente (H1):** Productos defectuosos **Variable Independiente (H2):** Metodología Lean Six sigma **Variable Dependiente (H2):** Variabilidad del proceso **Variable Independiente (H3):** Metodología Lean Six sigma **Variable Dependiente (H3):** Costo de reproceso	**INSTRUMENTOS** - Registros de medición de variables físicas y de atributos. - Registros de producción y calidad - Software de control estadístico de procesos (Minitab).

Fuente. Elaboración Propia

3.2. Tipo y diseño de la investigación

La presente tesis se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo, Hernández et al. (2014) menciona que un enfoque cuantitativo de investigación se refiere a un conjunto de procedimientos sistemáticos y comprobables; en los cuales el investigador adopta una postura objetiva, esto implica llevar a cabo un estudio organizado que se fundamenta en la recolección y análisis de datos numéricos, empleando el uso de instrumentos de medición y técnicas estadísticas; se caracteriza por seguir un patrón estructurado y predecible que permita evidenciar teorías y fenómenos investigados mediante un razonamiento deductivo. Este proceso permite la formulación de hipótesis, las cuales se someten a prueba con el fin de alcanzar el objetivo propuesto, en el contexto de una investigación de nivel explicativo.

El diseño de investigación adoptado es de naturaleza preexperimental. Según Hernández et al. (2014) este tipo de diseño conlleva la manipulación de una o más variables independientes, seguido del análisis de las consecuencias que dicha acción tiene sobre las variables dependientes.

3.3. Unidad de análisis

El área de producción es la unidad de análisis en la presente investigación, en donde se va a recolectar los datos y de donde se va a extraer la información.

De acuerdo con Hernández et al. (2014) argumenta que la unidad de análisis alude a los elementos específicos que serán el foco del estudio y sobre los cuales se llevará a cabo una comparación o análisis. Como se mencionó previamente, la pregunta de investigación correspondiente es: ¿Cuál es el efecto de la implementación de un

modelo de gestión para reducir los costos de la no calidad con la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú?, la unidad de análisis se refiere a los procesos y defectos presentes en la fabricación de rollos de papel tisú, cada uno de estos será evaluado en el estudio.

3.4. Población de estudio

Hernández et al. (2014) define a la población como el conjunto de casos que comparten características específicas y que son objeto de análisis en una investigación, puede ser cualquier grupo de individuos, elementos, objetos o eventos que se encuentren dentro del alcance del estudio y que cumplan con los criterios establecidos por el investigador; ya que permite delimitar claramente el universo de casos que se investigarán y sobre los cuales se generalizará los resultados. En la presente investigación la población en estudio son todas las líneas de producción de rollos de papel tisú, la empresa en Perú tiene 3 plantas industriales con un total de 11 líneas convertidoras, se presenta el siguiente desglose:

- Planta Lima cuenta con 4 líneas convertidoras
- Planta Cañete con 4 líneas convertidoras
- Arequipa con 3 líneas convertidoras

3.5. Tamaño de muestra

Para este estudio tomaremos como muestra solo una línea convertidora de Planta Cañete, la línea seleccionada es la Línea Convertidora N°120, esta es la máquina más

moderna que inició operaciones en el año 2018, cada línea cuenta con cuatro unidades: gofradora, cortadora, empaquetadora y ensacadora; nos enfocaremos solo en la unidad gofradora, porque al realizar el análisis ANOVA se observa que la media de los defectos por unidad (DPU) de todo el año 2023 en la unidad gofradora es 0.03 significativamente diferente a las otras unidades, además nos dio un valor $p<0.05$ y un valor F de 248.44. Al mismo tiempo, esta unidad representa el proceso más crítico de la cadena productiva. A continuación, se muestra el siguiente gráfico:

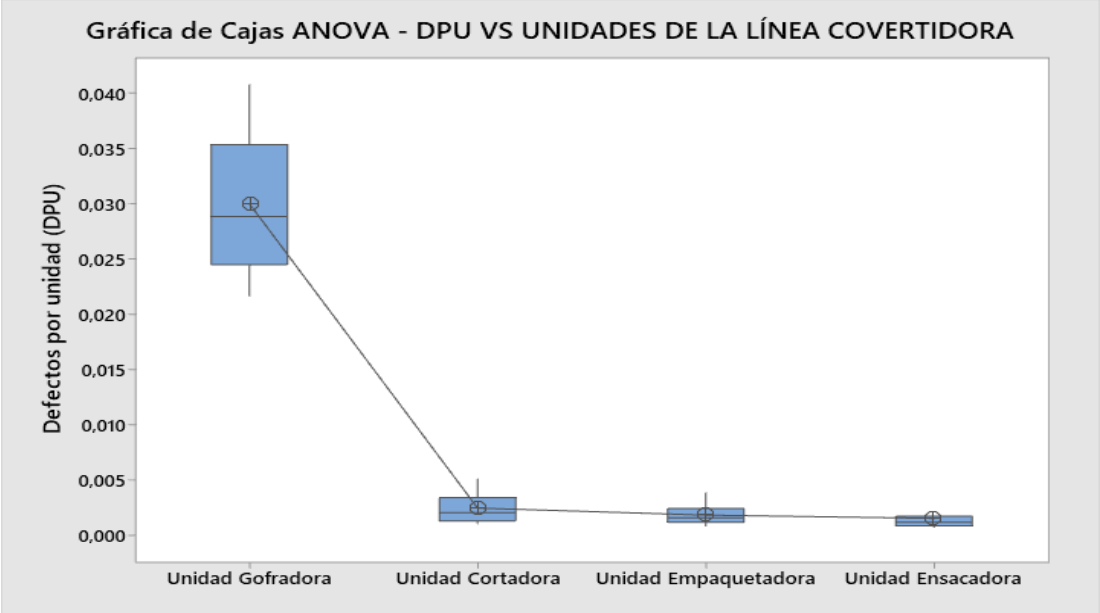


Figura 5. **Gráfico de Cajas ANOVA**

Fuente. Elaboración Propia

Según Hernández et al. (2014) el tamaño de la muestra se refiere al número de elementos, individuos, unidades o casos que se seleccionan de una población específica para participar en un estudio de investigación, al ser no probabilística tiene como característica principal que la selección del elemento no se realiza al azar, sino que se basa en criterios específicos que determina el investigador, como conveniencia, juicio o intencionalidad, el cual representa la cantidad de casos o elementos que se consideran suficientes y adecuados para cumplir con los objetivos de la investigación y obtener resultados significativos, dadas las limitaciones y restricciones del diseño de muestreo no probabilístico.

3.6. Selección de muestra

La Línea Convertidora N°120 ha sido seleccionada porque se adquirió una nueva tecnología llamada rodillos gofradores sistema punta a punta (TIP TOP TIP) el cual ha sido instalada en la unidad gofradora, se compró específicamente para la L120 al ser la más moderna de todas las líneas a nivel nacional, esta sería la primera línea convertidora en producir con esta nueva tecnología de todas las empresas papeleras peruanas y de Sudamérica.

3.7. Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizó la técnica de análisis documental y observación como método fundamental para la recopilación de datos:

a) Información de los Tableros de Control de la Producción desde el arranque de operaciones de Planta Cañete en el año 2019 hasta la fecha.
b) Información de los Tableros de Control de Calidad desde el arranque de operaciones de Planta Cañete en el año 2019 hasta la fecha.
c) Check List del proceso de cambio de rodillos gofradores.
d) Hojas de verificación de control de procesos de variables críticas.
e) Estudios y análisis de mejoras de procesos, operaciones, mantenimiento y de aseguramiento de la calidad.

3.8. Análisis e interpretación de la información

Los datos extraídos serán procesados estadísticamente y representados en figuras y cuadros, las herramientas a utilizar son:

a) Microsoft Excel
b) Minitab
c) Herramientas de la metodología DMAIC: diagrama de macroproceso, Project Charter, diagrama de flujo, Pareto, AMEF (Análisis del modo y efecto de fallas), diagrama de causa-efecto y plan de implementación.
d) Análisis de los Sistemas de Medición (MSA)
e) Análisis de Prueba de Normalidad
f) Análisis de Capacidad
g) Análisis de Diseño de Experimentos (DOE)
h) Análisis de Comparación de Capacidades Antes y Después
i) Gráficos de evolución del PPM y Nivel sigma

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La investigación está definida por las siguientes fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Control (DMAIC), donde cada una contiene un conjunto de herramientas y entregables.

La fortaleza de las fases del DMAIC radica en los resultados tangibles incluidos en cada etapa, estos resultados ofrecen un método estandarizado y estructurado para abordar el problema específico establecido en la investigación. En cada fase existen actividades primarias por ejecutar para cumplir con los objetivos establecidos, lo que permite establecer un proceso metódico y ordenado para el desarrollo de la metodología. A continuación, (ver Figura 6) se muestra el Modelo de Gestión con la Metodología Lean Six Sigma a emplear para reducir los costos de la no calidad.

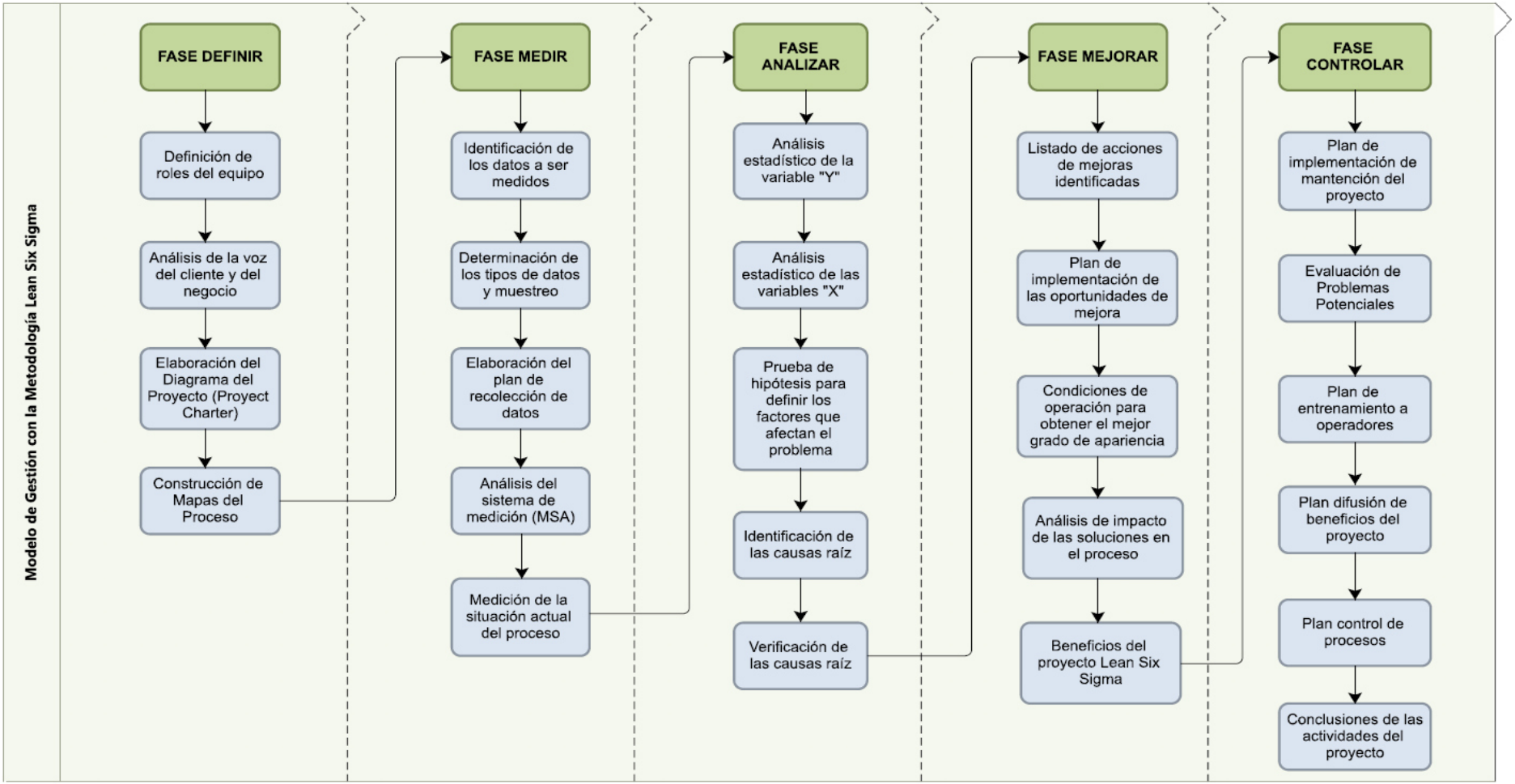


Figura 6. **Modelo de Gestión con la Metodología Lean Six Sigma**

Fuente. Elaboración Propia

4.1. Fase Definir

El objetivo principal de esta fase es garantizar que la metodología a implementar se centre en mejorar los requisitos identificados como claves para el negocio; por tanto, es crucial definir correctamente el foco principal del proyecto. El equipo debe tener una comprensión clara de los requerimientos del proceso, lo que implica escuchar inicialmente las necesidades tanto del cliente como del negocio, posteriormente esta información se tradujo en medidas cuantificables conocidas como puntos críticos de calidad y puntos críticos del proceso.

En esta etapa se definió los principales entregables, los cuales fueron realizados para asegurar una correcta comprensión del problema y obtener una solución efectiva. Por lo tanto; a continuación, (ver Figura 7) se detallan los entregables claves que fueron necesarios para el proyecto:

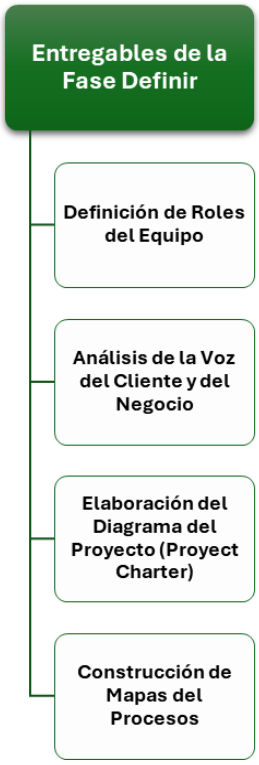


Figura 7. **Entregables de la Fase Definir**

Fuente. Elaboración Propia

4.1.1. Definición de Roles del Equipo

La ejecución exitosa del proyecto Lean Six Sigma, fue esencial contar con un equipo sólido y una colaboración efectiva; en este sentido se detalla la composición del equipo a cargo del proyecto, basándose en la experiencia acumulada por los miembros en el proceso, su dominio en herramientas estadísticas, competencia para la resolución de problemas y entendimiento de las áreas donde se llevó a cabo la implementación del proyecto.

El equipo fue conformado por un Champion, un Black Belts y tres Green Belts, tal como se muestra (ver Cuadro 6) de la formación del equipo de proyecto.

Tabla 6. **Definición de Roles del equipo**

Rol	Cargo
Champion	Gerente de Excelencia Operacional
Black Belts	Jefe de Excelencia Operacional
Green Belts	3 Ingenieros de procesos

Fuente. Elaboración Propia

Al definirse la composición del equipo, es crucial implementar herramientas de gestión de equipos, con el objetivo de mantener informado a los integrantes en las actividades claves y estado de salud de las reuniones que se realizó durante el proyecto. Debido a ello se estableció la creación de un formato que sirvió de agenda para dirigir las reuniones de manera ordenada y efectiva. Para lograr esto, el Champion enviaba la agenda de la última reunión con al menos dos días de anticipación a todos los miembros del equipo para que puedan prepararse y participar de manera informada de los puntos a tratarse en las reuniones, estas se llevaron a cabo semanalmente, cada miércoles, con una duración de dos horas.

El formato contiene una estructura y un listado de actividades definidas con su respectivo responsable y fecha de ejecución a revisar en cada reunión, así como espacio para comentarios adicionales y acuerdos del equipo. Además, se evaluó la

efectividad de las reuniones y se realizaron rápidas evaluaciones utilizando categorías predefinidas, como se muestra en el formato elaborado (ver Cuadro 7).

La evaluación se llevó a cabo mediante una calificación del 1 al 5 para cada categoría, lo que permitió determinar la eficacia de la reunión, basándose en los criterios de evaluación (Ver Cuadro 7). El líder del proyecto evalúa los resultados de la evaluación y determina si se requiere realizar ajustes o mejoras del desempeño de las reuniones.

Para garantizar la eficacia y eficiencia de las reuniones, fue esencial instaurar directrices para la gestión interna del equipo, estas reglas tienen como objetivo prevenir o resolver conflictos entre los miembros del equipo y mantener un rendimiento óptimo en la ejecución del proyecto. Al inicio del proyecto, todos los integrantes involucrados en el equipo firmaron estas reglas, lo que confirma su conocimiento y aceptación de estas (Ver Cuadro 8).

Tabla 7. **Formato propuesto de agenda**

AGENDA DE REUNIÓN

1.- PROYECTO :
2.- ASISTENTES :

3.- AUSENTES :

4.- ASUNTO :
5.- FECHA Y HORA :
6.- DURACIÓN :

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	RESPONSABLE	ESTRATEGIA	COMENTARIOS

7.- ACUERDOS :

8.- MEDICIÓN DE LA EFICACIA DE LA REUNIÓN :

PUNTOS A EVALUAR	EVALUACIÓN (DEL 1 AL 5)
Cumplimiento de actividades	
Participación	
Dinamismo	
Atención	
Puntualidad	
PUNTAJE GLOBAL	

CRITERIOS DE EVALUCIÓN
Puntaje 1. Muy por debajo de las expectativas
Puntaje 2. Ligeramente por debajo de las expectativas
Puntaje 3. Cumple con las expectativas
Puntaje 4. Por encima de las expectativas
Puntaje 5. Muy por encima de las expectativas

¿Cómo evaluar el Puntaje Global?
- Mayor o igual a 15 puntos reunión efectiva.
- De 10 a 14 puntos reunión con oportunidades pero aceptable, pueden tomar acciones para mejorar.
- Menor a 10 puntos reunión deficiente, se debe tomar acciones inmediatas para mejorar.

FIRMA DEL LÍDER DE PROYECTO:

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 8. **Reglas básicas para los equipos Six Sigma**

REGLAS BÁSICAS PARA LOS EQUIPOS SIX SIGMA

1.- PROYECTO :

2.- INTEGRANTES DEL EQUIPO :

3.- REGLAS BÁSICAS :

3.1. Inicio de las reuniones en la hora pactada y tiempo establecido.
3.2. No interrumpier a una persona del equipo cuando expone su actividad asignada o ideas.
3.3. Celulares en silencio o en modo vibración, pueden solo costestar la llamada en caso de emergencia retirándose de la sala de reuniones.
3.4. Por ningún motivo está permitido la falta de respeto entre los integrantes del equipo.
3.5. De presentarse algún contratiempo en la asistencia, debe ser informado al Champion del proyecto con antelación antes de la reunión.
3.6. Las actividades asignadas en las reuniones deben ser cumplidas según lo requerido y en la fecha establecida.

4.- FIRMAS DE CONFORMIDAD :

Los integrantes del equipo que firman líneas abajo dan su aceptación y conformidad a comprometerse con cumplir con cada una de las reglas descritas para un eficaz desarrollo del proyecto y en claro respeto a los integrantes del equipo.

CHAMPION		**BLACK BELT**
GREEN BELT 1	**GREEN BELT 2**	**GREEN BELT 3**

Fuente. Elaboración Propia

4.1.2. Análisis de la voz del cliente y del negocio

Para establecer la voz del cliente, el equipo se concentró en identificar lo que es fundamental para el consumidor, sus deseos y necesidades; en este proceso se utilizó la base de datos interna del área comercial y marketing.

La siguiente actividad de análisis tuvo como propósito definir la voz del cliente (VOC, por sus siglas en inglés) en los requerimientos críticos del cliente (CCR, por sus siglas en inglés) y cómo se concluye en los críticos para la calidad (CTQ, por sus siglas en inglés) del proceso o producto, como se ilustra a continuación:

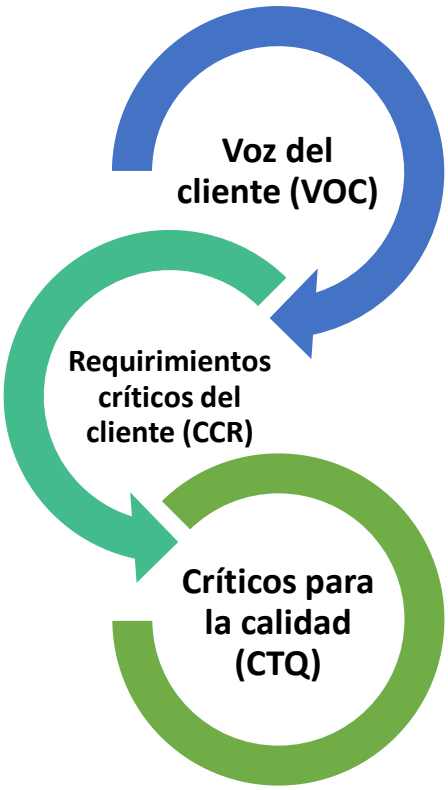


Figura 8. **Proceso de determinación de VOC a CCR a CTQ**
Fuente. Elaboración Propia

En el análisis de la voz del cliente, en la investigación se consideró como base el análisis del modelo de Noriaki Kano (Pyzdek, 2003), para examinar la voz del cliente. Para esto, se procedió a esquematizar el rollo de papel tisú desde la perspectiva tanto del cliente interno como del externo.

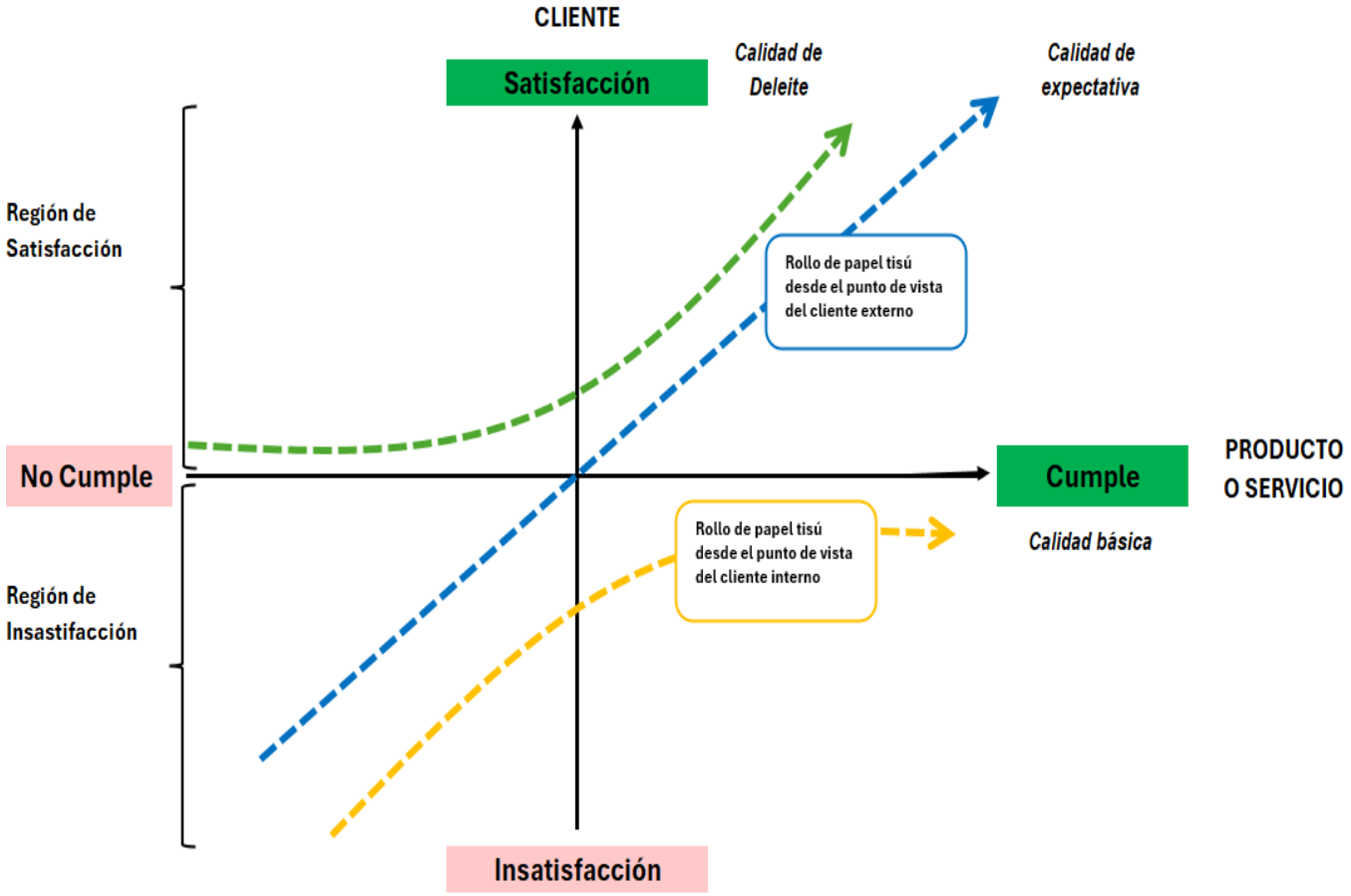


Figura 9. **Representación del rollo de papel tisú – Modelo de Kano**

Fuente. Adaptado de The Six Sigma Handbook – Pyzdek (2003)

Como se evidencia, desde la perspectiva del cliente interno, el rollo de papel tisú debe cumplir con todas las variables físicas, de este modo la calidad del producto se percibe como un requerimiento básico de calidad que debe ser satisfecho para cumplir con los requisitos del proceso actual y los siguientes. En caso de que las variables físicas no se encuentren dentro del rango óptimo, genera una insatisfacción en los procesos subsiguiente. Esta insatisfacción no se limita a la generación de defectos de calidad; sino que también induce otros tipos de insatisfacciones a los clientes internos, tales como un nivel de producción insuficiente, un incremento en el reproceso, un sobreesfuerzo, entre otros.

Desde la perspectiva del cliente externo los rollos de papel tisú son considerados como un producto de calidad con ciertas expectativas, estas incluyen características críticas como suavidad, resistencia, apariencia (color), número de hojas, dimensiones y metraje; aunque el cliente puede considerar que el rollo de papel tisú cumple con la especificación técnica, la falta de cumplimiento de cualquiera de estas características puede resultar en insatisfacción y causar malestar en el consumidor; por otro lado, el cumplimiento de estas expectativas puede generar una mayor satisfacción por parte del cliente, lo que se traducirá en una lealtad hacia la marca y por ende una fidelización del cliente. Aunque el modelo Kano describe la calidad del producto como un aspecto de deleite, el rollo de papel tisú no se consideró en esta categoría debido a que las características críticas para los clientes no superan el umbral necesario para alcanzar dicho nivel de satisfacción.

Para el análisis actual de categorización, se utilizó la información recopilada a través de entrevistas realizadas a 30 colaboradores, principalmente operadores de los procesos de productivos (clientes internos) y 25 consumidores que adquirieron los rollos de papel tisú (clientes externos) en los lugares de distribución designados, estos colaboraron aportando y administrando la información requerida. El equipo empleó los datos recolectados para evaluar y establecer los requerimientos de la voz del cliente de acuerdo a las categorías establecidas por el Modelo de Kano.

A continuación, se presenta un resumen de la determinación de la voz del cliente basado en el modelo de Kano (ver Cuadro 9).

Tabla 9. **Análisis Modelo de Kano**

Categoría	Voz del cliente / Voz del negocio
Básico	Calidad de insumos / rollos tisú de acuerdo con especificación técnica / rollos tisú sin defectos
Expectativa	Apariencia óptima Metraje de acuerdo con el empaque Mejor resistencia Mayor suavidad
Deleite	No considerado

Fuente. Elaboración propia

De este modo, se concluye que la reducción del indicador de productos defectuosos se percibe como un requisito fundamental para la satisfacción del cliente interno, al mismo tiempo que constituye un requerimiento de la voz del cliente y del negocio; por consiguiente, se procedió a establecer los requisitos críticos del cliente (ver Cuadro 10).

Tabla 10. **Determinación del requerimiento crítico del cliente**

Voz del cliente / Voz del negocio	Requerimiento crítico del cliente
Reducción de rollos de papel tisú defectuosos	Reducir el indicador de productos defectuosos a un valor ≤ 2,2

Fuente. Elaboración propia

En el proceso actual, el indicador de productos defectuosos se controla en cada una de las 4 unidades que tiene una línea convertidora, lo cual es medido con la siguiente ecuación: (TM de productos rechazados / TM producidas) x 100%. A continuación, se visualiza la evolución en el tiempo del indicador de productos defectuosos generado en el proceso de producción en la línea L120 donde se han instalado los nuevos rodillos sistema punta a punta en el año 2023:

Tabla 11. **Evolución del indicador de productos defectuosos en L120**

Unidad de máquina	Indicador de Productos Defectuosos (%)																
	Año				Meses del año 2023												YTD
	2019	2020	2021	2022	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	2023
Gofrador	3.60%	2.34%	1.40%	0.74%	2.17%	3.35%	2.88%	2.37%	2.80%	3.65%	4.07%	3.11%	3.70%	2.96%	2.44%	2.67%	3.00%
Cortadora	0.96%	0.81%	0.38%	0.42%	0.12%	0.17%	0.19%	0.44%	0.13%	0.11%	0.14%	0.34%	0.23%	0.28%	0.34%	0.51%	0.25%
Empaquetadora	0.63%	0.52%	0.30%	0.24%	0.10%	0.16%	0.16%	0.38%	0.09%	0.12%	0.12%	0.25%	0.19%	0.16%	0.19%	0.28%	0.18%
Ensacadora	0.45%	0.38%	0.22%	0.17%	0.09%	0.12%	0.17%	0.37%	0.08%	0.10%	0.11%	0.30%	0.17%	0.08%	0.09%	0.17%	0.15%
Total	4.89%	3.66%	2.31%	1.57%	2.48%	3.80%	3.39%	3.56%	3.10%	3.97%	4.44%	4.15%	4.17%	3.39%	2.91%	3.64%	3.58%

Fuente. Elaboración propia

En el año 2019 se inició operaciones en la L120, durante este primer año se realizaron diversas pruebas y la parte operativa estuvo en curva de aprendizaje, por consecuencia se obtuvo un indicador de productos defectuosos de 4.58% luego en los siguientes años se redujo de forma considerable hasta llegar al año 2022 a 1.57% ; sin embargo, en el año 2023 cuando se instaló una nueva unidad gofradora el indicador de productos defectuosos presentó una tendencia creciente considerable en el año 2023 tanto a nivel total como en la unidad gofradora, la meta planteada por la Gerencia de Operaciones a cumplir en el año 2023 fue menor o igual a 1.5%; por ende, no se cumplió con el objetivo estratégico el cual es una preocupación para la alta dirección de la organización (ver Cuadro 11).

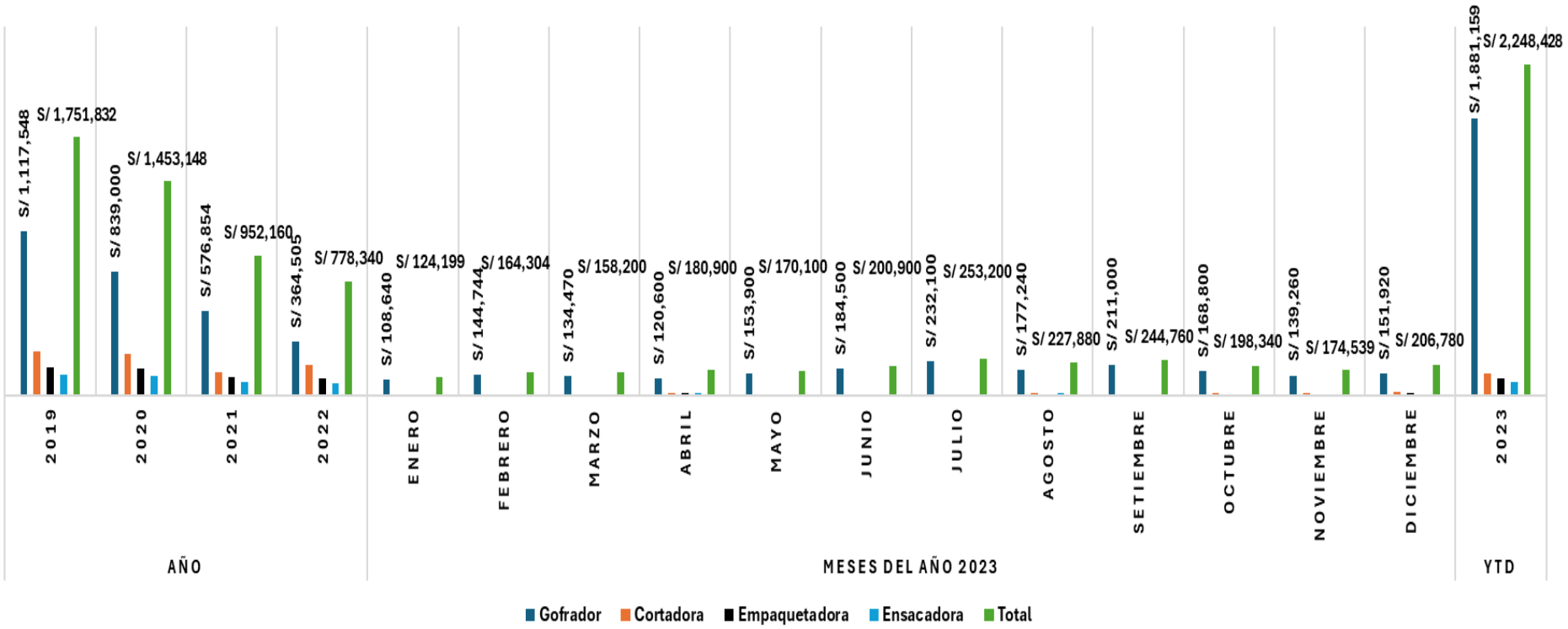


Figura 10. **Costo de reproceso por cada unidad de máquina en L120**

Fuente. Elaboración propia

Se observa que el costo de reproceso desde el año 2019 al 2022 presenta una tendencia decreciente; sin embargo, en el año 2023 se observa un incremento alarmante del 189% con respecto al año 2022, al cierre del año 2023 alcanzó un valor de S/ 2 248 428 (Ver Figura 10).

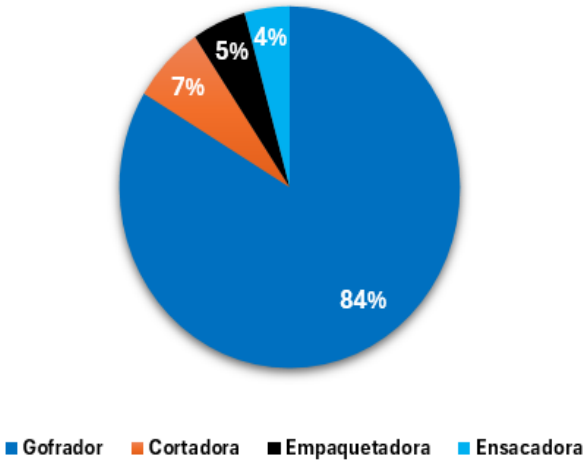


Figura 11. **Participación del costo de reproceso en el año 2023 en L120**

Fuente. Elaboración propia

Desde el inicio de operaciones en Planta Cañete se definió 4 unidades o subprocesos donde se generan los productos defectuosos, se ha identificado que la unidad gofradora durante el año 2023 tiene mayor participación, el cual representa el 84% del costo total de reproceso equivalente en unidades monetarias a S/ 1 881 159 (ver Figura 11).

Mediante el Diagrama de Pareto aplicado a la unidad gofradora donde se genera el indicador de productos defectuosos más alto, se puede identificar que este se origina por una serie de defectos que impacta en la calidad de los rollos de papel tisú, el modo de defecto con mayor impacto es “sin laminación”, la cual representa un 62.1% del total de productos defectuosos (ver Figura 12).

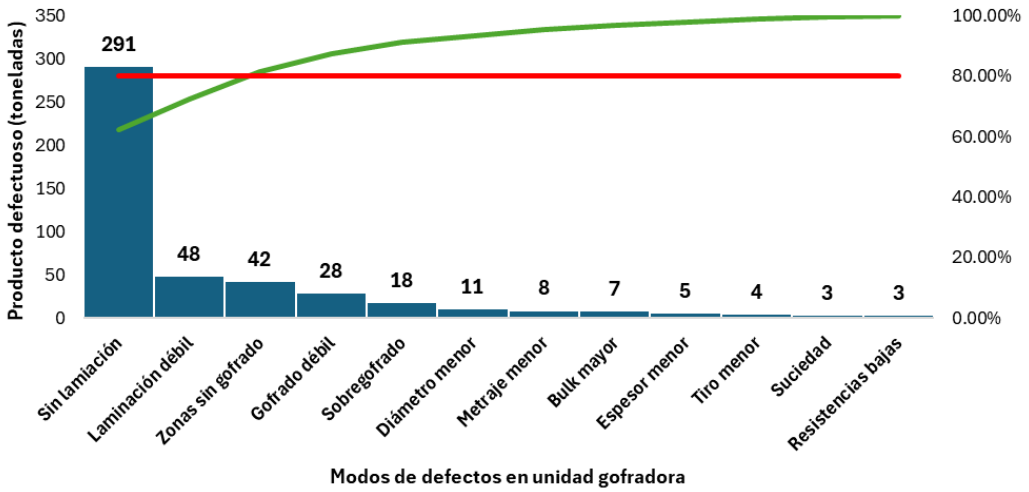


Figura 12. **Diagrama de Pareto de los modos de defectos en la unidad gofradora**

Fuente. Elaboración propia

El equipo Six Sigma en base a la información pudo llegar a la definición del proyecto, en donde la voz del cliente indica que hay una tendencia creciente de los productos defectuosos, convirtiéndolo en un requerimiento crítico del cliente que busca reducir el indicador de productos defectuosos global a un valor menor o igual 2.2% y de este modo traducirlo a un crítico para la calidad que busca reducir el indicador de productos defectuosos generados por el modo de defecto sin laminación a un valor menor igual a 1.8% establecido por la Gerencia de Operaciones para el año 2024; identificado por una pequeña "y" en el proyecto. Tal como se muestra (ver Figura 13), la relación entre VOC, CCR y CTQ.

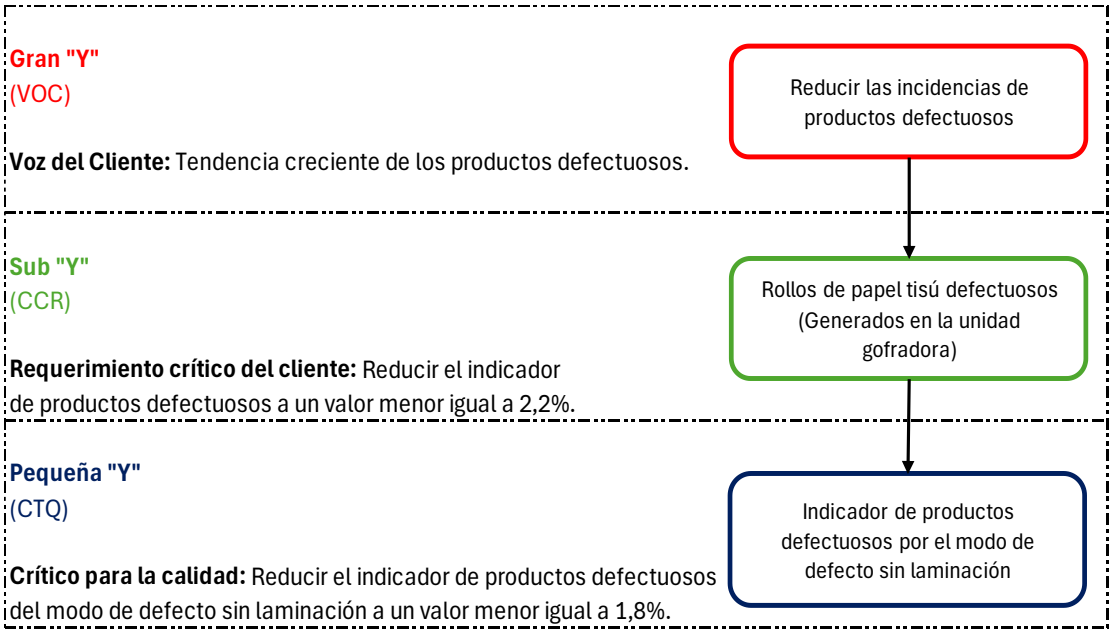


Figura 13. **Relación de VOC, CCR y CTQ**

Fuente. Elaboración propia

4.1.3. Elaboración del Diagrama del Proyecto (Project Charter)

Una vez que se estableció la relación entre la voz del cliente y se identificó los aspectos críticos para la calidad, se procedió a elaborar el diagrama del proyecto, este entregable es fundamental para asegurar que todos los miembros del equipo comprendan claramente el alcance y los objetivos del proyecto.

El equipo Lean Six Sigma primero perfeccionó este documento, basándose en su experiencia y comprensión de los procesos; sin embargo, posteriormente a ello la

responsabilidad del Black Belt es mantenerlo actualizado para reflejar cualquier modificación que se requiera durante el proceso. Para garantizar la estandarización de este documento, se utilizó las pautas propuestas por McCarty et al. (2004) adaptadas a las actividades de la empresa y con una estructura claramente definida de seis elementos:

- Caso del proyecto
- Descripción de la oportunidad
- Objetivo de la implementación
- Alcance del proyecto
- Plan del proyecto
- Selección del equipo

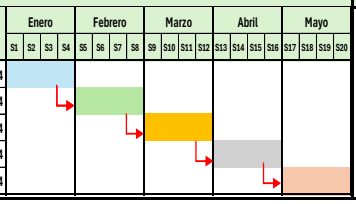
Una vez completado el primer borrador del diagrama del proyecto, fue necesario realizar una evaluación que involucró a todos los integrantes del proyecto. Durante esta reunión, el equipo ajustó el diagrama para que sea específico, medible, relevante y que se encuentre en el tiempo adecuado, con el fin de asegurar una comunicación efectiva.

Tabla 12. **Diagrama del proyecto - Proyect Charter**

Nombre del Proyecto:	Reducir el indicador de productos defectuosos	**N° Proyecto:**	01-2024
Fecha (Última revisión):	8/01/2024	**Área:**	Producción
Aprobado Por:	Gerente de Excelencia Operacional	**Sección:**	Conversión

Caso de Negocio:	**Descripción de la oportunidad/problema:**
Existe una gran oportunidad en la reducción del indicador de productos defectuosos en la producción de rollos de papel tisú.	En el año 2023, el indicador de productos defectuosos ha experimentado una tendencia creciente, llegando a incrementarse en un 189% con respecto al año 2022, lo que representa un costo de reproceso de S/ 2 248 428.
Objetivo:	**Alcance del Proyecto:**
Reducir el indicador de productos defectuosos a un valor menor o igual a 2,2% al cierre del año 2024.	Fabricación de rollos de papel tisú (papel higiénico) en la línea de producción N°120 (L120).
Plan del Proyecto:	**Equipo:**

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Definir	22	2/01/2024	24/01/2024
Medir	31	25/01/2024	25/02/2024
Analizar	31	26/02/2024	28/03/2024
Mejorar	31	29/03/2024	29/04/2024
Controlar	30	30/04/2024	30/05/2024



Champion: Gerente de Excelencia Operacional
Black Belt: Jefe de Excelencia Operacional
Green Belt 1: Ingeniero de Procesos N°1
Green Belt 2: Ingeniero de Procesos N°2
Green Belt 3: Ingeniero de Procesos N°3

Fuente. Elaboración propia

4.1.4. Construcción de Mapas del Proceso

En esta sección se elaboró los mapas del proceso, que constituyen una parte integral de los entregables de la fase definir. Estos mapas fueron elaborados por los miembros del equipo del proyecto, quienes poseen una comprensión exhaustiva del proceso actual. El objetivo fue considerar todas las variables del proceso que potencialmente puedan afectar las características del producto o proceso en evaluación.
Se presenta el análisis de los mapas del proceso, que constituye el primer paso en el proceso de mapeo, para este propósito se inició con la creación de un Mapa SIPOC (ver Figura 14), que proporciona una comprensión del proceso desde una perspectiva holística que ayuda al equipo a tener una visión completa y clara del proceso, desde el inicio hasta el final, identificando a todos los actores involucrados y sus interacciones. Aunque el SIPOC no detalla la información necesaria para mejorar el proceso, se requiere un nivel mayor de detalle, por lo que se procederá con un segundo paso conocido como Diagrama de operaciones del proceso y el Diagrama arriba-abajo del proceso, el cual proporciona una representación clara y ordenada de las etapas secuenciales del proceso, lo que facilita la comprensión de cómo fluye el trabajo de una operación a otra. Este último tuvo como objetivo brindar un mayor detalle y comprensión del proceso (ver Figura 15 y 16).

Una vez realizado el diagrama arriba-abajo, se elaboró un mapa de despliegue de funciones, esta es una herramienta utilizada en la gestión por procesos para visualizar como las funciones o actividades específicas desempeñadas por los pasos del proceso están relacionadas entre sí y quién es el responsable de cada una de ellas. A continuación, se presenta el despliegue funcional del mapa basado en el SIPOC y en el diagrama arriba-abajo (ver Figura 17)

De esta manera, se logró obtener un conocimiento más detallado del proceso, lo que permitió identificar rápidamente las actividades que añaden o no añaden valor.



Figura 14. **Mapa del proceso de producción – MAPA SIPOC**

Fuente. Elaboración Propia

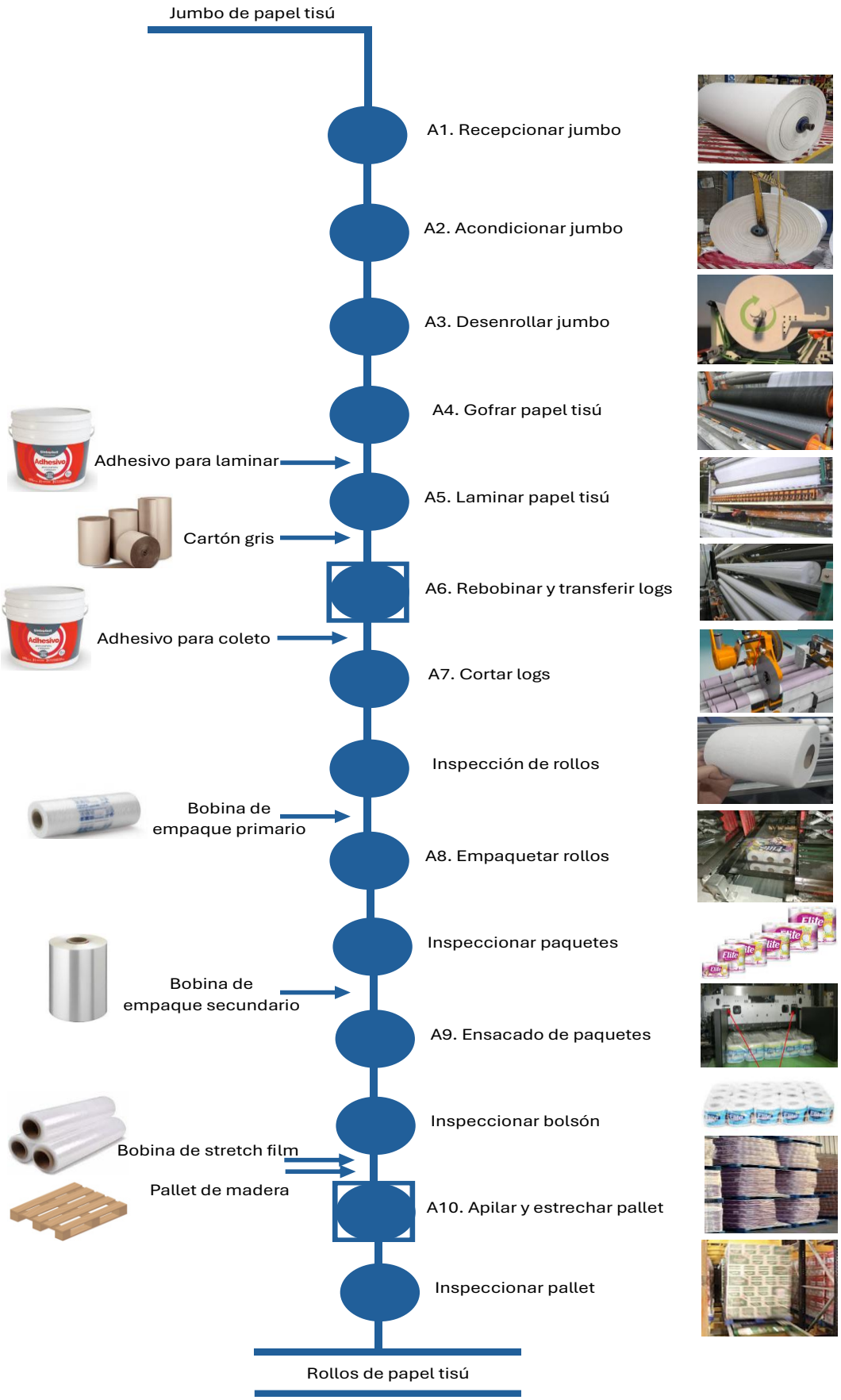


Figura 15. **Diagrama de Operaciones del Proceso**

Fuente. Elaboración Propia

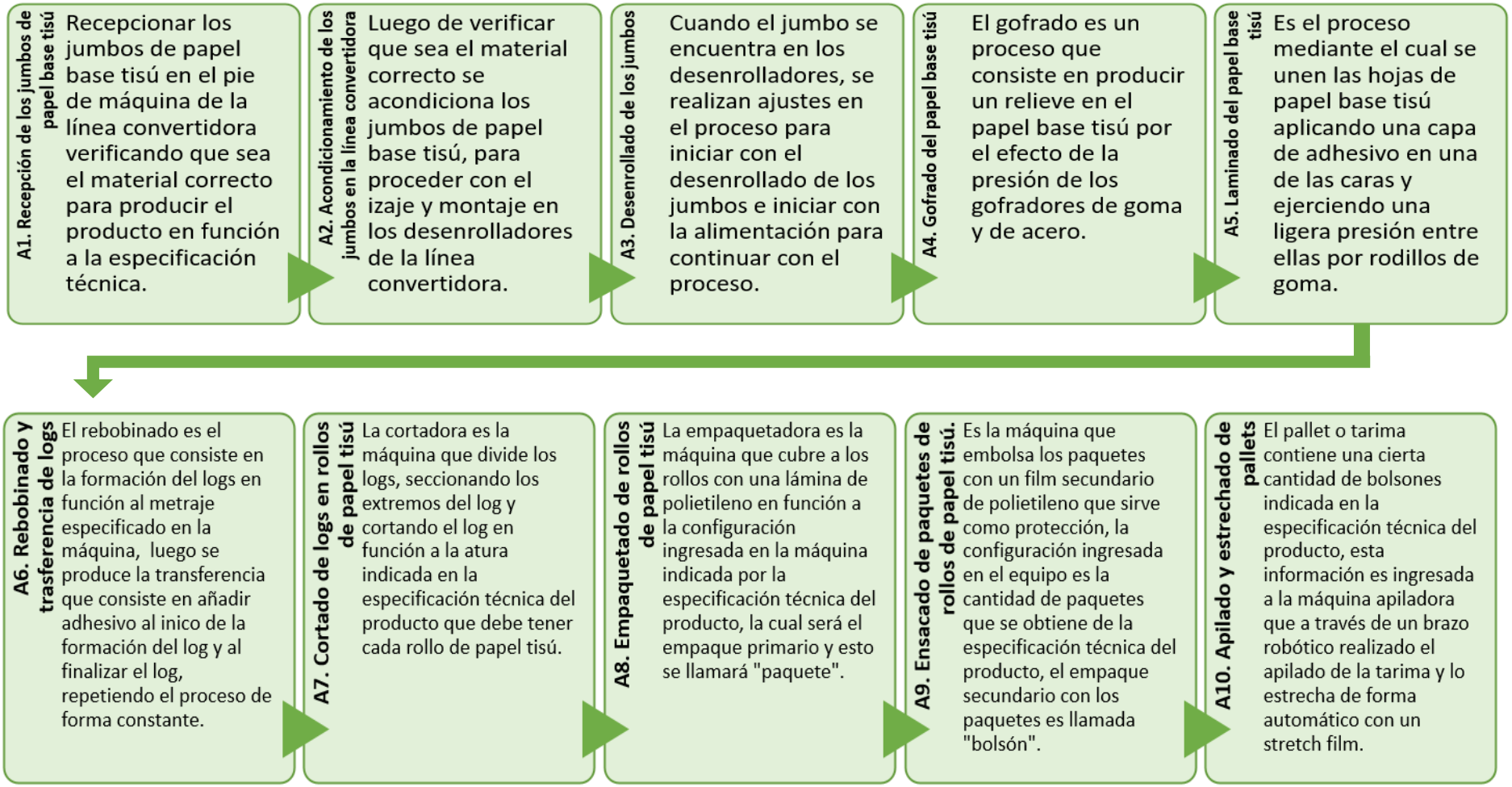
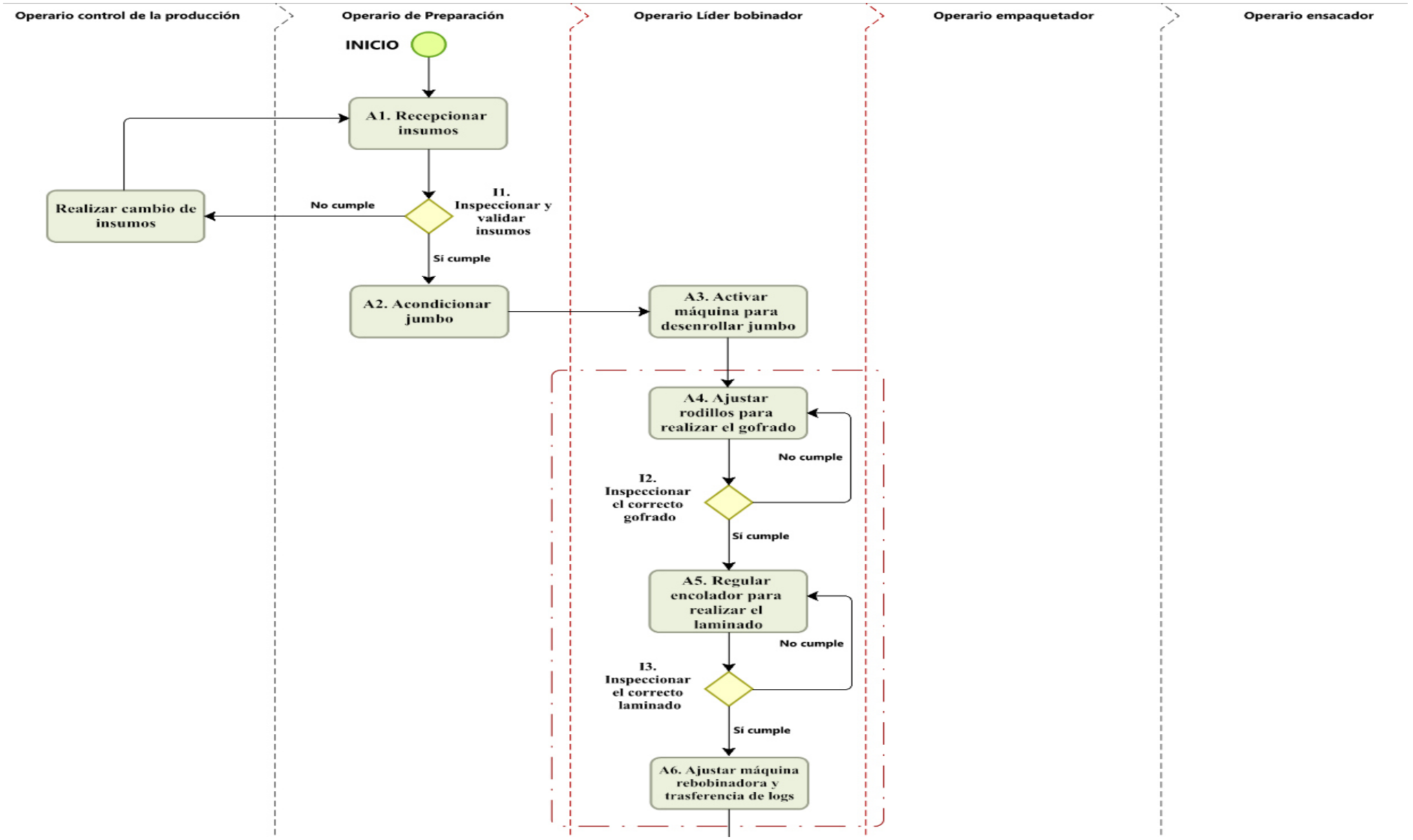


Figura 16. **Diagrama arriba – debajo del proceso**

Fuente. Elaboración Propia


Operario control de la producción
Operario de Preparación
Operario Líder bobinador
Operario empaquetador
Operario ensacador
INICIO
A1. Recepcionar insumos
I1. Inspeccionar y validar insumos
No cumple
Realizar cambio de insumos
Sí cumple
A2. Acondicionar jumbo
A3. Activar máquina para desenrollar jumbo
A4. Ajustar rodillos para realizar el gofrado
No cumple
I2. Inspeccionar el correcto gofrado
Sí cumple
A5. Regular encolador para realizar el laminado
No cumple
I3. Inspeccionar el correcto laminado
Sí cumple
A6. Ajustar máquina rebobinadora y trasferencia de logs

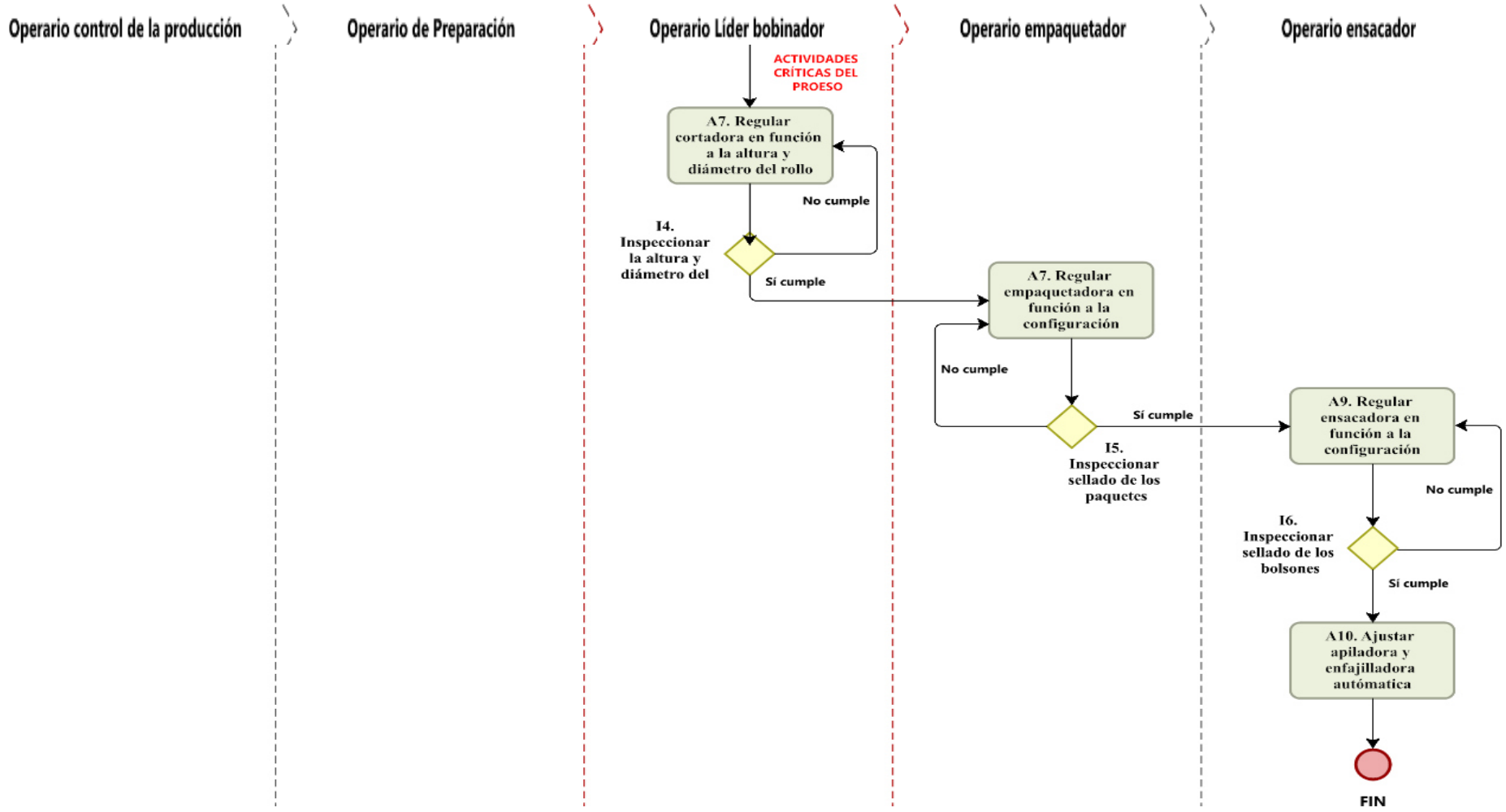


Figura 17. **Mapa de despliegue funcional del proceso**

Fuente. Información de la empresa - Elaboración propia

4.2. Fase Medir

En esta fase se aborda el estado actual del proceso, lo que implica que el equipo Lean Six Sigma realizó mediciones que sirvió como línea base para el indicador de productos defectuosos relacionado con el modo de defecto sin laminación (CTQ). Es crucial en este punto que los integrantes del equipo estén familiarizados con las variables del proceso que están siendo medidas y que comprendan qué factores están contribuyendo a las variaciones en el proceso. Los entregables esperados de la fase de medición son:

- Identificación de los datos a ser medidos
- Determinación de los tipos de datos y muestreo
- Elaboración del plan de recolección de datos
- Análisis del sistema de medición
- Establecimiento de los datos de línea base

4.2.1. Identificación de los datos a ser medidos

En este punto se presentan las variables “X” que actúan como las entradas del proceso, las cuales influyen en la generación de los modos de defectos, clasificadas como un crítico para la calidad (CTQ). En un primer paso, se procede a la identificación de los datos relacionados con las variables “X” para establecer una referencia inicial para la variable “Y” del proceso. Durante esta fase, la recolección de datos de las variables “X” se realiza simultáneamente con la de la variable “Y”, permitiendo así establecer relaciones entre ellas para su posterior análisis en la siguiente fase. La relación entre las variables “X”, las cuales son definidas para medir el nivel del indicador de productos defectuosos en el proceso “Y” (ver Figura 18).

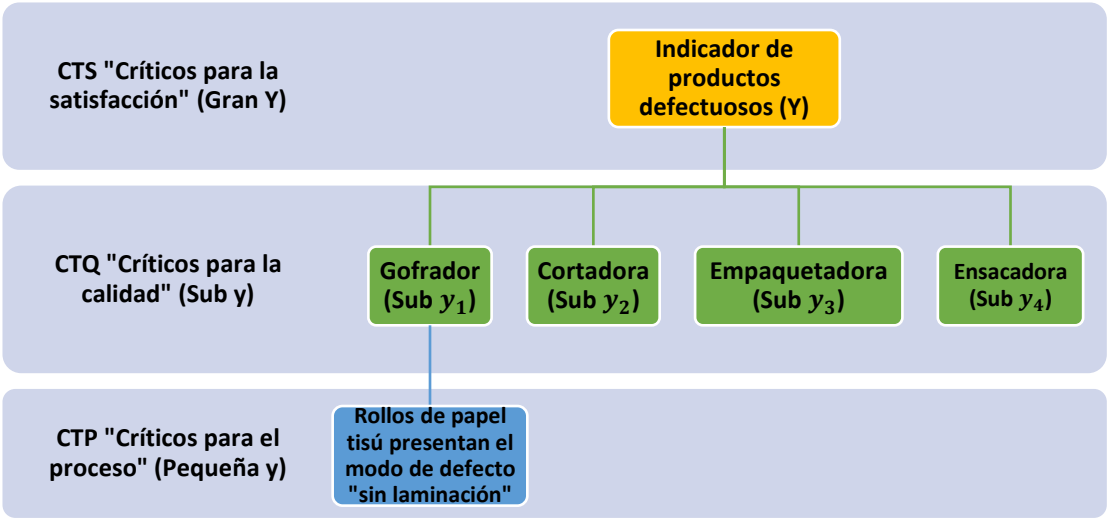


Figura 18. **Árbol crítico para la satisfacción, para la calidad y para el proceso**

Fuente. Elaboración propia

Una vez identificado nuestra variable "Y", que en este caso son los rollos de papel tisú que presentan el modo de defecto sin laminación, considerado crítico para el proceso, se llevó a cabo un análisis de las posibles causas mediante una sesión de lluvia de ideas, con la participación tanto de los miembros del equipo como de algunos operadores de las máquinas, quienes aportaron su conocimiento y experiencia en el proceso para identificar las posibles causas. Como resultado de esta actividad, se logró establecer diversas causas potenciales, también se evidenció que la relación entre el modo de defecto "sin laminación" se genera en la unidad gofradora de la línea convertidora N°120, donde intervienen diversos parámetros de procesos que pueden ser considerados como causas; estas se definieron como variables de entrada, como se muestra en el Diagrama de Análisis de Causas y Efectos (ver Figura 19).

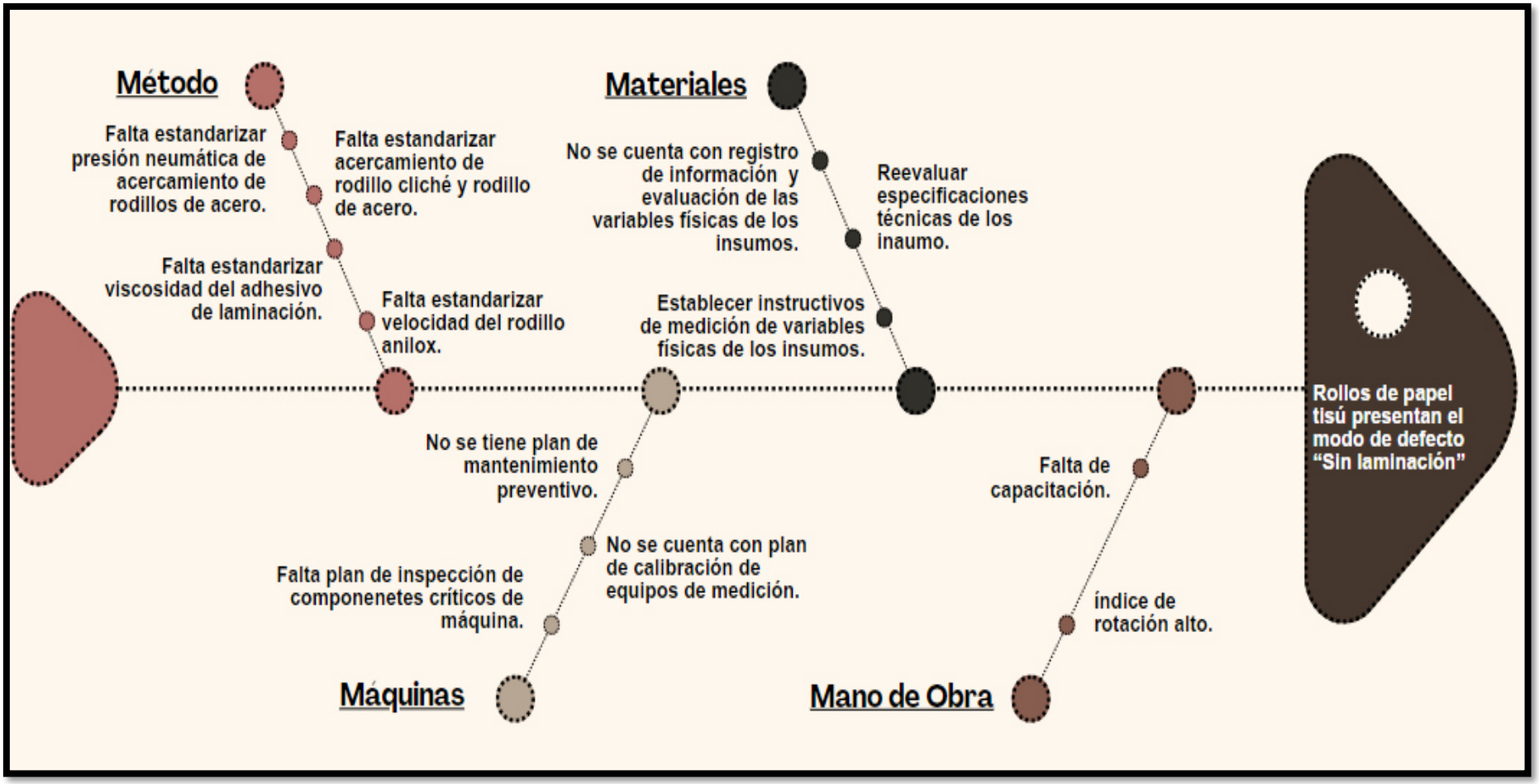


Figura 19. **Diagrama de Ishikawa - Causa y Efecto**

Fuente. Elaboración propia

Una vez identificadas las posibles causas, se escoge como variables “X” únicamente aquellas que estén estrechamente relacionadas con el efecto “rollos de papel tisú presentan el modo de defecto sin laminación”, para llevar a cabo esta actividad el equipo asignado al proyecto realizó una sesión de evaluación, análisis del proceso y del Diagrama de Ishikawa para determinar las posibles causas que están generando los productos defectuosos; en la sesión se determinó que las causas pertenecientes al “método” son variables críticas de la unidad gofradora que no se están controlando en el proceso de fabricación de rollos de papel tisú.

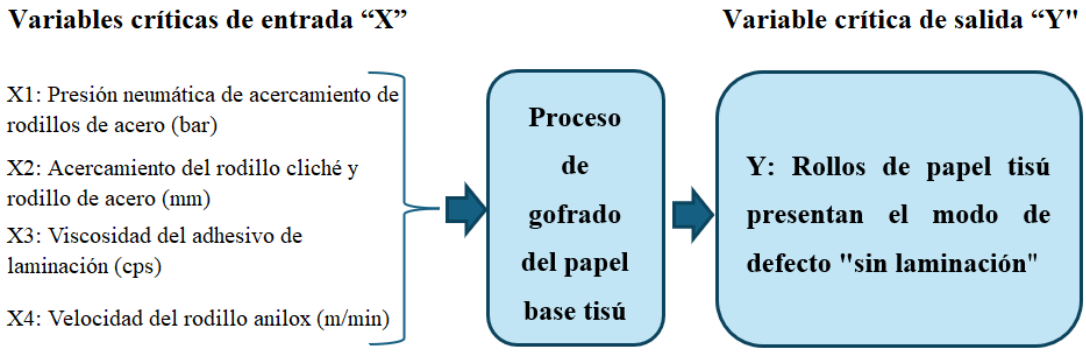


Figura 20. **Variables críticas de la unidad gofradora**

Fuente. Elaboración Propia

El equipo líder del proyecto para afirmar que dichas variables seleccionadas están directamente relacionadas al problema, extrajo de los reportes mensuales de producción del año 2023, las horas de paradas del equipo con sus respectivos motivos que generaron retrasos en la unidad gofradora, luego se elaboró un diagrama de Pareto en donde se identificó los principales motivos de paradas que representan el 80% del total (ver Figura 21); luego se asoció el motivo de la parada con su respectiva variable de entrada en donde se identificó y validó que las variables X1, X2, X3 y X4 son las que se deben analizar en la investigación (ver Cuadro 13).

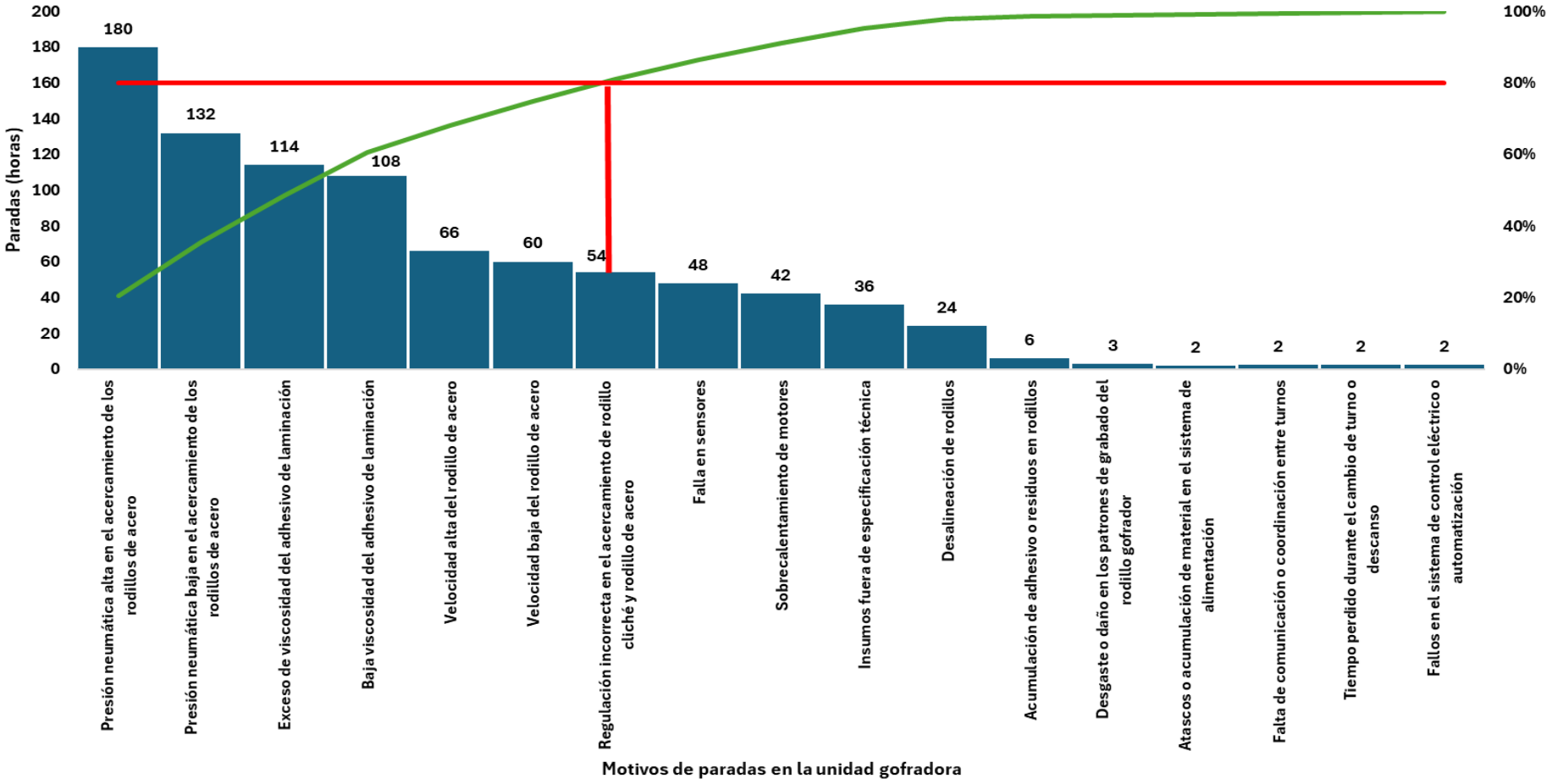


Figura 21. **Diagrama de Pareto de paradas en la unidad gofradora del año 2023**

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 13. **Identificación de variable de entrada asociada**

Motivos de paradas en la unidad gofradora	Paradas (horas)	% Horas de Paradas	% Horas de Paradas Acumuladas	Variable de entrada asociada
Presión neumática alta en el acercamiento de los rodillos de acero	**180**	**20%**	**20%**	**X1: Presión neumática de acercamiento de rodillos de acero (bar)**
Presión neumática baja en el acercamiento de los rodillos de acero	**132**	**15%**	**35%**	
Exceso de viscosidad del adhesivo de laminación	**114**	**13%**	**48%**	**X3: Viscosidad del adhesivo de laminación (cps)**
Baja viscosidad del adhesivo de laminación	**108**	**12%**	**61%**	
Velocidad alta del rodillo de acero	**66**	**7%**	**68%**	**X4: Velocidad del rodillo anilox (m/min)**
Velocidad baja del rodillo de acero	**60**	**7%**	**75%**	
Regulación incorrecta en el acercamiento de rodillo cliché y rodillo de acero	**54**	**6%**	**81%**	**X2: Acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero (mm)**
Falla en sensores	48	5%	86%	**Otras variables no relevantes**
Sobrecalentamiento de motores	42	5%	91%	
Insumos fuera de especificación técnica	36	4%	95%	
Desalineación de rodillos	24	3%	98%	
Acumulación de adhesivo o residuos en rodillos	6	1%	99%	
Desgaste o daño en los patrones de grabado del rodillo gofrador	3	0%	99%	
Atascos o acumulación de material en el sistema de alimentación	1.8	0%	99%	
Falta de comunicación o coordinación entre turnos	2.4	0%	99%	
Tiempo perdido durante el cambio de turno o descanso	2.4	0%	100%	
Fallos en el sistema de control eléctrico o automatización	2.4	0%	100%	

Fuente. Elaboración Propia

4.2.2. Determinación de los tipos de datos y muestreo

Antes de comenzar con la recopilación de información, se realiza la identificación del tipo de dato y el método de muestreo, lo cual implica considerar ciertos conceptos estadísticos.

Los datos correspondientes a la variable “Y” se clasifica como tipo discreto, ya que solo puede tener un valor único como es el modo de defecto del producto, que se considera “aceptado denotado por valor numérico 1” o “rechazado denotado por el valor numérico 0” como resultado. Por otro lado, los datos correspondientes a las variables “X” son de tipo continuo (ver Figura 22) sobre la identificación de los tipos de variables en el proceso de recolección de datos.

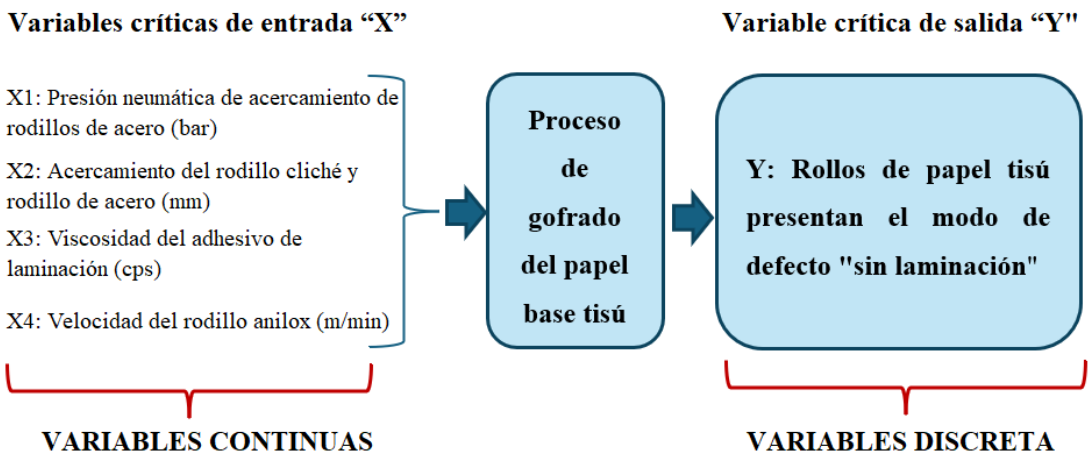


Figura 22. **Variables críticas de la unidad gofradora**

Fuente. Elaboración Propia

En lo que respecta al muestreo, es importante tener en cuenta que el indicador de productos defectuosos se determina tomando en consideración el total de productos muestreados que son evaluados por los inspectores de control de calidad situados en la línea de producción, la organización trabaja las 24 horas del día estableciendo 3 turnos por día, trabajando un inspector por cada turno.

4.2.3. Elaboración del plan de recolección de datos

El objetivo del plan a elaborar es asegurar la consistencia en la recolección de datos a lo largo de todo el proceso de medición de las variables "X" e "Y" previamente definidas. Dado que la recolección de información es crucial para el éxito del proyecto, la toma de datos se realiza utilizando el formato establecido por el Área de Control Calidad, el inspector muestrea los rollos de papel tisú en la línea de producción identificando el producto defectuoso con su respectivo modo de defecto, luego procede a registrar la información agregando la fecha, turno, nombre del inspector, producto, defecto, modo defecto, en qué unidad se originó, causa, plan de acción y las observaciones detectadas; de esta manera, se pretende garantizar una recolección precisa de los datos, asegurar que las incidencias de calidad sean registradas de forma correcta y fiable. El análisis de los datos se llevará a cabo en la fase de análisis del presente proyecto.

4.2.4. Análisis del sistema de medición (MSA)

Una vez que se han determinado los tipos de datos de las variables “X” e “Y”, se realizó la validación del sistema de medición y de los datos. Esta validación se realiza con la herramienta de calidad “Análisis del Sistema de Medición (MSA, por sus siglas en inglés)”; se emplea para evaluar, confirmar la confiabilidad y exactitud de un sistema de medición, consiste en examinar la capacidad del sistema para recolectar datos de manera consistente y precisa. Se utiliza el programa MINITAB versión 19, para llevar a cabo el análisis de las variables “X” e “Y” que se han identificado previamente.

4.2.4.1. Análisis del sistema de medición de la variable “Y”

Se expone a continuación el “Análisis del sistema de medición por atributos”, también conocido como “Estudios de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) para atributos”. Gutiérrez y De la Vara (2009) señalan que este estudio se utiliza en procesos de producción donde se realizan evaluaciones subjetivas realizadas por parte de inspectores, quienes categorizan las piezas o productos en un número restringido de categorías, el caso más habitual es el de dos categorías donde las piezas son aceptadas o rechazadas basándose en una apreciación en los sentidos (vista, gusto, olfato, oído, tacto), lo que genera datos o mediciones en una escala binaria. Por lo tanto, la verificación de la calidad de las mediciones en estas situaciones conlleva valorar la coherencia de los criterios empleados por los evaluadores. En un estudio R&R para una variable discreta binaria típica, al menos dos operadores evalúan dos veces un número adecuado de piezas, lo recomendable es que supere las 30 muestras.

El análisis es llevado a cabo por 3 inspectores de control de calidad encargados de evaluar los rollos de papel tisú, utilizando una muestra de 100 rollos; el procedimiento implica la evaluación de 100 rollos por parte de los 3 inspectores en tres días consecutivos, los inspectores encargados de realizar el análisis no tienen conocimiento de las muestras ni en qué momento fueron extraídos del proceso, para evitar cualquier influencia no deseada en el análisis. A continuación, se presentan las evaluaciones realizadas por los inspectores durante los 3 días (ver Cuadro 14).

Tabla 14. Evaluaciones de los inspectores en los 3 días

0 = Rollo rechazado **1 = Rollo aceptado**

Número de rollo	Día 1			Día 2			Día 3		
	Inspector 1	Inspector 2	Inspector 3	Inspector 1	Inspector 2	Inspector 3	Inspector 1	Inspector 2	Inspector 3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0	1	0	0	0
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	0	0	0	1	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	1	1	1	1	1	1	0	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	0
14	0	1	0	0	0	1	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	1	0	1	0	0	0	0	0
20	1	1	1	0	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	0	1	1
24	1	0	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1
28	0	1	1	1	1	1	1	0	1
29	1	1	0	1	1	1	1	1	1
30	1	1	0	1	1	1	1	1	1
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1
32	0	0	1	1	1	1	1	1	1
33	0	0	0	0	1	0	0	1	0
34	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	0	0	0	0	1	0	0	0	0
36	1	0	0	0	0	1	0	0	0
37	1	1	1	1	1	1	1	0	1
38	1	1	1	1	1	1	1	1	1
39	1	1	1	1	1	1	1	1	1
40	1	1	1	1	1	1	1	1	1
41	0	0	0	0	1	0	0	1	0
42	0	0	0	0	0	1	0	0	1
43	1	1	1	1	1	1	1	1	1
44	1	1	1	1	1	1	1	1	1
45	0	0	1	0	0	0	0	0	0

46	1	1	1	1	1	1	1	1	1
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	1	1	1	1	1	1	1	1	1
49	1	1	1	1	1	0	1	1	0
50	1	1	1	1	1	1	1	1	1
51	1	1	1	1	1	1	1	1	1
52	1	1	1	1	1	1	1	1	1
53	1	1	1	1	1	1	1	1	1
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	1	0	1	0
56	1	1	1	1	1	1	1	1	1
57	1	1	1	1	1	1	1	1	1
58	1	1	1	1	1	1	1	1	1
59	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	1	1	1	1	1	1	1	1
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0
62	1	1	1	1	1	1	1	0	1
63	1	1	1	1	1	1	1	1	0
64	0	1	0	0	0	1	0	0	0
65	1	1	1	1	1	1	1	1	1
66	1	1	1	1	1	1	1	1	1
67	1	1	1	1	1	1	1	1	1
68	0	0	0	0	0	0	0	0	0
69	0	0	0	1	0	0	0	0	0
70	1	1	1	1	1	1	1	1	1
71	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	1	1	1	1	1	1	1	1	1
73	1	1	1	1	1	1	0	1	1
74	1	1	1	0	1	1	1	1	1
75	1	1	1	1	1	1	1	1	1
76	1	1	1	1	1	1	1	1	1
77	1	1	1	1	1	1	1	1	1
78	1	1	1	1	1	1	1	1	1
79	1	1	0	1	1	1	1	1	1
80	1	1	0	1	1	1	1	1	1
81	1	1	1	1	1	1	1	1	1
82	0	1	1	1	1	1	1	1	1
83	0	0	0	0	0	0	0	1	0
84	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	1	1	1	1	1	1	1	1	1
86	1	1	0	0	0	0	0	0	0
87	1	1	1	1	1	1	1	0	1
88	0	0	0	0	0	1	0	0	1
89	1	1	1	1	1	1	1	1	1
90	1	1	1	1	1	1	1	1	1
91	0	0	0	0	0	1	0	1	0
92	0	0	0	0	0	0	0	0	1
93	1	1	1	1	1	1	1	1	1
94	1	1	1	1	1	1	1	1	1
95	0	0	1	0	0	0	0	0	0
96	1	1	1	1	1	1	1	1	1
97	1	1	1	1	1	1	1	1	1
98	1	1	1	1	1	1	1	1	1
99	1	1	1	1	1	1	1	1	0
100	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente. Elaboración propia

Las evaluaciones obtenidas son llevadas al software estadístico Minitab, para realizar un análisis del sistema de medición para atributos; a continuación, se muestran los resultados obtenidos (ver Figura 23).

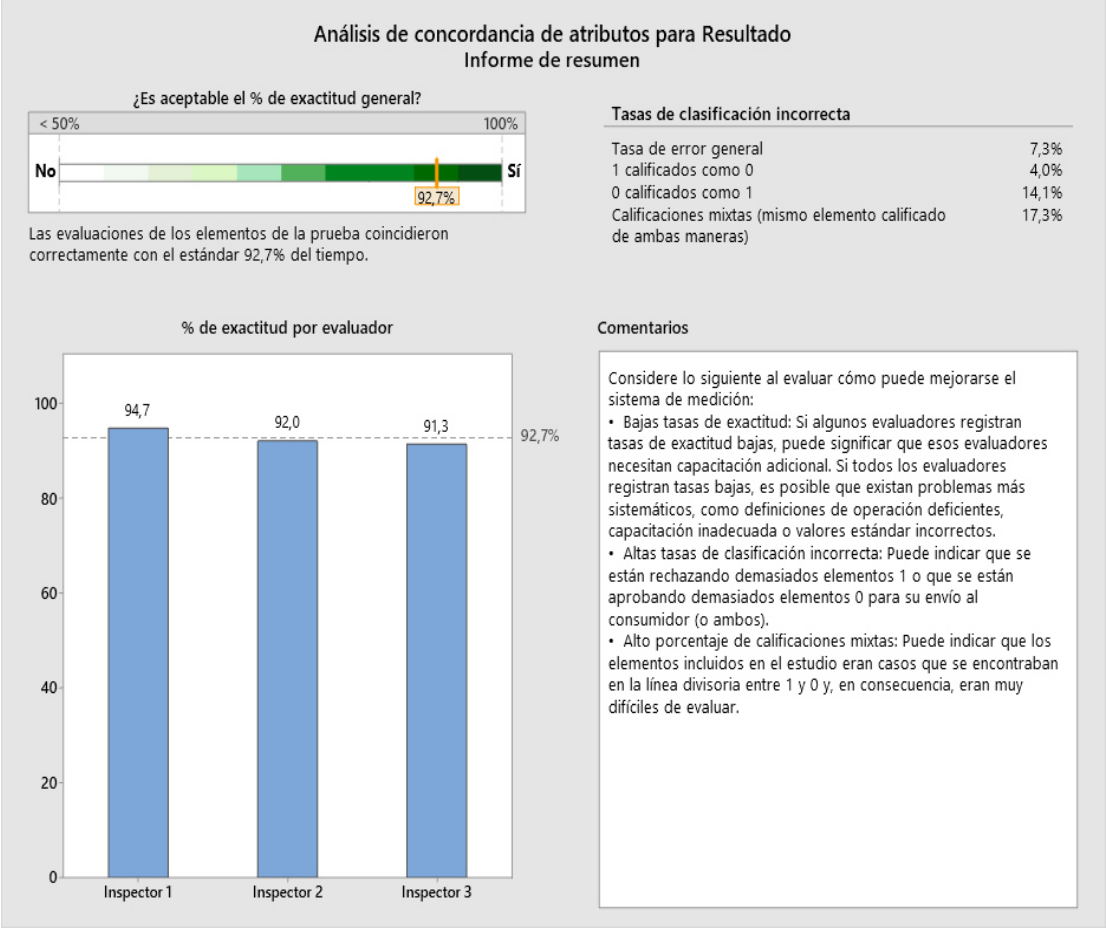


Figura 23. **Resultado del análisis del sistema de medición para atributos**

Fuente. Elaboración propia

En el siguiente punto se muestran los criterios de decisión del sistema, los cuales se han tomado como referencia del Manual del Análisis de Sistemas de Medición 4° edición, el cual establece que un rango de aceptabilidad mayor a 90% es considerado adecuado, mientras que un rango marginalmente aceptable se sitúa entre el 80% y el 90%, cualquier valor por debajo del 80% se considera inaceptable, lo que indica que el inspector debe mejorar su capacidad para identificar los rollos defectuosos.

Tabla 15. **Criterios aplicados al análisis del sistema de medición**

Decisión del sistema de medición	Exactitud	Tasa de error	Tasa falsa alarma
Aceptable por observador	>= 90%	<10%	<= 10%
Marginalmente aceptable parael observador - Puede necesitar mejora	>= 80%	<20%	<= 15%
Inaceptable por observador - Necesita mejora	< 80%	> 20 %	> 20 %

Fuente. Información tomada del Manual MSA 4° edición - Elaboración propia

En conclusión, el resultado de las evaluaciones de los rollos de la prueba coincide correctamente con el estándar en 92.7% con una tasa de error general de 7.3%, se puede afirmar que el sistema de evaluación para la variable discreta "Y" es satisfactorio debido a que el resultado obtenido es mayor o igual al 90%, además el porcentaje de exactitud de los inspectores son 94.7%, 92% y 91.3% respectivamente; se determina que el análisis del sistema de medición para atributos empleado en el proceso es el adecuado. No obstante, en los resultados mostrados indica que un 14.1% de los rollos que presentaban el modo de defecto "sin laminación" fueron erróneamente clasificados como rollos aceptables, debido a ello es esencial mencionar que se puede mejorar el resultado del MSA con un programa de capacitación para los inspectores de control de calidad enfocado en el "Manual de atributos estándar de los rollos", este ya se encuentra elaborado por el Área de Control de Calidad.

4.2.4.2. Análisis del sistema de medición para las variables "X"

Procedemos a ejecutar el "Análisis del sistema de medición para variables continuas" o también llamada "Estudio largo de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) para variables continuas". Gutiérrez y De la Vara (2009) especifica que la repetibilidad de un instrumento de medición se refiere a la precisión o variabilidad de las mediciones cuando se realizan múltiples mediciones del mismo objeto en condiciones similares por un solo operador; por otro lado, la reproducibilidad es la precisión o variabilidad de las mediciones del mismo objeto, pero en condiciones variables realizadas por diferentes operadores. En los estudios R&R, se lleva a cabo una evaluación de modo

experimental para determinar cuál porción de la variabilidad total detectada en los datos es atribuible al error de medición. Adicionalmente, este estudio permite cuantificar si dicho error es significativo en relación con la variabilidad del producto y las tolerancias de las características de calidad que se están evaluando, es recomendable seleccionar 2 o más operadores para ejecutar el estudio y se debe realizar 10 o más mediciones teniendo en cuenta que debe hacer por lo menos 2 ensayos o más; para obtener un resultado confiable.

El análisis es llevado a cabo por 3 operadores encargados de realizar las mediciones, cada operador realiza 10 mediciones por día y lo debe realizar durante 3 días consecutivos; se realiza las mediciones con el mismo instrumento de medición y con las mismas condiciones del proceso. A continuación, se muestran las características principales de los equipos utilizados para el análisis del sistema de medición (ver Cuadro 16).

Tabla 16. **Características principales de las variables "X"**

Variables de medición	**X_1**	**X_2**	**X_3**	**X_4**
Escala para medir:	Presión	Distancia	Viscosidad	Velocidad
Unidad de medición:	Bar	Mm	Cps	m/min
Equipo:	Manómetro	Vernier	Viscosímetro	Velocímetro
Identificación:	PAX1	PAX2	PAX3	PAX4

Fuente. Elaboración Propia

Las mediciones realizadas por los operadores son registradas y presentadas al equipo Lean Six Sigma (ver Cuadro 17).

Tabla 17. **Mediciones de los operadores de las variables "X"**

VALORES MEDIDOS DEL ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MEDICIÓN						
N° de medición	Operadores	Día	X1	X2	X3	X4
1	Operador 1	1	4,8	0,08	60	64
2	Operador 1	1	4,7	0,06	58	59
3	Operador 1	1	4,9	0,06	60	61
4	Operador 1	1	4,8	0,08	56	58
5	Operador 1	1	4,5	0,04	55	43
6	Operador 1	1	5,2	0,05	64	63
7	Operador 1	1	4,4	0,05	63	50
8	Operador 1	1	4,7	0,08	53	56
9	Operador 1	1	4,6	0,06	58	61
10	Operador 1	1	4,7	0,09	62	55
11	Operador 2	1	4,8	0,07	60	64
12	Operador 2	1	4,7	0,05	59	57
13	Operador 2	1	4,9	0,07	60	61
14	Operador 2	1	4,8	0,08	56	59
15	Operador 2	1	4,5	0,04	55	43
16	Operador 2	1	4,9	0,05	64	63
17	Operador 2	1	4,4	0,08	63	50
18	Operador 2	1	4,7	0,08	54	54
19	Operador 2	1	4,6	0,06	58	62
20	Operador 2	1	4,7	0,09	62	56
21	Operador 3	1	4,8	0,07	60	64
22	Operador 3	1	4,7	0,05	60	60
23	Operador 3	1	4,9	0,06	60	61
24	Operador 3	1	4,8	0,08	56	60
25	Operador 3	1	4,5	0,04	55	45
26	Operador 3	1	5,2	0,05	64	63
27	Operador 3	1	4,4	0,05	63	50
28	Operador 3	1	4,7	0,08	55	55
29	Operador 3	1	4,6	0,06	58	63
30	Operador 3	1	4,7	0,09	62	58
31	Operador 1	2	4,8	0,07	60	64
32	Operador 1	2	4,7	0,05	58	59
33	Operador 1	2	4,9	0,06	60	61
34	Operador 1	2	4,8	0,08	56	60
35	Operador 1	2	4,5	0,04	55	44
36	Operador 1	2	5,2	0,05	64	63
37	Operador 1	2	4,4	0,05	63	50
38	Operador 1	2	4,7	0,08	53	59
39	Operador 1	2	4,6	0,06	58	61
40	Operador 1	2	4,7	0,09	62	55
41	Operador 2	2	4,8	0,07	60	64
42	Operador 2	2	4,7	0,05	57	55
43	Operador 2	2	4,9	0,06	60	61
44	Operador 2	2	4,8	0,08	56	59
45	Operador 2	2	4,5	0,04	55	44

VALORES MEDIDOS DEL ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MEDICIÓN						
N° de medición	Operadores	Día	X1	X2	X3	X4
46	Operador 2	2	5,2	0,05	64	63
47	Operador 2	2	4,4	0,06	63	50
48	Operador 2	2	4,7	0,08	55	54
49	Operador 2	2	4,6	0,06	58	62
50	Operador 2	2	4,7	0,09	62	56
51	Operador 3	2	4,8	0,07	60	64
52	Operador 3	2	4,7	0,05	60	59
53	Operador 3	2	4,9	0,06	60	61
54	Operador 3	2	4,8	0,08	56	62
55	Operador 3	2	4,5	0,04	55	47
56	Operador 3	2	5,2	0,05	64	63
57	Operador 3	2	4,4	0,05	63	50
58	Operador 3	2	4,7	0,08	55	62
59	Operador 3	2	4,6	0,06	58	63
60	Operador 3	2	4,7	0,09	62	58
61	Operador 1	3	4,8	0,07	60	64
62	Operador 1	3	4,7	0,05	57	57
63	Operador 1	3	4,9	0,06	60	61
64	Operador 1	3	4,8	0,08	56	59
65	Operador 1	3	4,5	0,04	55	45
66	Operador 1	3	5,2	0,05	64	63
67	Operador 1	3	4,4	0,05	63	50
68	Operador 1	3	4,7	0,08	54	59
69	Operador 1	3	4,6	0,06	58	61
70	Operador 1	3	4,7	0,09	62	55
71	Operador 2	3	4,8	0,07	60	64
72	Operador 2	3	4,7	0,05	57	56
73	Operador 2	3	4,9	0,06	60	61
74	Operador 2	3	4,8	0,08	56	60
75	Operador 2	3	4,5	0,04	55	47
76	Operador 2	3	4,9	0,05	64	63
77	Operador 2	3	4,4	0,07	63	50
78	Operador 2	3	4,7	0,08	55	57
79	Operador 2	3	4,6	0,06	56	62
80	Operador 2	3	4,7	0,09	58	56
81	Operador 3	3	4,8	0,07	60	64
82	Operador 3	3	4,7	0,05	60	61
83	Operador 3	3	4,9	0,06	60	61
84	Operador 3	3	4,8	0,08	56	61
85	Operador 3	3	4,5	0,04	55	46
86	Operador 3	3	5,0	0,05	64	63
87	Operador 3	3	4,4	0,06	63	50
88	Operador 3	3	4,7	0,08	55	55
89	Operador 3	3	4,6	0,06	58	63
90	Operador 3	3	4,7	0,09	62	58

Fuente. Elaboración Propia

Los datos recopilados por los operadores nos permiten realizar el análisis del sistema de medición para variables continuas mediante el uso de la herramienta del programa estadístico Minitab, como se muestra a continuación:

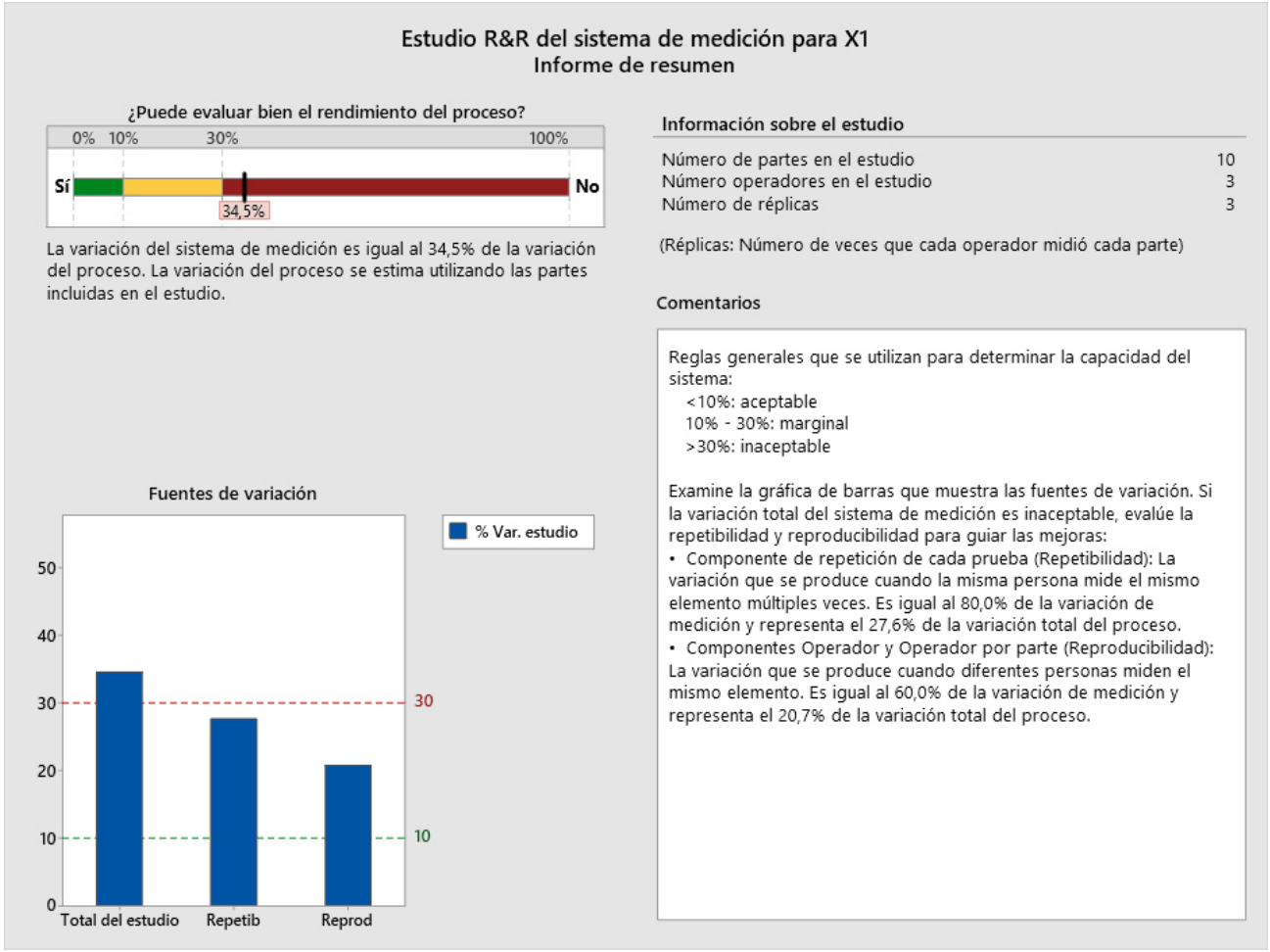


Figura 24. **Resultado del Análisis del Sistema de Medición – Variable X1**

Fuente. Elaboración Propia

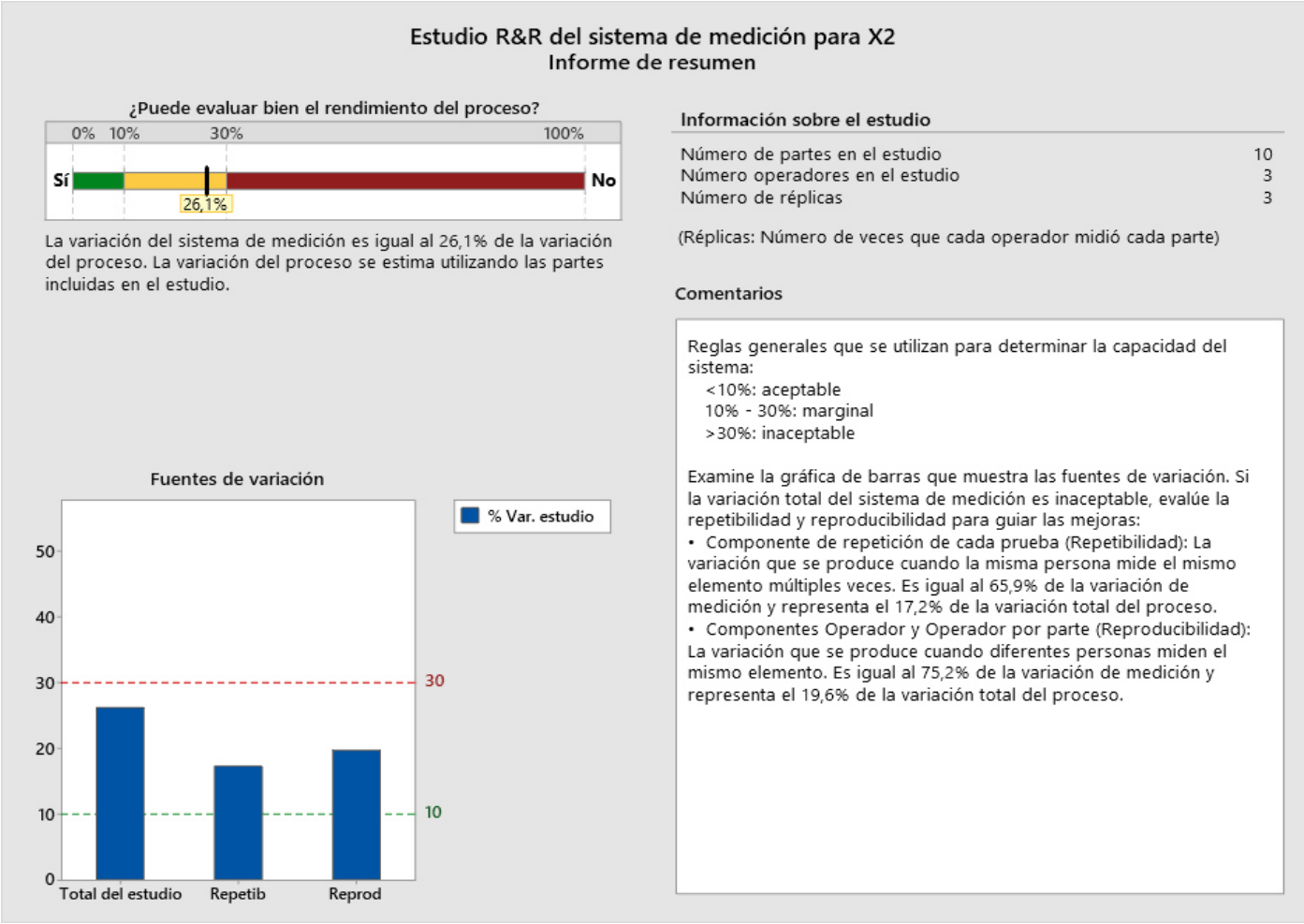


Figura 25. **Resultado del Análisis del Sistema de Medición – Variable X2**

Fuente. Elaboración Propia

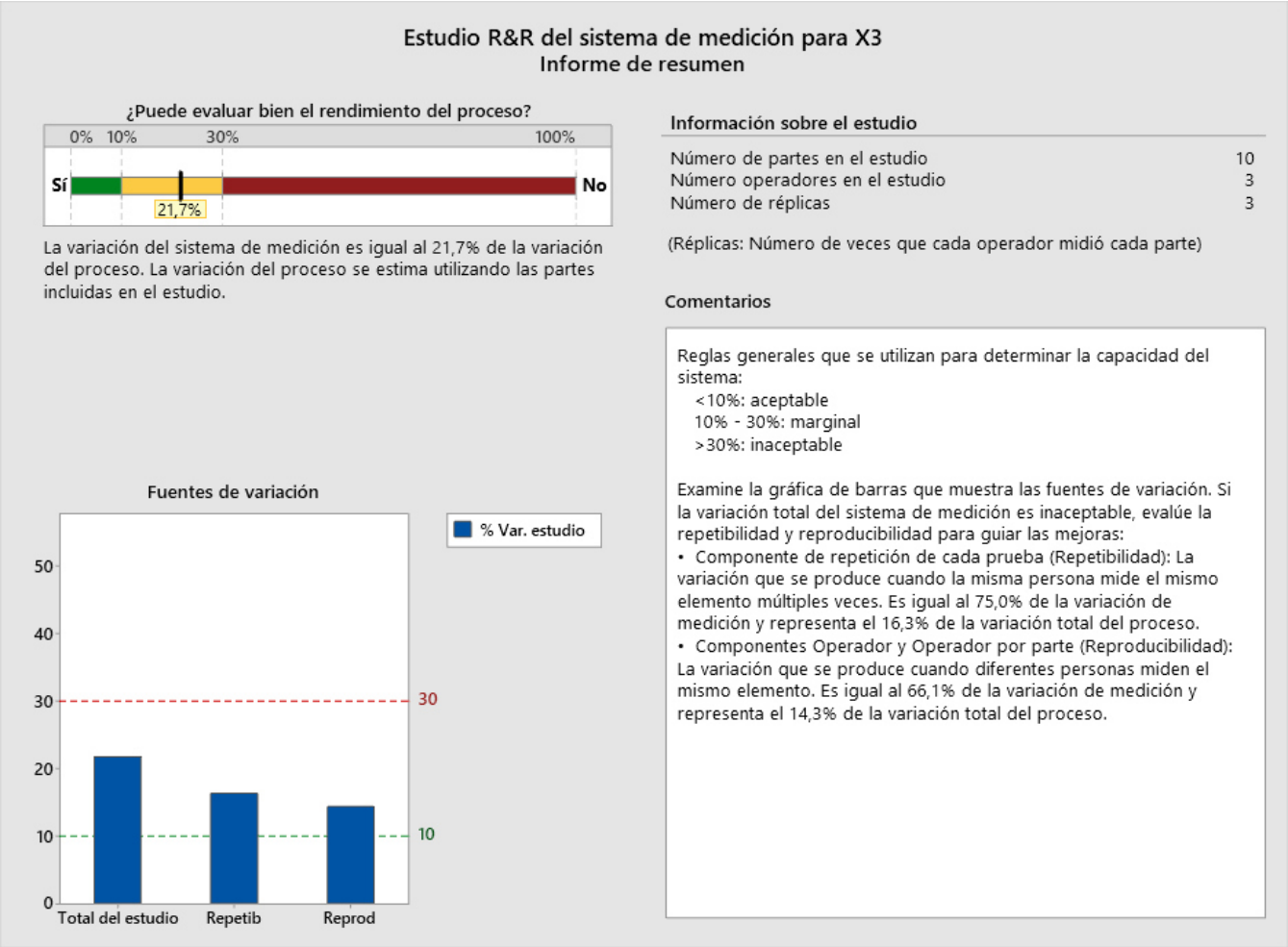


Figura 26. **Resultado del Análisis del Sistema de Medición – Variable X3**

Fuente. Elaboración Propia

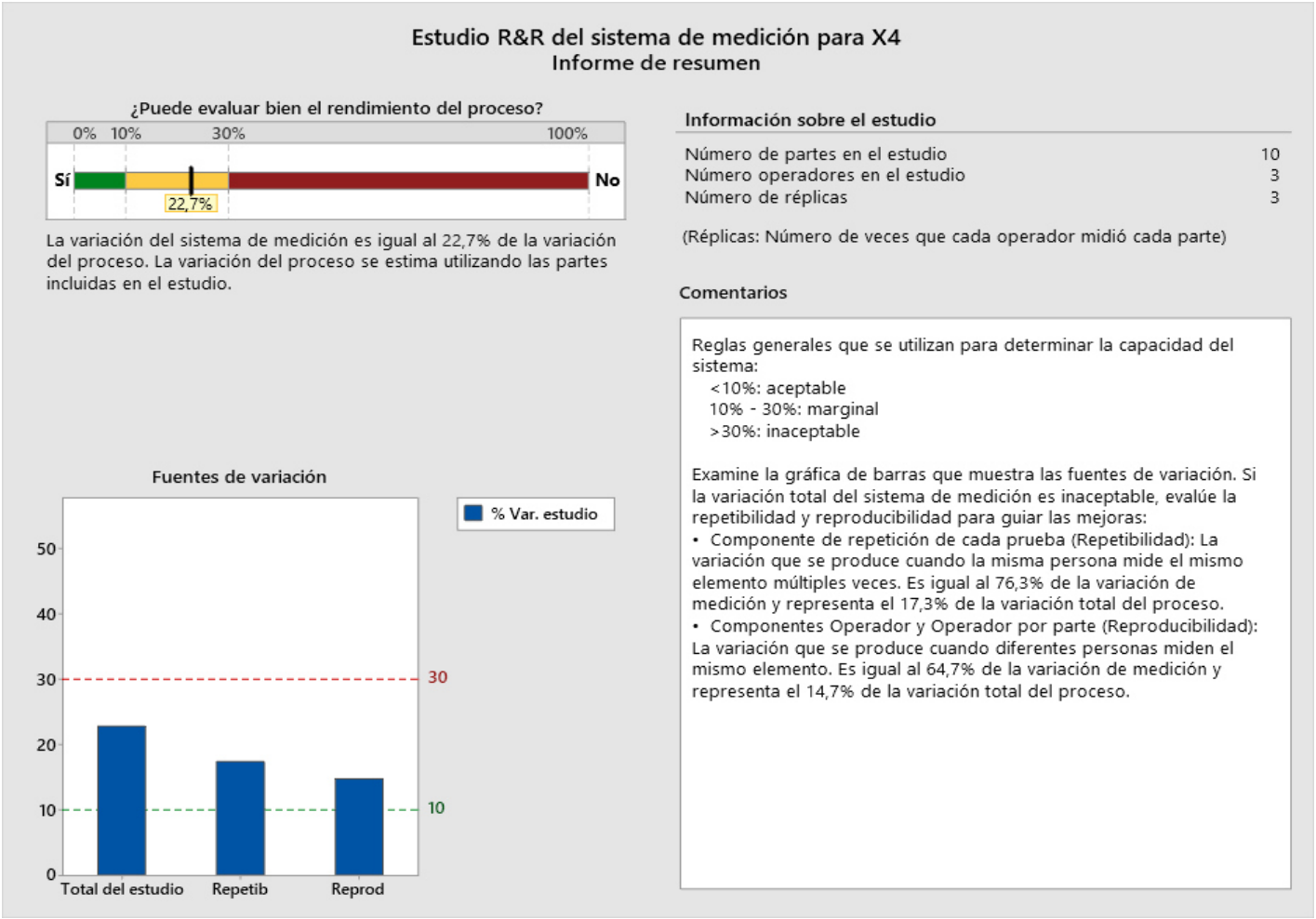


Figura 27. **Resultado del Análisis del Sistema de Medición – Variable X4**

Fuente. Elaboración Propia

En función a los hallazgos exhibidos (ver Figura 24, 25, 26 y 27) en los análisis del sistema de medición para las variables “X”, se evidencia que cada variable presenta una fuente de variación del sistema de medición que está por encima del 10% pero por debajo del 30%, a excepción de la variable X1 que supera el 30%, situándose en una zona amarilla o roja. En consecuencia, se deduce que la variabilidad del sistema de medición no es aceptable, dado que la repetibilidad que se refiere a la variación o error de las mediciones sucesivas relacionada sobre el mismo objeto con un instrumento bajo las mismas condiciones realizadas por un mismo operador y la reproducibilidad, que se origina a partir de la variación o error de las mediciones sobre el mismo objeto con un instrumento bajo condiciones cambiantes, dado que las mediciones realizadas por diferentes operadores poseen un valor superior al 10%.

Por consiguiente, es necesario implementar un plan de mejora (ver Cuadro 18), con el fin de que la variación del estudio de medición (R&R) sea menor al 10% de la variación del proceso y asegurar que los errores en las mediciones no comprometan la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Tabla 18. **Plan de mejora para el sistema de medición**

Acciones	Responsable	Fecha
1. Formación tanto teórica y práctica para los operadores del procedimiento de medición y utilización del instrumento de medición.	Supervisor operativo	08/02/2024
2. Mantención y calibración de instrumentos de medición.	Supervisor de control de calidad	20/02/2024
3. Renovar instrumentos de medición en estado crítico por otros que proporcionen una mayor capacidad de discriminación de acuerdo con las necesidades específicas del proceso.	Jefe de Línea	04/03/2024
4. Elaborar un cronograma con una determinada frecuencia para realizar los análisis del sistema de medición (MSA) para todas las variables “X”.	Ingeniero de procesos	15/03/2024

Fuente. Elaboración Propia

Tras la implementación del plan de mejora, se realizó la verificación de la efectividad mediante un nuevo análisis de los sistemas de medición para las variables “X”. Seguidamente se presentan los resultados de la fuente de variación de los sistemas de medición, donde se evidencian valores inferiores al 10%; en consecuencia, se

determina que los sistemas de medición son aceptables (ver Figura 28, 29, 30 y 31), lo que permite avanzar con la fase de medición.

Una vez completado el análisis de los sistemas de medición para ambas variables “X” e “Y”, se llevó a cabo investigaciones sobre el comportamiento de las mediciones de los procesos mediante el uso de herramientas estadísticas.

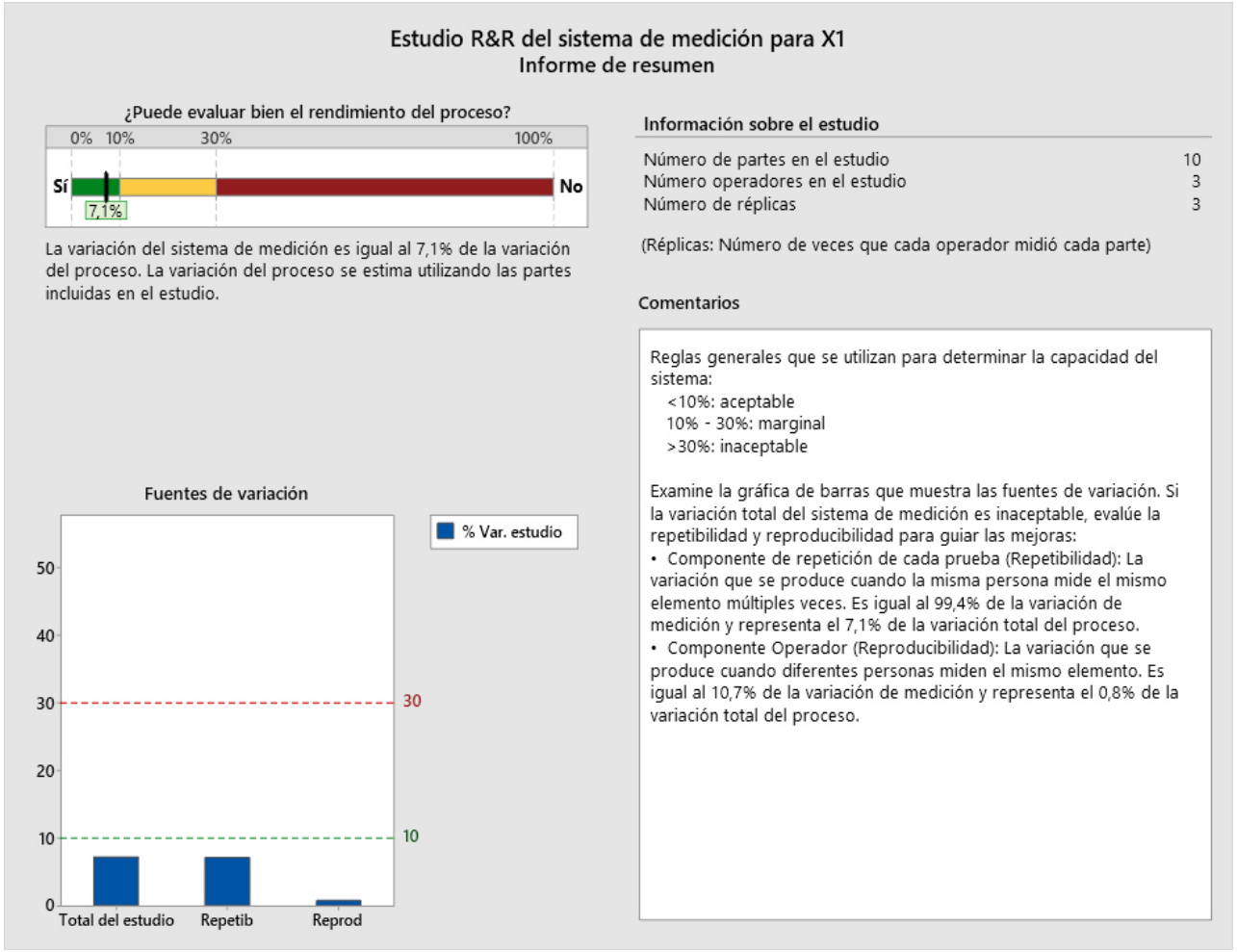


Figura 28. **Verificación del Análisis del Sistema de Medición – Variable X1**
Fuente. Elaboración Propia

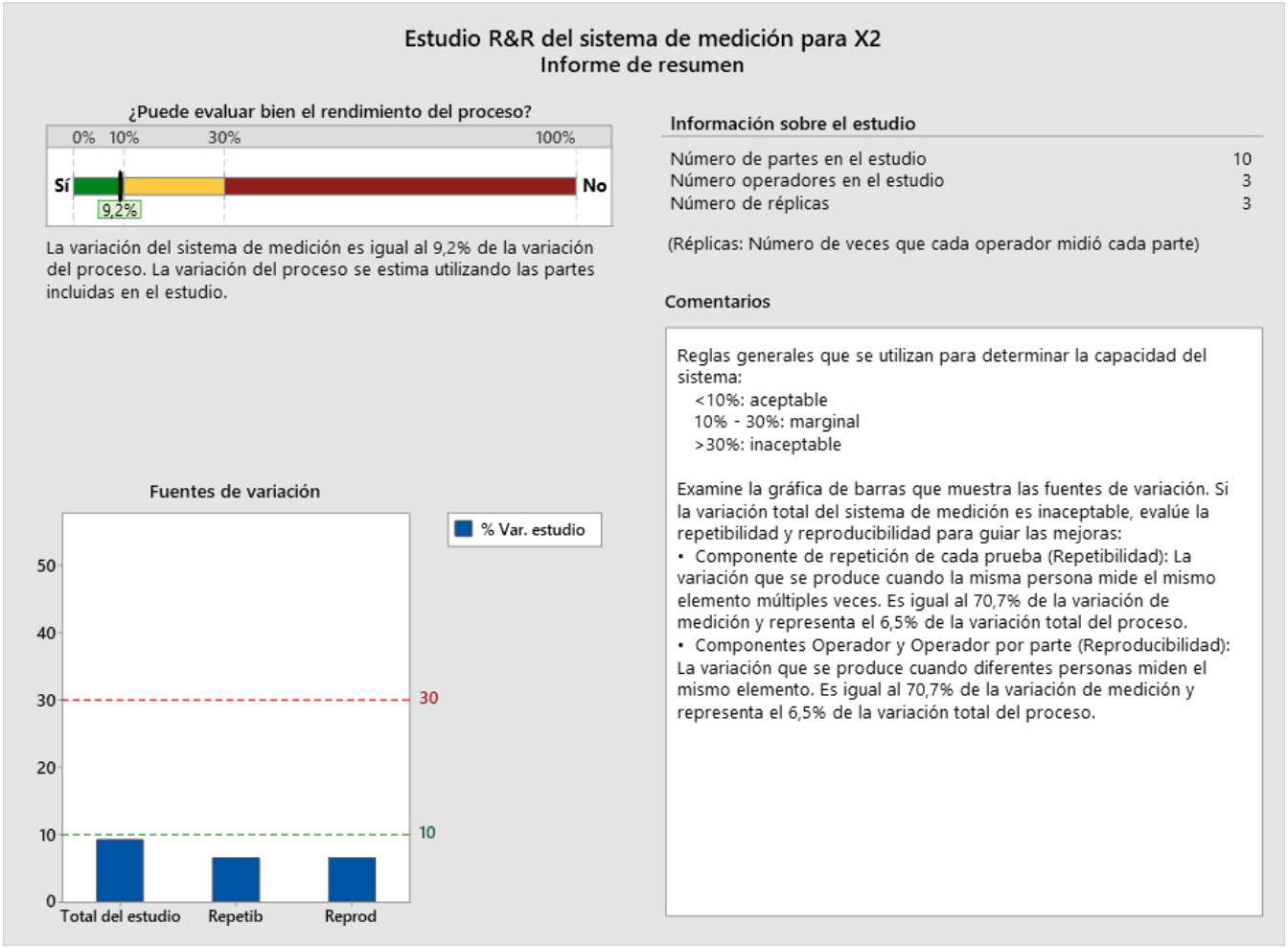


Figura 29. **Verificación del Análisis del Sistema de Medición – Variable X2**
Fuente. Elaboración Propia

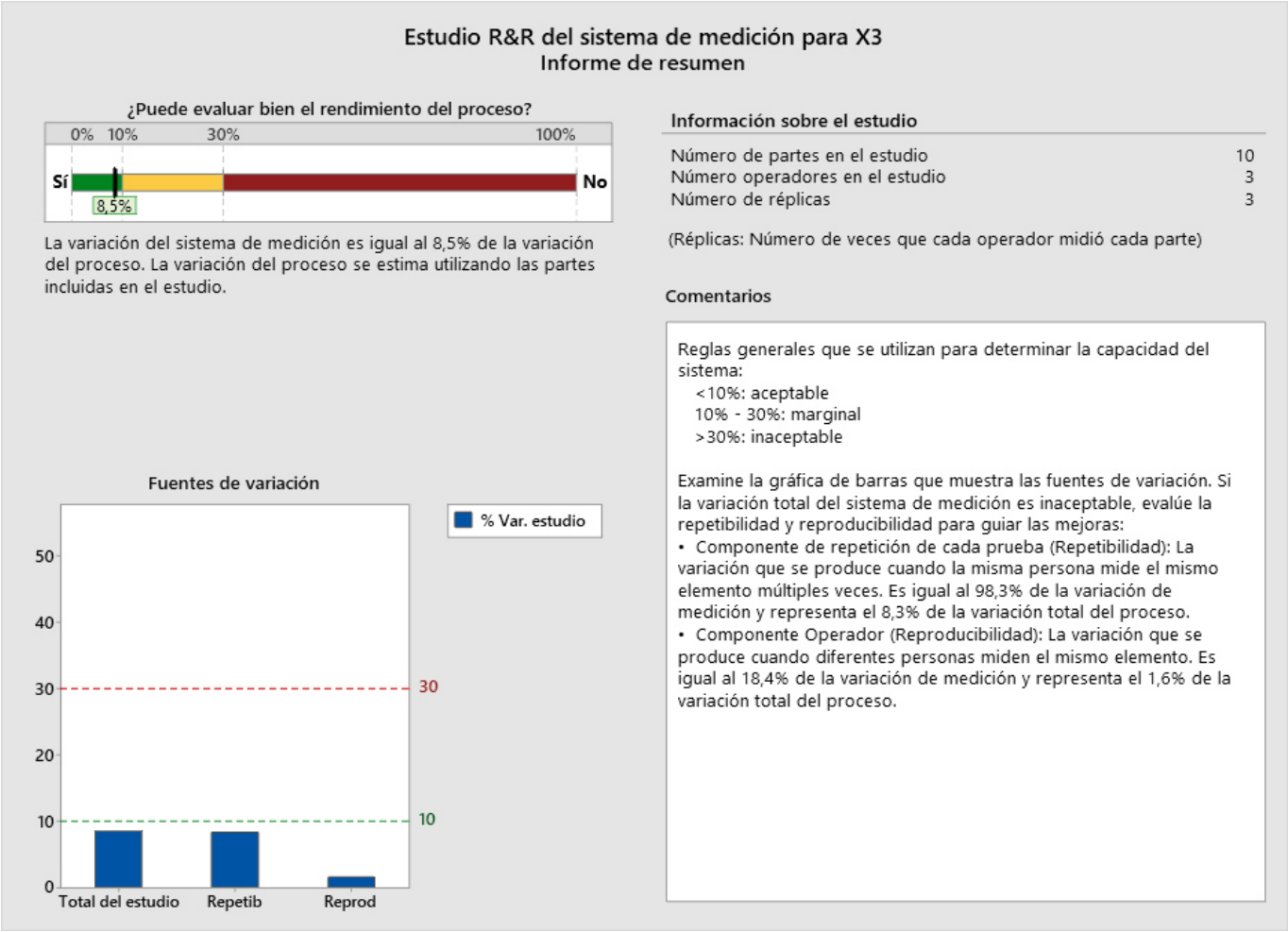


Figura 30. **Verificación del Análisis del Sistema de Medición – Variable X3**

Fuente. Elaboración Propia

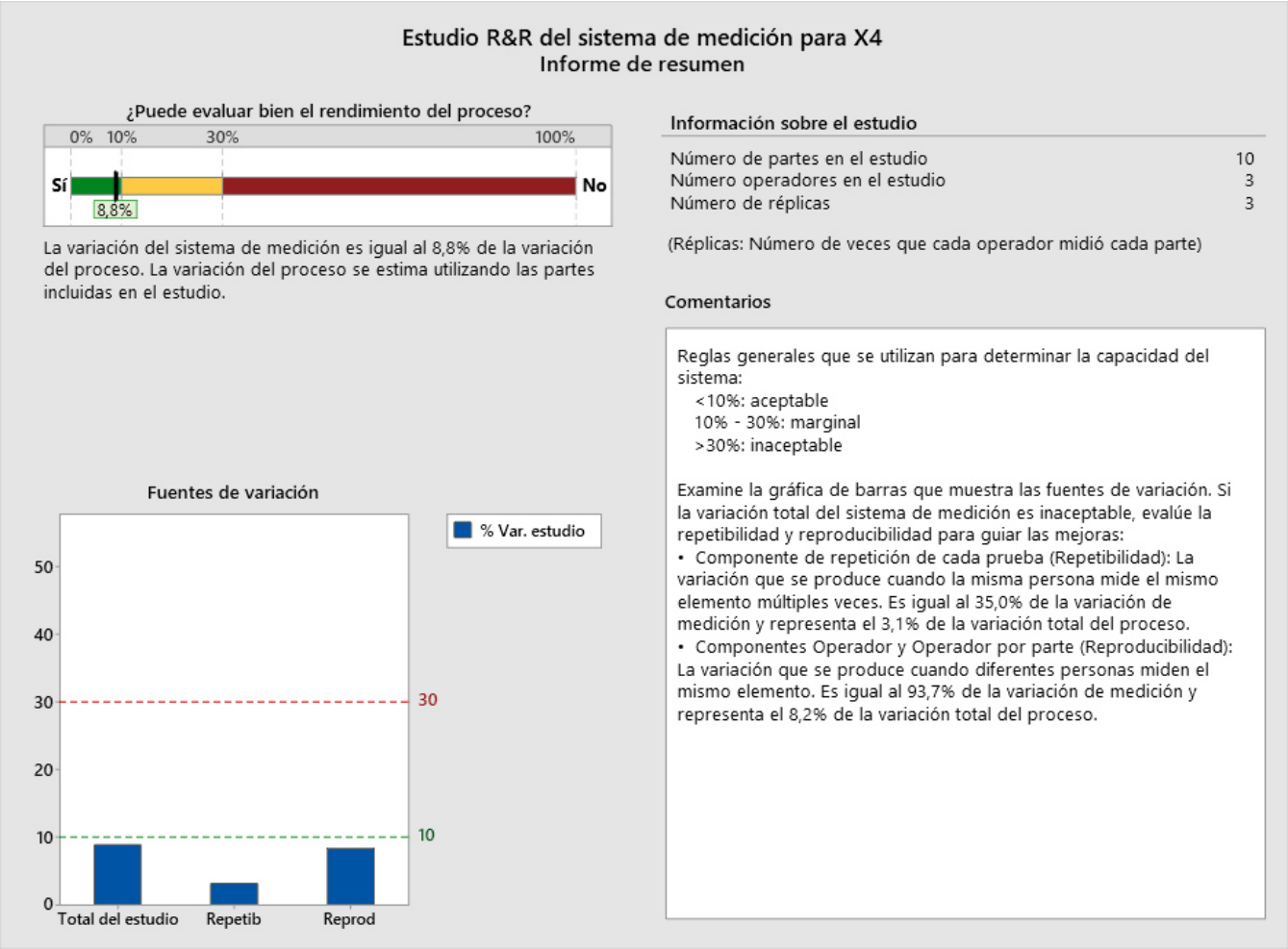


Figura 31. **Verificación del Análisis del Sistema de Medición – Variable X4**

Fuente. Elaboración Propia

4.2.5. Medición de la situación actual del proceso

Una vez que se recopilaron los datos y se confirmó la validez del sistema de medición tanto para las variables "X" e "Y", los integrantes del equipo proceden a evaluar el estado actual del proceso utilizando las métricas como el indicador de la capacidad potencial del proceso (Cp), indicador de la capacidad real del proceso (Cpk), indicador del desempeño potencial del proceso (Pp), indicador del desempeño real del proceso (Ppk) y el nivel Six Sigma (Z).

El indicador de la capacidad potencial del proceso (Cp), se determina mediante la división del rango de las especificaciones (variación permitida) por la amplitud de la variación inherente del proceso, se define de la siguiente forma:

$$Cp = \frac{ES - EI}{6\sigma}$$

Para el indicador de la capacidad real del proceso (Cpk), es considerado como un ajuste del indicador de la capacidad potencial del proceso (Cp), para tomar en cuenta el centrado del proceso, se define de la siguiente manera:

$$Cpk = Mínimo\left[\frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma}\right]$$

El indicador del desempeño potencial del proceso (Pp) y el indicador del desempeño real del proceso (Ppk) se centran en evaluar el desempeño del proceso a largo plazo, el cual se calcula con una gran cantidad de datos recopilados durante un periodo de tiempo suficientemente largo considerar la influencia de los factores externos en el desempeño del proceso.

Para determinar el indicador del desempeño potencial del proceso (Pp), se calcula de forma similar al Cp, la única diferencia es que utiliza la desviación estándar de largo plazo (σ_L), mientras que Cp utiliza para su calculo la desviación estándar a corto plazo, la ecuación para determinar el Pp es la siguiente:

$$Pp = \frac{ES - EI}{6\sigma_L}$$

Con respecto al indicador del desempeño real del proceso (Ppk), que se calcula en forma similar al indicador Cpk, pero usando la desviación estándar de largo plazo (σ_L) que se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Ppk = Mínimo\left[\frac{\mu - EI}{3\sigma_L}, \frac{ES - \mu}{3\sigma_L}\right]$$

El nivel Six Sigma o índice Z es la métrica de capacidad del proceso, el cual consiste en calcular la distancia entre las especificaciones y la media del proceso en unidades de la desviación estándar. De esta manera, para un proceso con doble especificación se tiene Z superior (z_s) y Z inferior (z_i) , donde el nivel Six Sigma o índice Z es igual al valor más pequeño, definido por las siguientes ecuaciones:

$$Z_s = \frac{ES - \mu}{\sigma} \quad y \quad Z_i = \frac{\mu - EI}{\sigma} \; donde: Z = mínimo[Z_s, Z_i]$$

Al definirse el conjunto de indicadores para medir la situación actual, el objetivo principal es contrastar la capacidad del proceso previa a cualquier mejora implementada por el equipo Six Sigma; de esta manera, se busca cuantificar el efecto de estas mejoras en los indicadores definidos con anterioridad. Seguidamente se muestra las mediciones realizadas para las variables críticas definidas en el proceso.

4.2.5.1. Medición de la situación actual de las variables "X"

Una vez culminado la implementación del plan de mejora para obtener un sistema de medición aceptable y válido, se establece el valor estándar con sus respectivos límites de trabajo del proceso para las variables "X" (ver Cuadro 19); por lo tanto, se procede a presentar los valores de las mediciones a las variables de entrada con su respectiva variable de salida por el equipo encargado de la toma de datos, siguiendo el programa de muestreo establecido, como se muestra a continuación (ver Cuadro 20):

Tabla 19. **Especificaciones de procesos para las variables "X"**

Variables	Estándar	Límite Superior	Límite Inferior
X_1: Presión neumática de acercamiento de rodillos de acero	4.5 bar	5.0 bar	4.0 bar
X_2: Acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero	0.05 mm	0.08 mm	0.03 mm
X_3: Viscosidad del adhesivo de laminación	60 cps	65 cps	55 cps
X_4: Velocidad del rodillo anilox	50 m/min	68 m/min	40 m/min

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 20. **Valores medidos de las variables "X" con su respectiva variable "Y"**

Valores Y (0=Rollo rechazado / 1=Rollo aceptado)					
Muestra	X1	X2	X3	X4	Y
1	4.45	0.03	63	51	1
2	4.56	0.04	62	59	0
3	4.49	0.07	62	46	1
4	4.05	0.05	54	55	1
5	4.03	0.05	66	39	1
6	4.99	0.06	64	43	1
7	4.74	0.08	54	59	0
8	4.38	0.04	58	47	1
9	4.47	0.05	59	65	0
10	4.46	0.04	66	55	1
11	4.55	0.04	66	56	1
12	4.78	0.06	62	64	0
13	4.31	0.08	57	42	1
14	4.69	0.04	57	52	0
15	4.61	0.08	58	68	0
16	4.11	0.06	62	60	1
17	4.79	0.05	62	40	1
18	4.36	0.06	60	52	0
19	4.29	0.05	58	60	1
20	4.50	0.05	60	62	0
21	4.79	0.07	55	62	0
22	4.40	0.03	67	45	1
23	4.75	0.07	63	54	0
24	4.93	0.06	54	47	0
25	4.86	0.04	56	44	0
26	4.53	0.07	57	40	1
27	4.64	0.03	63	45	0
28	4.94	0.04	61	67	1
29	4.33	0.06	62	51	1
30	4.62	0.04	62	50	0
31	4.24	0.08	60	45	1
32	4.65	0.06	64	54	0
33	4.65	0.05	56	54	1
34	4.49	0.05	66	49	1
35	4.76	0.08	63	47	1
36	4.40	0.06	54	49	1
37	4.84	0.05	59	59	0
38	4.10	0.04	67	63	1
39	4.41	0.06	61	39	1
40	4.15	0.06	58	66	1
41	4.14	0.07	62	50	1
42	4.58	0.06	63	69	0
43	4.16	0.03	66	59	1
44	4.73	0.03	59	63	1
45	4.58	0.06	59	50	0
46	4.75	0.06	56	40	0
47	4.46	0.05	59	52	1
48	4.31	0.05	62	45	1
49	4.56	0.05	65	42	1
50	4.72	0.06	59	52	0

Valores Y (0=Rollo rechazado / 1=Rollo aceptado)					
Muestra	X1	X2	X3	X4	Y
51	4.60	0.03	63	58	0
52	4.70	0.03	64	43	0
53	4.70	0.05	58	62	1
54	4.86	0.07	54	55	0
55	4.56	0.08	54	52	0
56	4.45	0.06	62	50	1
57	4.99	0.07	64	54	0
58	4.81	0.05	56	48	0
59	4.13	0.07	57	46	1
60	4.38	0.07	57	46	1
61	4.62	0.06	57	64	0
62	4.12	0.07	54	55	1
63	4.63	0.05	56	51	0
64	4.10	0.05	59	61	1
65	4.76	0.03	59	55	0
66	4.08	0.06	67	56	1
67	4.86	0.06	61	57	0
68	4.38	0.04	62	49	1
69	4.79	0.04	66	53	0
70	4.40	0.08	61	45	1
71	4.50	0.04	60	43	1
72	4.31	0.05	63	48	1
73	4.10	0.07	67	45	1
74	4.32	0.05	65	65	1
75	4.22	0.05	57	69	1
76	4.86	0.08	62	57	0
77	4.37	0.07	54	43	1
78	4.80	0.04	59	69	0
79	4.48	0.06	65	53	1
80	4.74	0.04	60	56	0
81	4.21	0.06	62	63	1
82	4.49	0.04	54	53	0
83	4.27	0.03	58	44	1
84	4.16	0.06	58	51	1
85	4.47	0.05	61	53	0
86	4.51	0.06	60	57	0
87	4.96	0.07	58	47	1
88	4.83	0.06	55	56	0
89	4.65	0.07	54	41	0
90	4.96	0.05	65	66	0
91	4.25	0.03	60	65	1
92	4.39	0.05	66	39	1
93	4.19	0.07	67	62	1
94	4.65	0.06	55	59	0
95	4.46	0.03	56	46	0
96	4.24	0.07	55	61	1
97	4.78	0.04	59	43	0
98	4.55	0.07	57	50	1
99	4.32	0.03	56	55	1
100	4.68	0.05	62	44	1

Fuente. Elaboración Propia

A continuación, se hace uso del software estadístico Minitab 19, se procede a evaluar los indicadores de Cp, Cpk, Pp, Ppk para cada tipo de variable “X” con el fin de determinar el estado actual del proceso. Para esto, se emplea la herramienta estadística de análisis de capacidad, que proporciona resultados como la prueba de normalidad, los indicadores de capacidades y nivel sigma. Es importante destacar que en esta evaluación se requiere determinar la distribución normal del proceso para establecer si las mediciones de cada variable “X” se ajustan a una distribución normal o no. Para lograrlo, se aplicó el método gráfico de probabilidad normal y además se realizó la prueba de normalidad mediante la estadística de Anderson-Darling. Si la distribución poblacional es normal, los puntos en el gráfico deben aproximarse a una línea recta y el valor de “p” de la prueba de normalidad debe ser superior a 0.05.

Los resultados de las pruebas de normalidad y los indicadores de capacidad se determinan en cada variable “X” (ver Figura 32, 33, 34 y 35). A partir de estos resultados, se concluye que los análisis de normalidad para las variables “X” muestran un comportamiento normal, ya que los valores “p” obtenidos son mayores a 0.05 y la representación gráfica de los datos muestra una línea aproximadamente recta.

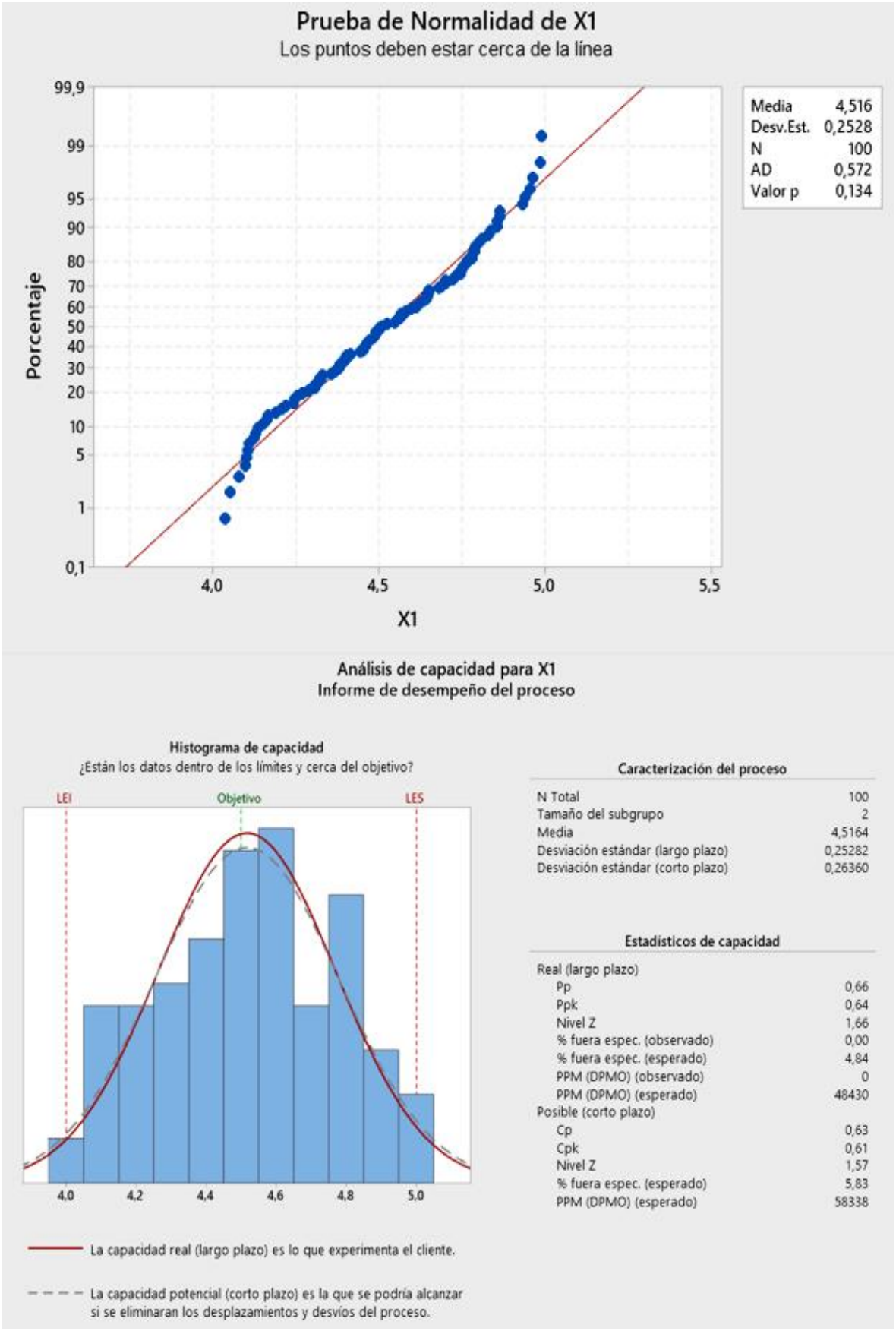


Figura 32. **Análisis estadístico de la situación actual de la variable "X1"**

Fuente. Elaboración Propia

Al realizar la prueba de normalidad correspondiente a la variable X1, se observa una tendencia hacia la alineación de los puntos en una línea recta, lo que indica que los datos presentan una distribución normal adecuada. El valor “p” es de 0.134 superando el nivel de significancia de 0.05 lo cual significa que la distribución es normal.

Por otro lado, en el análisis de la capacidad para la variable X1, se presenta un histograma de los valores obtenidos, donde se observa que no todas las mediciones están dentro de los límites de trabajo aceptable, aunque hay una mayor concentración cerca del objetivo. En cuanto a las características del proceso, se registra un promedio de 4.52 bar y una desviación estándar (corto plazo) de 0.26 bar.

Los indicadores de capacidad señalan que el proceso no está centrado en el objetivo y que hay mediciones que están fuera de los límites de especificación. Los índices de capacidad Cp, Cpk, Pp y Ppk son inferiores a 1, que es un valor mínimo usualmente aceptado para un proceso capaz; por ende, se deduce que la variable X1 no cumple con los requisitos del proceso respecto a la presión neumática de acercamiento de rodillos de acero. En la evaluación estadística, el nivel Z o sigma es de 1.57, lo que indica un porcentaje de los productos fuera de especificación de 5.83%; en partes por millón (PPM) representa un valor de 58 338 productos no conformes por millón de productos fabricados en la línea de producción (ver Figura 32).

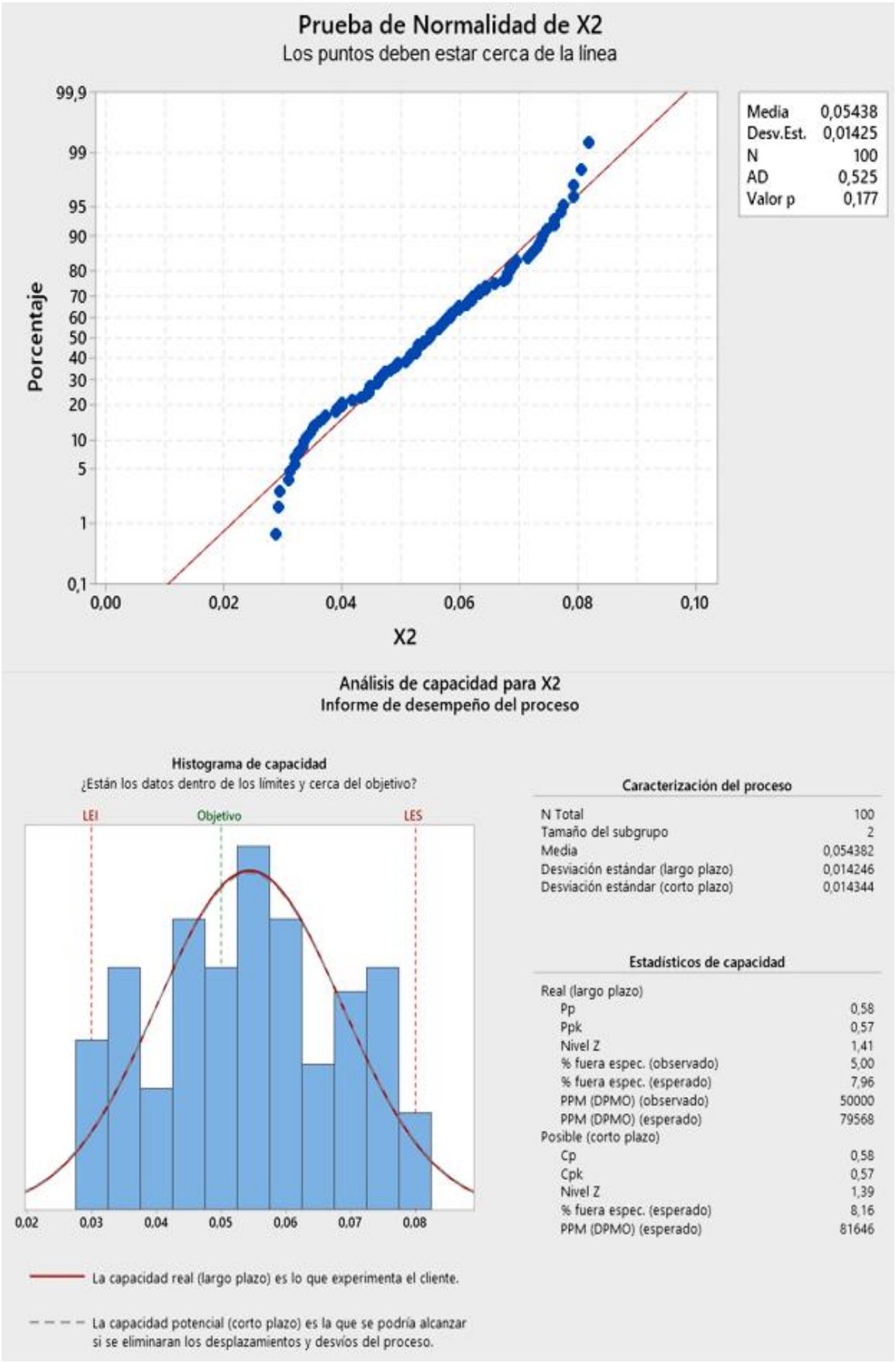


Figura 33. **Análisis estadístico de la situación actual de la variable "X2"**

Fuente. Elaboración Propia

Al realizar la prueba de normalidad correspondiente a la variable X2, se aprecia una tendencia hacia la alineación de los puntos en una línea recta, lo que significa que los datos presentan una distribución normal adecuada. El valor “p” obtenido es de 0.177 superando el nivel de significancia de 0.05 lo cual significa que la distribución es normal.

Por otro lado, en el análisis de la capacidad para la variable X2, se presenta un histograma de los valores obtenidos, donde se observa que no todas las mediciones están dentro de los límites de trabajo aceptable, hay una mayor concentración hacia la izquierda del objetivo. En cuanto a las características del proceso, se registra un promedio de 0.05 mm y una desviación estándar (corto plazo) de 0.01 mm.

Los indicadores de capacidad señalan que el proceso no está centrado en el objetivo y que hay mediciones que están fuera de los límites de especificación. Los índices de capacidad Cp, Cpk, Pp y Ppk son inferiores a 1, que es un valor mínimo usualmente aceptado para un proceso capaz; por ende, se deduce que la variable X2 no cumple con los requisitos del proceso respecto al acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero. En la evaluación estadística, el nivel Z o sigma es de 1.39 lo que indica un porcentaje de los productos fuera de especificación de 8.16%; en partes por millón (PPM) representa un valor de 81 646 productos no conformes por millón de productos fabricados en la línea de producción (ver Figura 33).

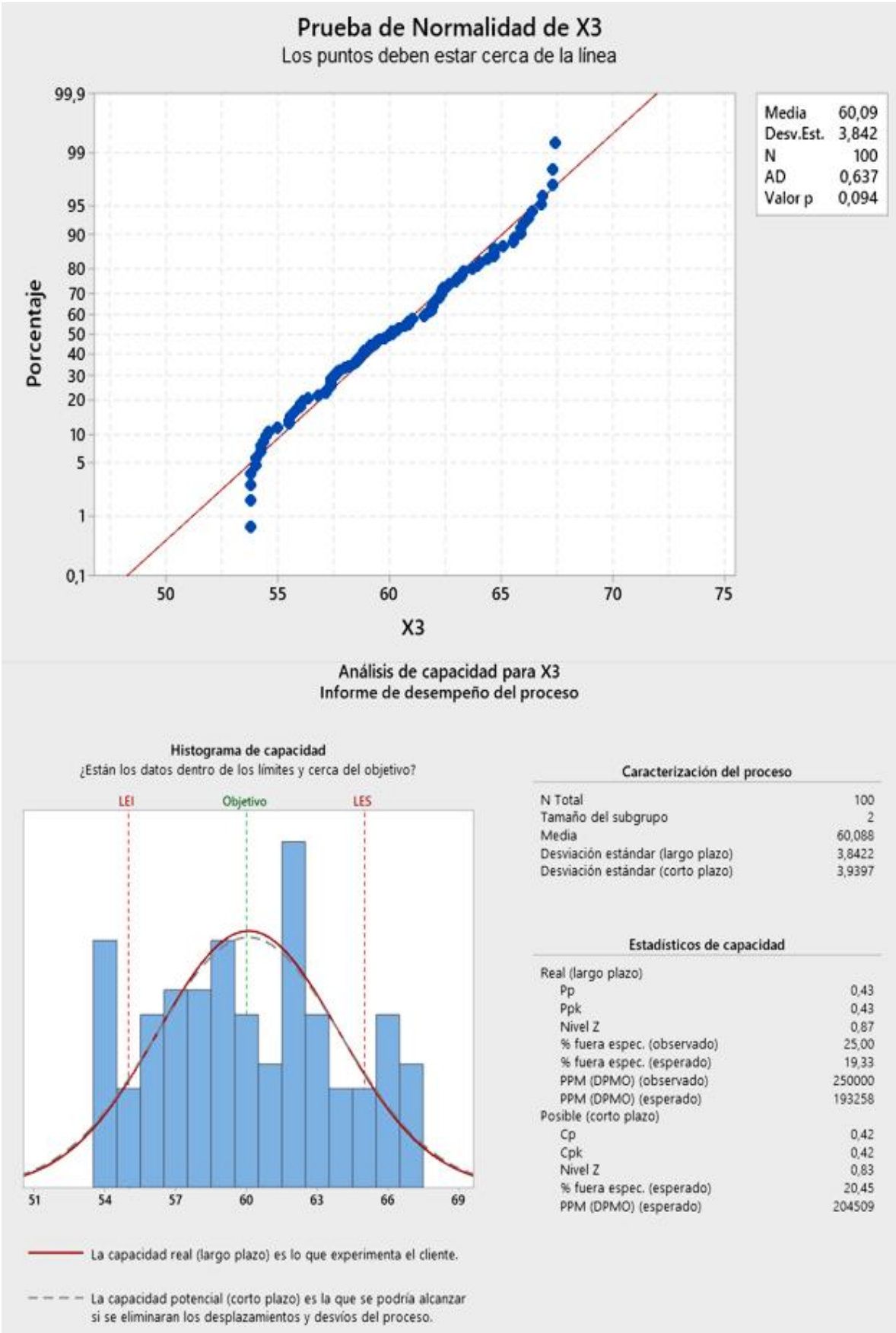


Figura 34. **Análisis estadístico de la situación actual de la variable "X3"**

Fuente. Elaboración Propia

Al realizar la prueba de normalidad para la variable X3, se observa una tendencia hacia la alineación de los puntos en una línea recta, lo que significa que los datos presentan una distribución normal adecuada. El valor “p” obtenido es de 0.094 superando el nivel de significancia de 0.05 lo cual significa que la distribución es normal.

Por otro lado, en el análisis de la capacidad para la variable X3, se presenta un histograma de los valores obtenidos, donde se observa que no todas las mediciones están dentro de los límites de trabajo aceptable, aunque hay una mayor concentración hacia la izquierda del objetivo. En cuanto a las características del proceso, se registra un promedio de 60.09 cps y una desviación estándar (corto plazo) de 3.94 cps.

Los indicadores de capacidad señalan que el proceso no está centrado en el objetivo y que hay mediciones que están fuera de los límites de especificación. Los índices de capacidad Cp, Cpk, Pp y Ppk son inferiores a 1, que es un valor mínimo usualmente aceptado para un proceso capaz; por ende, se deduce que la variable X3 no cumple con los requisitos del proceso en cuanto a la viscosidad del adhesivo de laminación. En la evaluación estadística, el nivel Z o sigma es de 0.83 lo que indica un porcentaje de los productos fuera de especificación de 20.45%; en partes por millón (PPM) representa un valor de 204 509 productos no conformes por millón de productos fabricados en la línea de producción (ver Figura 34).

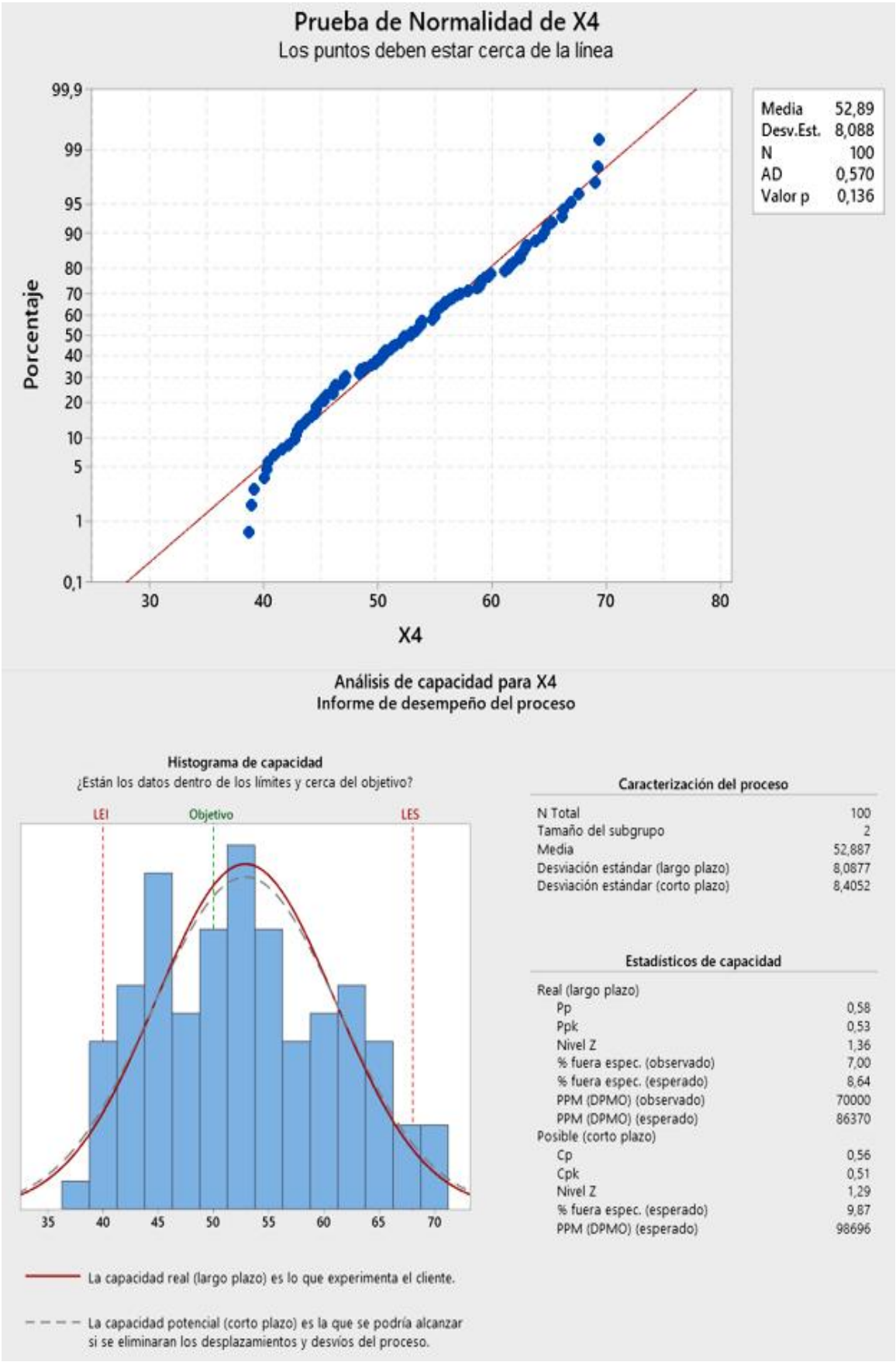


Figura 35. **Análisis estadístico de la situación actual de la variable "X4"**

Fuente. Elaboración Propia

Al realizar la prueba de normalidad correspondiente a la variable X4, se observa una tendencia hacia la alineación de los puntos en una línea recta, lo que indica que los datos presentan una distribución normal adecuada. El valor "p" obtenido es de 0.136 superando el nivel de significancia de 0.05 lo cual significa que la distribución es normal.

Por otro lado, en el análisis de la capacidad para la variable X4, se presenta un histograma de los valores obtenidos, donde se observa que no todas las mediciones están dentro de los límites de trabajo aceptable, aunque hay una mayor concentración hacia la izquierda del objetivo. En cuanto a las características del proceso, se registra un promedio de 52.89 m/min y una desviación estándar (corto plazo) de 8.41 m/min.

Los indicadores de capacidad señalan que el proceso no está centrado en el objetivo y que hay mediciones que están fuera de los límites de especificación. Los índices de capacidad Cp, Cpk, Pp y Ppk son inferiores a 1, que es un valor mínimo usualmente aceptado para un proceso capaz; por ende, se deduce que la variable X4 no cumple con los requisitos del proceso en cuanto a la velocidad del rodillo anilox. En la evaluación estadística, el nivel Z o sigma es de 1.29 lo que indica un porcentaje de los productos fuera de especificación de 9.87%; en partes por millón (PPM) representa un valor de 98 696 productos no conformes por millón de productos fabricados en la línea de producción (ver Figura 35). A continuación, (Cuadro 21) se presenta un resumen de los resultados obtenidos en los indicadores de capacidades y el nivel Six Sigma de cada una de las variables "X", además se detalla el objetivo hacia donde debemos apuntar como el Benchmark de Clase Mundial.

Tabla 21. **Resumen de los resultados de las variables "X"**

Resultados	**Variables**			
Estadísticos de capacidad	**X_1**	**X_2**	**X_3**	**X_4**
Capacidad potencial del proceso (Cp)	0.63	0.58	0.42	0.56
Capacidad real del proceso (Cpk)	0.61	0.57	0.42	0.51
Nivel Sigma (Z)	1.57	1.39	0.83	1.29
% Fuera de especificación (%FE)	5.83	8.16	20.45	9.87
Partes por millón (PPM)	58 338	81 646	204 509	98 696

Fuente. Elaboración Propia

Los indicadores obtenidos nos muestran el estado inicial del proceso. A partir de allí, se concluye que hay mediciones que se encuentran fuera de los límites de especificación, que el proceso no está dentro del objetivo y que las mediciones no están centradas entre los límites de especificación. Además, los índices de capacidad Cp, Cpk son menores a 1, que es un valor mínimo generalmente aceptado para que un proceso cumpla con los requisitos de calidad, así como un nivel sigma por debajo de 2, que indica a su vez un porcentaje fuera de especificación por encima del 5 %.

4.2.5.2. Medición de la situación actual de la variable "Y"

Para medir la situación actual de la variable "Y" del proceso, se ha extraído la información de los informes anuales y mensuales de producción, los cuales están basados en el seguimiento del indicador de productos defectuosos desde el año 2019 hasta el cierre del año 2023. A continuación, se detalla la información:

Tabla 22. **Información histórica de la variable "y"**

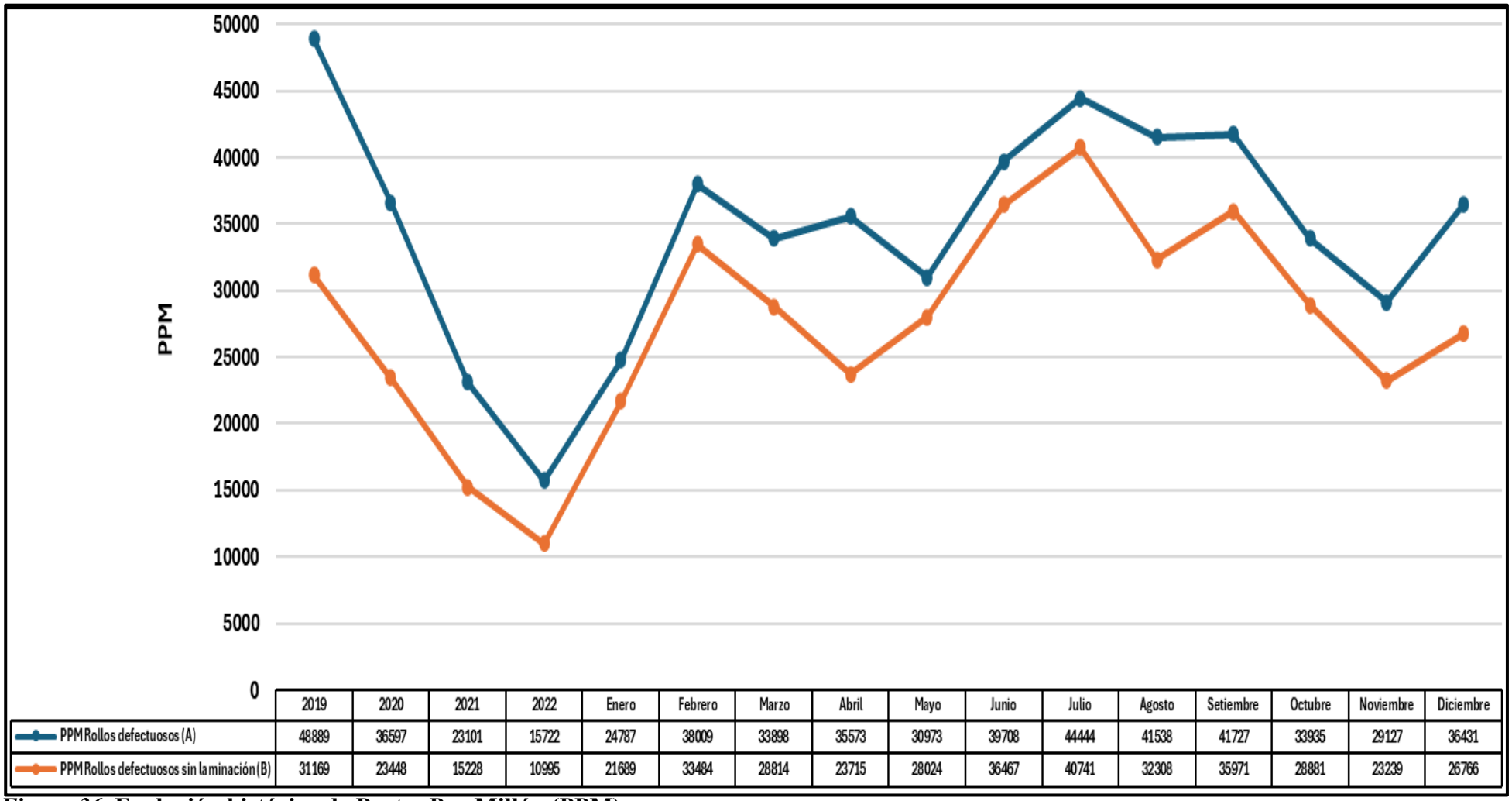
	N° de rollos producidos/mes	N° de rollos defectuosos/mes	N° de rollos defectuosos "sin laminación"/mes
2019	9625000	470552	300000
2020	11125000	407145	260864
2021	12312500	284437	187500
2022	13642708	214489	150000
Enero	16137500	400000	350000
Febrero	13812500	525000	462500
Marzo	14750000	500000	425000
Abril	15812500	562500	375000
Mayo	16950000	525000	475000
Junio	15425000	612500	562500
Julio	16875000	750000	687500
Agosto	16250000	675000	525000
Setiembre	17375000	725000	625000
Octubre	17312500	587500	500000
Noviembre	17750000	517000	412500
Diciembre	16812500	612500	450000

Fuente. Elaboración Propia

Luego se calcula las capacidades actuales del proceso en términos del nivel sigma, representado en partes por millón (PPM), utilizando la siguiente ecuación:

$$PPM = \frac{Unidades\ Defectuosas}{Unidades\ Producidas}\ x\ 1\ 000\ 000$$

Para esta fase y considerando que el enfoque principal se centra en el modo de defecto sin laminación, se muestra la tendencia de PPM en rollos defectuosos y PPM en rollos defectuosos sin laminación durante el año 2018 al 2023.



	2019	2020	2021	2022	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
PPM Rollos defectuosos (A)	48889	36597	23101	15722	24787	38009	33898	35573	30973	39708	44444	41538	41727	33935	29127	36431
PPM Rollos defectuosos sin laminación (B)	31169	23448	15228	10995	21689	33484	28814	23715	28024	36467	40741	32308	35971	28881	23239	26766

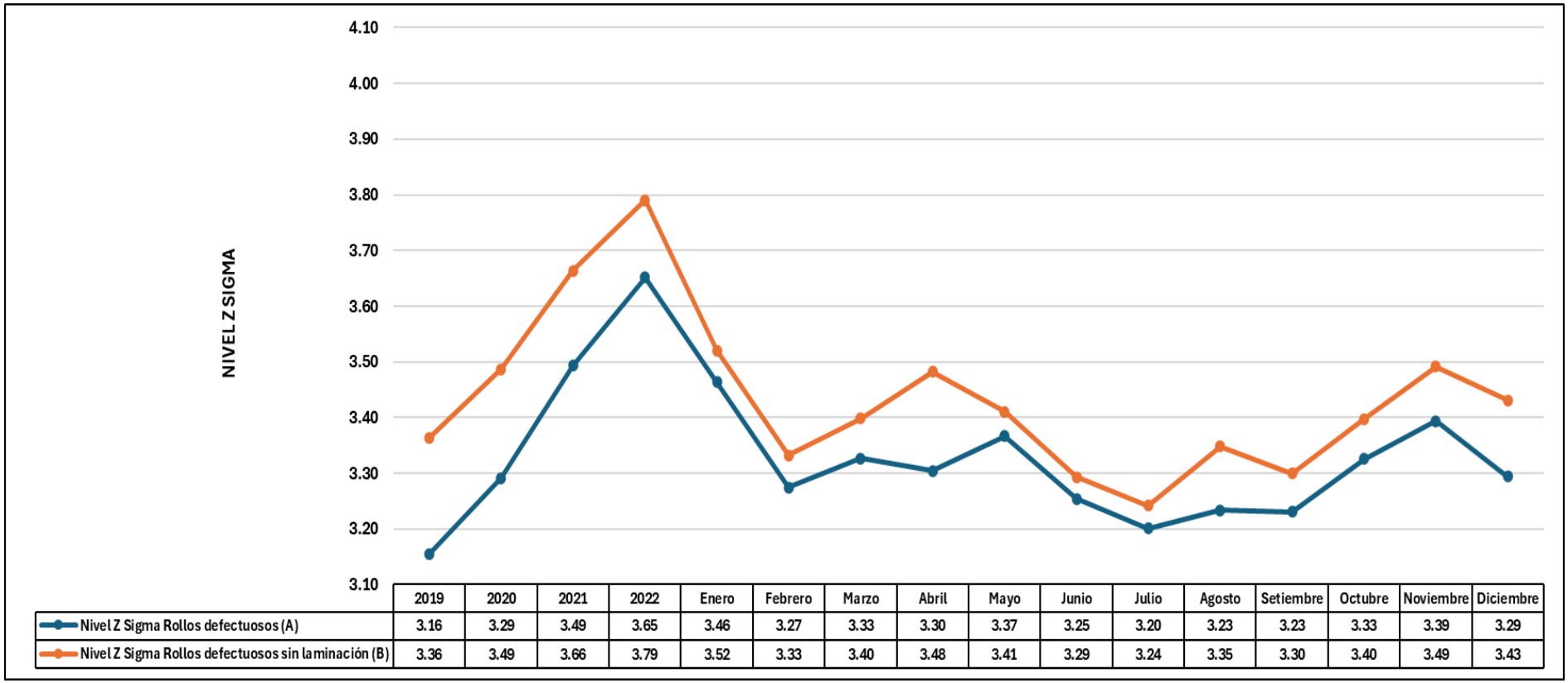
Figura 36. **Evolución histórica de Partes Por Millón (PPM)**
Fuente. Elaboración Propia

A partir de la información (ver Figura 36) en conjunto con la tabla de conversión para determinar el Nivel sigma a partir del PPM (ver Cuadro 23), se muestra la evolución del Nivel Sigma o Índice Z durante el año 2019 a diciembre del año 2023 donde se observa una tendencia decreciente del nivel de calidad de la línea de producción (ver Figura 37).

***Tabla 23*. Tabla de conversión para determinar el Nivel Sigma**

Nivel Sigma	PPM
0	933193
1	697672
2	308770
3	66811
4	6210
5	233
6	3,4

Fuente. Información del Manual Operacional de la Empresa Motorola



	2019	2020	2021	2022	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Nivel Z Sigma Rollos defectuosos (A)	3.16	3.29	3.49	3.65	3.46	3.27	3.33	3.30	3.37	3.25	3.20	3.23	3.23	3.33	3.39	3.29
Nivel Z Sigma Rollos defectuosos sin laminación (B)	3.36	3.49	3.66	3.79	3.52	3.33	3.40	3.48	3.41	3.29	3.24	3.35	3.30	3.40	3.49	3.43

Figura 37. **Evolución histórica del Nivel Sigma o Índice Z**

Fuente. Elaboración Propia

Al concluir con los entregables de esta fase, que incluye la medición de la situación actual del proceso o línea base, pasaremos a la siguiente fase de análisis.

4.3. Fase Analizar

El propósito del equipo en la fase analizar es identificar las deficiencias del proceso y determinar las causas subyacentes de los problemas detectados en el proceso en fases anteriores. El objetivo principal de esta fase es corroborar las causas raíz del problema, para ello se realiza un estudio que utiliza diversas herramientas y enfoques estadísticos. En el capítulo anterior, se realizó las mediciones de las capacidades del proceso y el Nivel Sigma de cada variable “X” e “Y”, lo que indica el estado del rendimiento del proceso en ese momento.

4.3.1. Análisis estadístico de la variable “Y”

El análisis de control para nuestra variable "Y", se basa en un gráfico de atributos que tiene en cuenta el número de rollos defectuosos por el modo de defecto sin laminación en relación con la cantidad total de rollos producidos durante un periodo de tiempo mensual (ver Cuadro 21). Este análisis usa como referencia el principio establecido por Down et al. (2005) donde indica en el Manual de Control Estadístico de Procesos (SPC), que para hacer un seguimiento de la proporción de elementos defectuosos que se genera en el proceso donde cada elemento puede clasificarse en una de dos categorías, como por ejemplo apto o no apto donde se hace uso de la gráfica de atributos “P´ de Laney”, además nos ayuda a detectar y abordar las inestabilidades en un proceso para realizar el monitoreo de la estabilidad del proceso a lo largo del tiempo. Esta gráfica se elabora con el software estadístico Minitab (ver Figura 38).

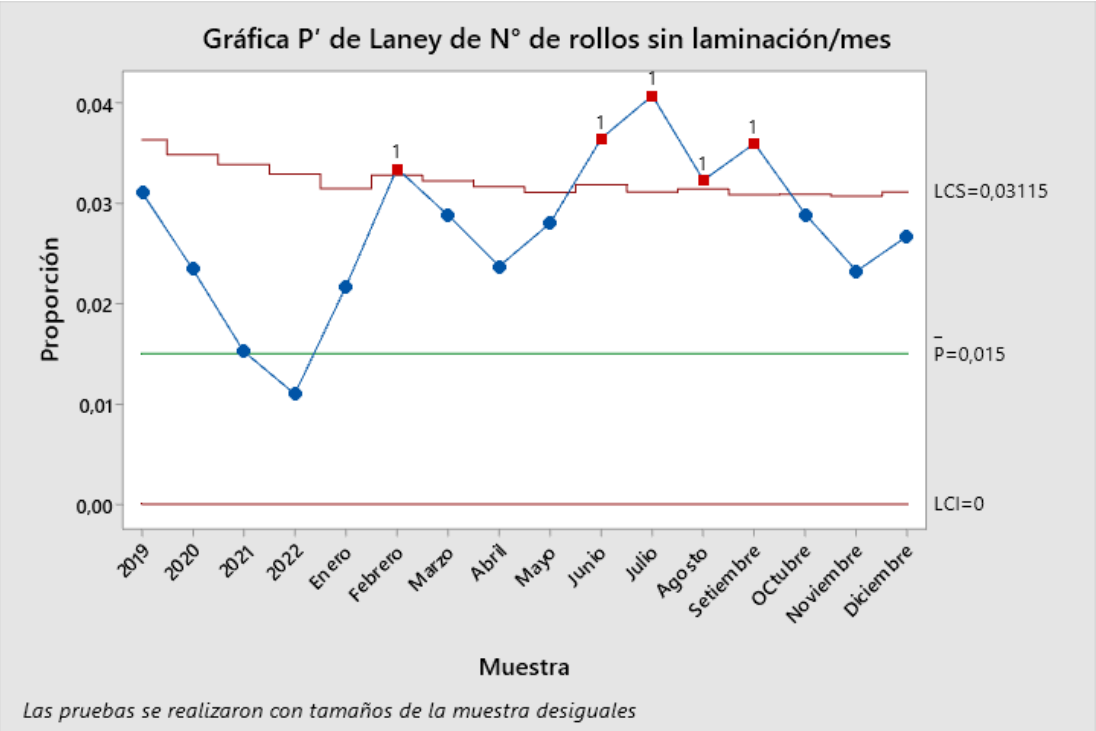


Figura 38. **Gráfico P´ de Laney del modo de defecto sin laminación**

Fuente. Elaboración Propia

La gráfica P´ de Laney muestra el comportamiento del proceso y señala que hay 5 puntos que están fuera del límite superior durante el año 2023. Esto indica la existencia de dos zonas claramente definidas por los límites de control, todos los puntos fuera de los límites indican que el proceso no está bajo control estadístico y que hay causas especiales afectando al proceso. Por lo tanto, es conveniente dividir el análisis en dos partes: de enero a junio del año 2023 y de julio a diciembre del año 2023, ya que ambos comportamientos son inestables. Es importante mencionar que los tamaños de muestra varían para cada punto, lo que genera variaciones adicionales en el sistema.

A partir del análisis (ver Figura 39), se identificaron las causas especiales que llevaron a que los valores de febrero y junio del 2023 estuvieran fuera de los límites de control. Las principales causas fueron por la presión neumática de acercamiento de los rodillos de acero por encima de la especificación con un 55% de incidencias, y un incorrecto acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero con un 25% de incidencias con respecto al total de causas.

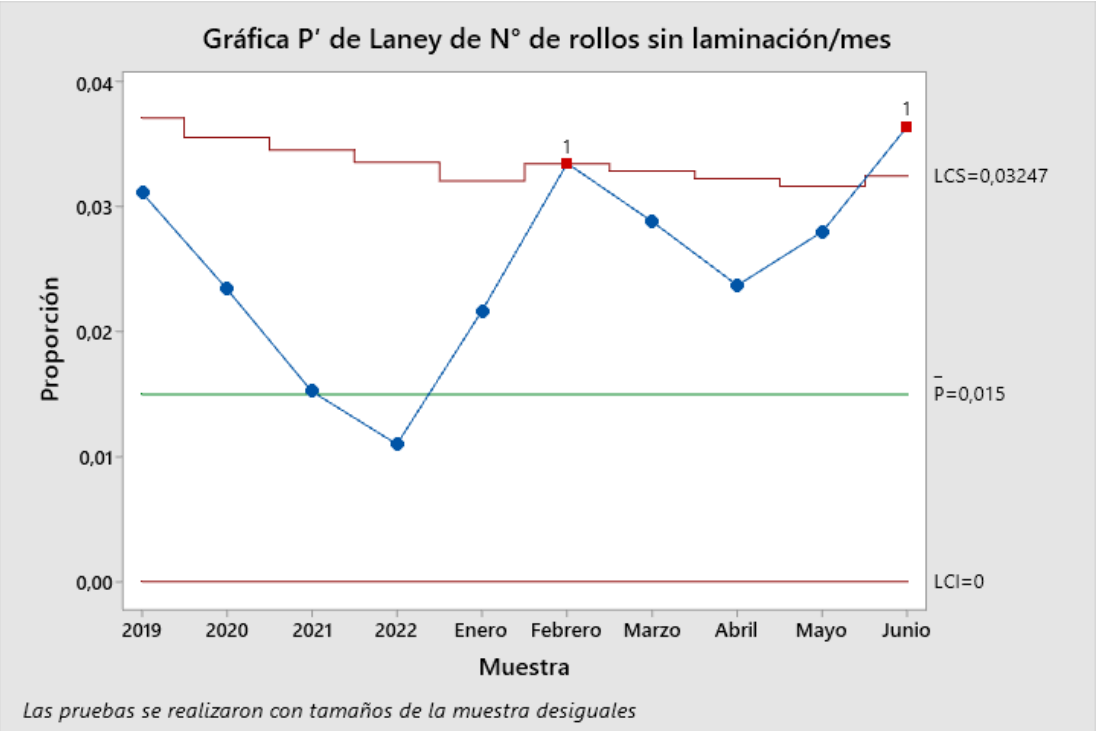


Figura 39. **Gráfico P´ de Laney de Enero a Junio del 2023**

Fuente. Elaboración Propia

De forma similar ocurre en el siguiente análisis (ver Figura 40), donde se examinaron las causas especiales de los meses de julio, agosto y setiembre del año 2023, los cuales estuvieron fuera de los límites de control. Se encontró que las principales causas de estos problemas fueron por la presión neumática de acercamiento de los rodillos de acero por encima de la especificación con un 48% de incidencias, y un incorrecto acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero con un 32% de incidencias con respecto al total de causas identificadas.

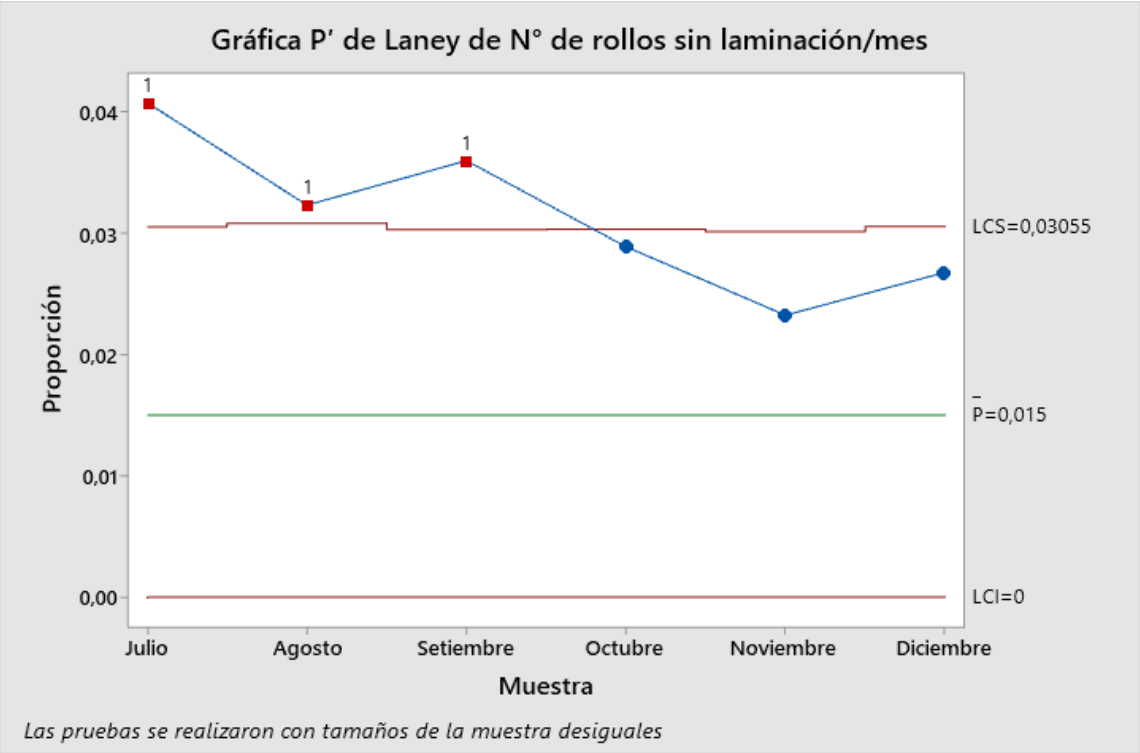


Figura 40. **Gráfico P´ de Laney de Julio a Diciembre del 2023**

Fuente. Elaboración Propia

Es esencial llevar a cabo un estudio para determinar el nivel de significancia de la variación de cada variable "X" con respecto a la variable "Y", con el fin de comprender su influencia en el proceso. Para ello, se empleará el método de Diseño de Experimentos (DOE) de tipo Factorial, que permite visualizar el nivel de significancia de las variables "X" con respecto a las variables "Y" (ver Figura 39 y 40).

Este experimento es realizado por el Black Belt con el apoyo de los Green Belts para garantizar un diseño correcto del proyecto. Se utiliza un diseño factorial que incluye los 4 factores críticos (variables "X") que tienen la mayor influencia en la salida para optimizar el proceso, el objetivo principal es determinar la relación entre estos factores críticos y la respuesta de la variable de salida "Y".

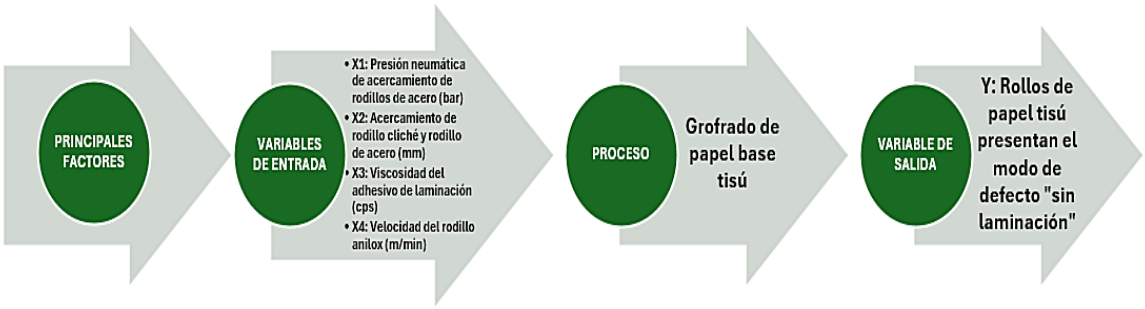


Figura 41. **Principales factores para el DOE de Tipo Factorial**

Fuente. Elaboración Propia

A partir de los datos (ver Cuadro 19), se definieron para ello los niveles de los factores teniendo en cuenta las circunstancias de funcionamiento del proceso actual. Para determinar si existe una diferencia en la respuesta, se tuvo en cuenta la cantidad que cada factor numérico puede crecer o decrecer con respecto a su configuración actual. Esto permitió estimar la mayor influencia de cada factor y las posibles interacciones entre ellos. El efecto principal se define como la diferencia entre la media de la respuesta con el factor ajustado a un nivel bajo y la media de la respuesta con el factor ajustado a un nivel alto. La Matriz de Diseño Factorial para cuatro factores (ver Cuadro 24), contiene las variables que deben tenerse en cuenta para el experimento.

Tabla 24. Matriz de Diseño Factorial para 4 factores

N° prueba	x_1	x_2	x_3	x_4	$x_1.x_2$	$x_1.x_3$	$x_1.x_4$	$x_2.x_3$	$x_2.x_4$	$x_3.x_4$	$x_1.x_2.x_3$	$x_2.x_3.x_4$	$x_1.x_3.x_4$	$x_1.x_2.x_4$	$x_1.x_2.x_3.x_4$
1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
4	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1
5	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
6	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1
7	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
8	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
9	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1
10	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1
11	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1
12	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1
13	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1
14	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1
15	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1
16	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	1	-1

Fuente. Elaboración Propia

Como se observa, se llevaron a cabo un total de 16 pruebas, correspondientes al número de factores y los resultados se evaluaron según el grado de apariencia de los rollos de papel tisú especificado en el Manual de Atributos del Área de Aseguramiento de la Calidad (ver Cuadro 25).

Tabla 25. **Grado de apariencia de los rollos de papel tisú**

Grado de apariencia	Calificación
Muy buen estado	1
Buen estado	2
Requiere separar y evaluar	3
Defectuoso	4

Fuente. Elaboración Propia

Se presentan los resultados de la calidad de los rollos de papel tisú obtenidos al realizar la interacción de cada factor (ver Cuadro 26), utilizando la herramienta de Diseño de Experimentos Factorial proporcionada por el programa Minitab.

Tabla 26. **Resultados de las pruebas**

N° de prueba	X1	X2	X3	X4	Resultado
1	5	0.03	55	40	1
2	4	0.03	55	40	1
3	5	0.08	55	40	1
4	4	0.08	55	40	1
5	5	0.03	65	40	1
6	4	0.03	65	40	2
7	5	0.08	65	40	1
8	4	0.08	65	40	2
9	5	0.03	55	68	2
10	4	0.03	55	68	3
11	5	0.08	55	68	2
12	4	0.08	55	68	3
13	5	0.03	65	68	2
14	4	0.03	65	68	3
15	5	0.08	65	68	3
16	4	0.08	65	68	4

Fuente. Elaboración Propia

La gráfica de probabilidad normal de los efectos se utiliza para determinar la magnitud, dirección e importancia de los efectos. En la gráfica (ver Figura 42), los efectos que se alejan más de 0 son considerados estadísticamente significativos, los puntos que representan los efectos significativos tienen un color rojo con forma cuadrada y los puntos con efectos insignificantes son de color azul con forma redonda. Los efectos principales de los factores X1, X3 y X4 son estadísticamente significativos debido a que su valor p es menor o igual a 0.05 mostrando colores y formas diferentes a los efectos insignificantes.

Además, en el gráfico se muestra la dirección del efecto. Los factores X1, X3 y X4 tienen un efecto estandarizado positivo, lo que implica que una transición del proceso desde el nivel bajo hacia el nivel alto del factor conlleva un incremento en la respuesta o resultado. A continuación, se expone el nivel de significancia correspondiente a las variables denominadas “X”.

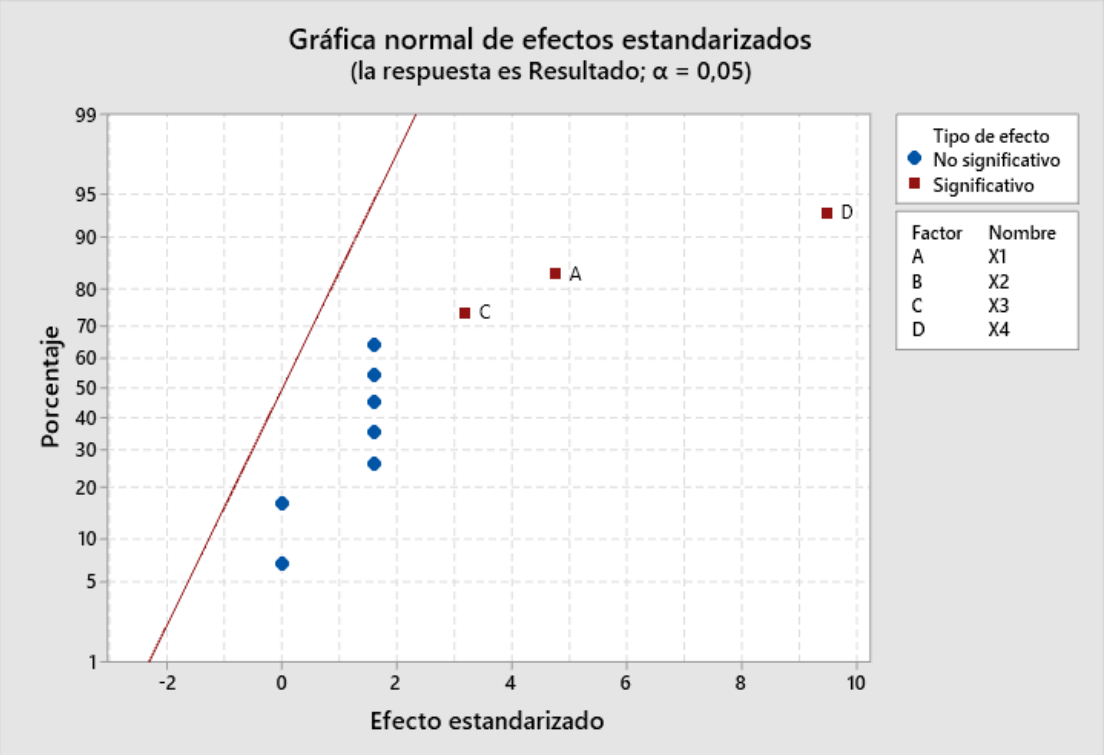


Figura 42. **Gráfico Normal de Efectos Estandarizados**

Fuente. Elaboración Propia

El diagrama de Pareto se emplea para evaluar la magnitud y relevancia de los efectos, las barras que representan los factores X1, X3 y X4 superan la línea de referencia establecida en 2.57 son considerados estadísticamente significativas; en cambio el factor X2 es considerado no significativo estadísticamente (ver Figura 43).

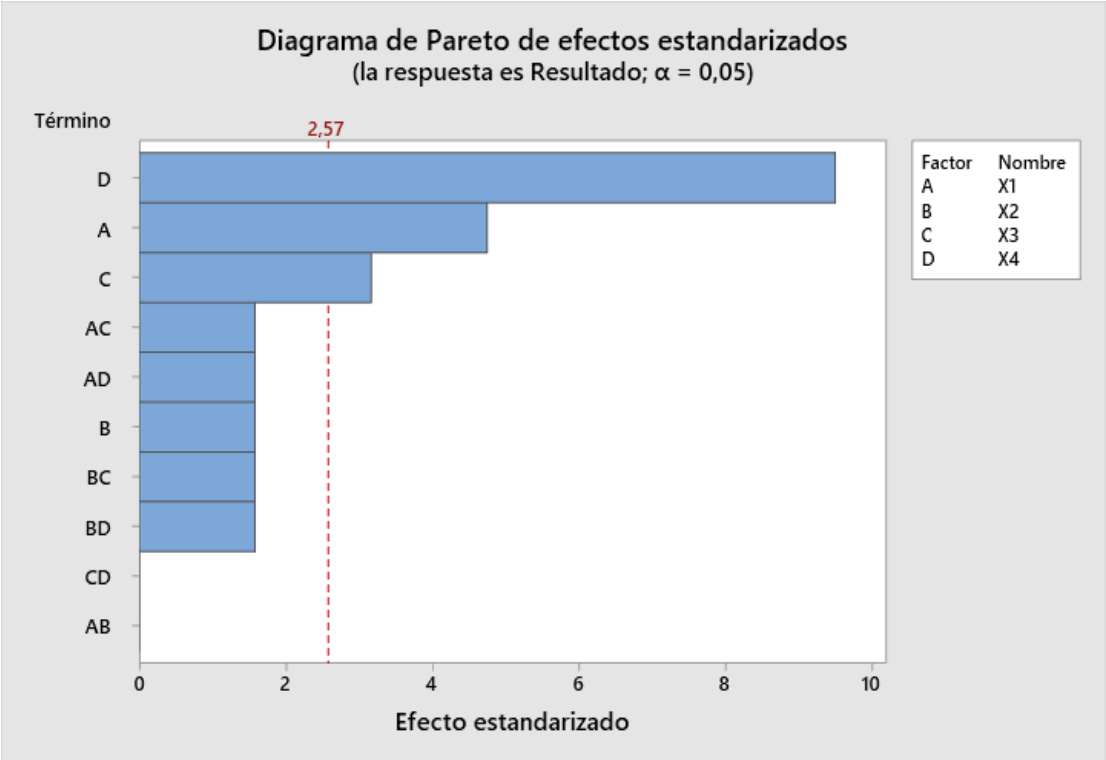


Figura 43. **Diagrama de Pareto de Efectos**

Fuente. Elaboración Propia

La gráfica de interacción representa la media ajustada de la variable de salida Y en relación con las combinaciones de los factores X1, X3 y X4 (ver Figura 44). Este gráfico ilustra los efectos aparentes de las interacciones, dado que no todas las líneas se encuentran paralelas, lo que señala que la relación entre el resultado y cada factor está condicionada por la configuración de otro factor. De acuerdo con los hallazgos del Análisis de Diseño Factorial, lo más resaltantes son los efectos de interacción de X1*X4 y X3*X4 son estadísticamente significativos.

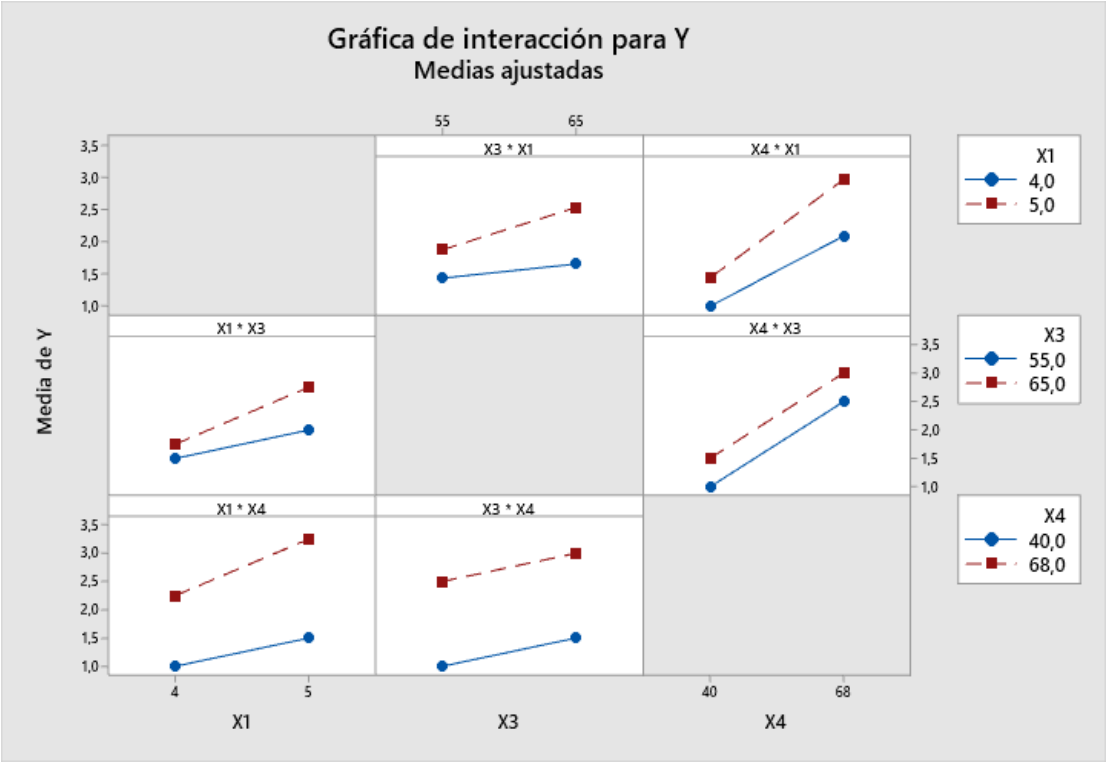


Figura 44. **Gráfica de Interacción para Y**

Fuente. Elaboración Propia

La gráfica de efectos principales muestra las medias ajustadas para cada nivel de cada factor estadísticamente significativo, dado que las líneas no son horizontales se pueden observar efectos principales para cada una de las variables (ver Figura 45). Los resultados del Análisis de Diseño Factorial confirman que los efectos principales son estadísticamente significativos; sin embargo, debido a que también son significativos los efectos de interacción, se acompaña con el gráfico y análisis anterior (ver Figura 44).

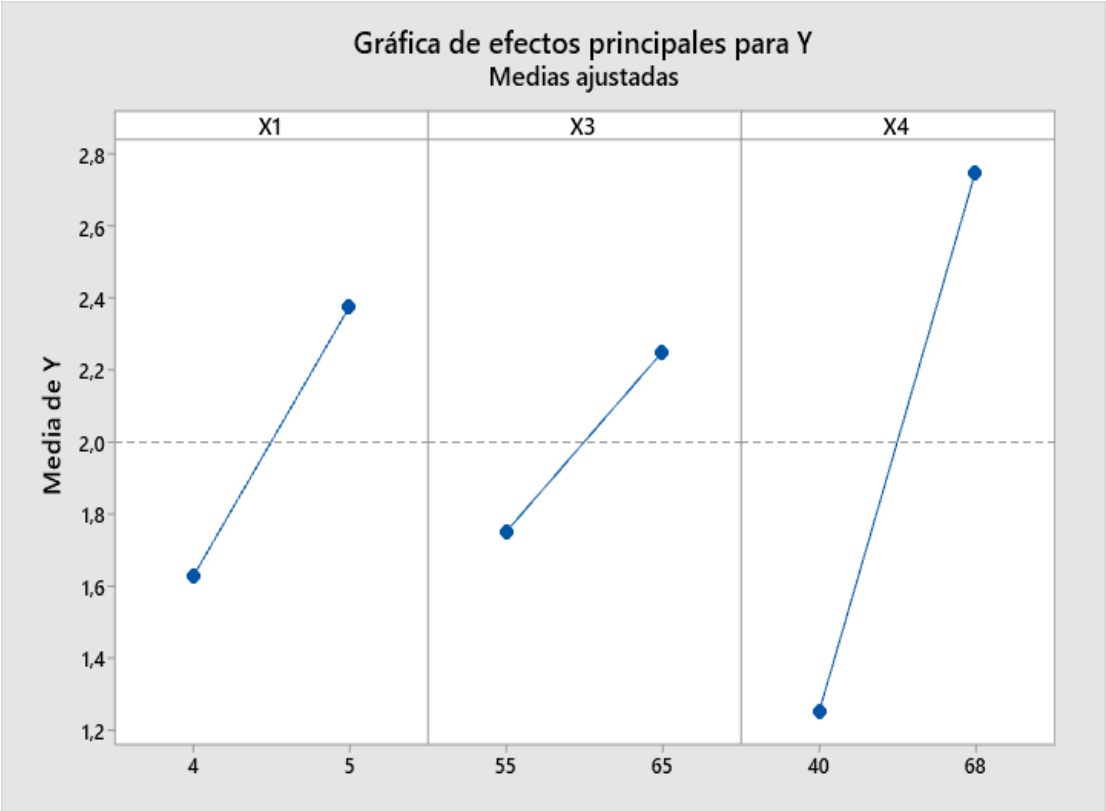


Figura 45. **Gráfico de Efectos Principales para Y**

Fuente. Elaboración Propia

Luego de haber ejecutado el DOE de tipo factorial y determinar que las variables X1, X3 y X4 son significativas, mientras que la variable X2 no lo es, se realizó la prueba de hipótesis para respaldar la herramienta anterior, donde se empleó la herramienta Análisis de Varianza (ANOVA) para examinar el impacto de los factores X1, X2, X3 y X4 sobre la variable de respuesta Y. Los resultados indicaron que los factores X1 ($p = 0.002$), X3 ($p = 0.020$) y X4 ($p = 0.000$) tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la respuesta, ya que sus p-valores son menores al nivel de significancia de 0.05. En contraste, el factor X2 ($p = 0.203$) no mostró un efecto significativo (ver Figura 46). Además, el modelo presenta un buen ajuste general, respaldando que las variaciones en la respuesta se explican principalmente por los factores considerados. Estos resultados permiten identificar qué variables deben ser priorizadas para mejorar el desempeño del proceso analizado.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
X1	1	2.2500	2.2500	16.50	0.002
X2	1	0.2500	0.2500	1.83	0.203
X3	1	1.0000	1.0000	7.33	0.020
X4	1	9.0000	9.0000	66.00	0.000
Error	11	1.5000	0.1364		
Total	15	14.0000			

Figura 46. **Análisis de Varianza (ANOVA)**

Fuente. Elaboración Propia

4.3.2. Análisis estadístico de las variables "X"

Se llevó a cabo el análisis de las capacidades referentes a las variables "X", donde se empleó las herramientas estadísticas proporcionadas por Minitab, las cuales ofrecen un diagnóstico del proceso a través de la presentación de gráficas individuales y rangos móviles; estos recursos visuales se describen en las siguientes figuras. Es importante mencionar que todas las mediciones que se realizaron han sido previamente validadas en el capítulo anterior de la investigación; ahora, se llevará a cabo una evaluación exhaustiva de los resultados obtenidos con el fin de identificar las causas principales del problema.

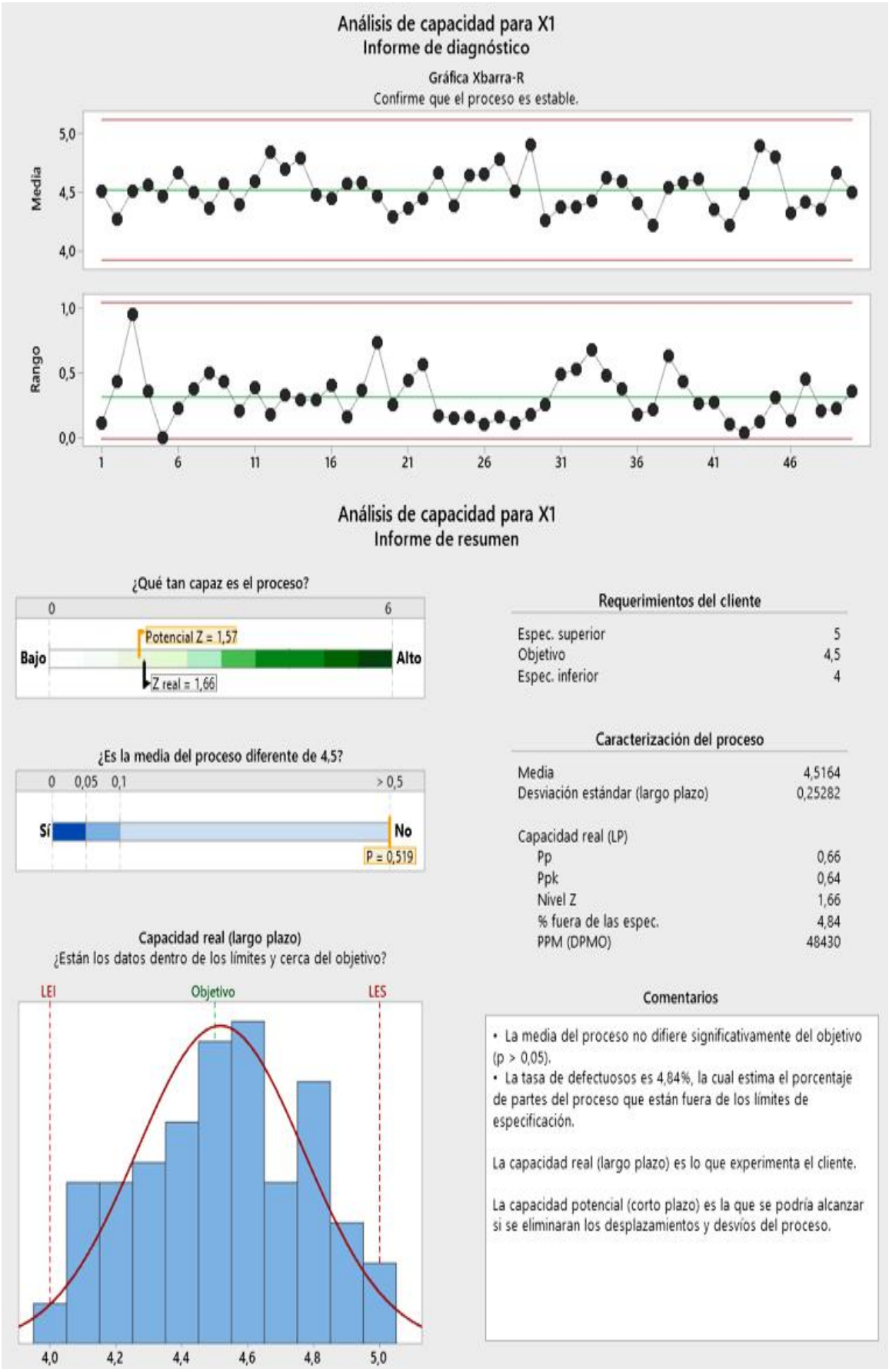


Figura 47. **Análisis de capacidad para la variable X1**
Fuente. Elaboración Propia

Antes de realizar el Análisis de la Capacidad del Proceso, se debe comprobar dos puntos importantes, primero que las gráficas de control no deben presentar errores y debe ser estable, se observa que para la variable X1 cumple con dicho requisito y por último el Análisis del Sistema de Medición (R&R) debe ser menor al 10% con un valor de 7.1% (ver Figura 28). Luego se procede a realizar el Análisis de la Capacidad del Proceso para la variable X1, el cual nos da un Nivel Sigma de Z=1.66 lo que significa que presenta un valor bajo con respecto a la capacidad del proceso, la media del proceso no difiere significativamente del objetivo (estándar) debido a que el valor p=0.519 el cual es mayor a 0.05. La tasa de defectuosidad es 4.84% lo cual estima un PPM de 48 430 rollos defectuosos que se encontrarán fuera de los parámetros de calidad.

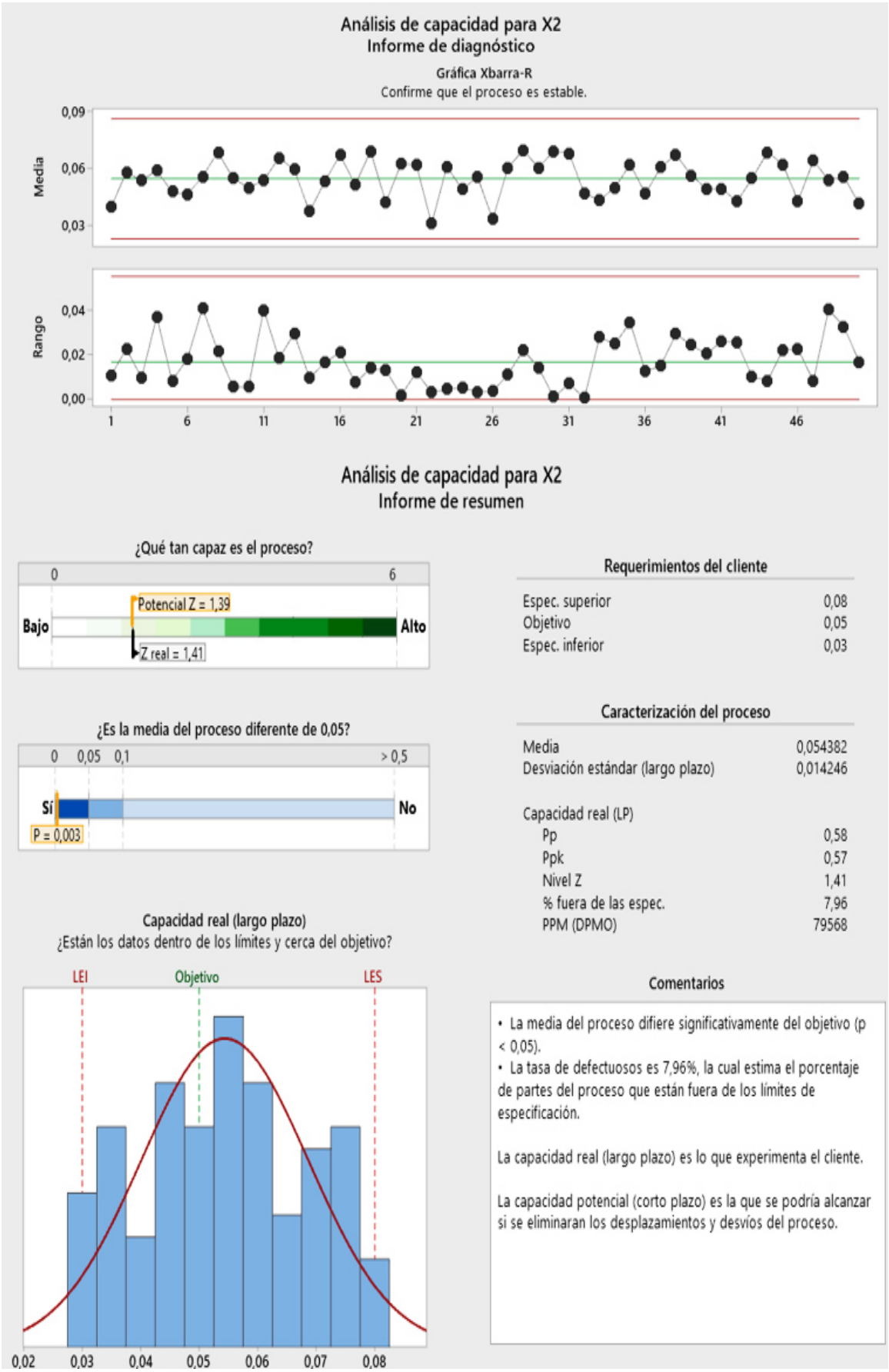


Figura 48. **Análisis de capacidad para la variable X2**
Fuente. Elaboración Propia

Antes de realizar el Análisis de la Capacidad del Proceso para la variable X2, se comprueba los dos puntos importantes, primero que las gráficas de control no deben presentar errores y debe ser estable, se observa que para la variable X2 cumple con dicho requisito y por último el Análisis del Sistema de Medición (R&R) debe ser menor al 10% con un valor de 9,2% (ver Figura 29). Luego se procede a realizar el Análisis de la Capacidad del Proceso, el cual nos da un Nivel Sigma de Z=1.41 lo que significa que presenta un valor bajo con respecto a la capacidad del proceso, la media del proceso difiere significativamente del objetivo (estándar) debido a que el valor p=0.003 el cual es menor a 0.05. La tasa de defectuosidad es 7.96% lo cual estima un PPM de 79 568 rollos defectuosos que se encontrarán fuera de los parámetros de calidad.

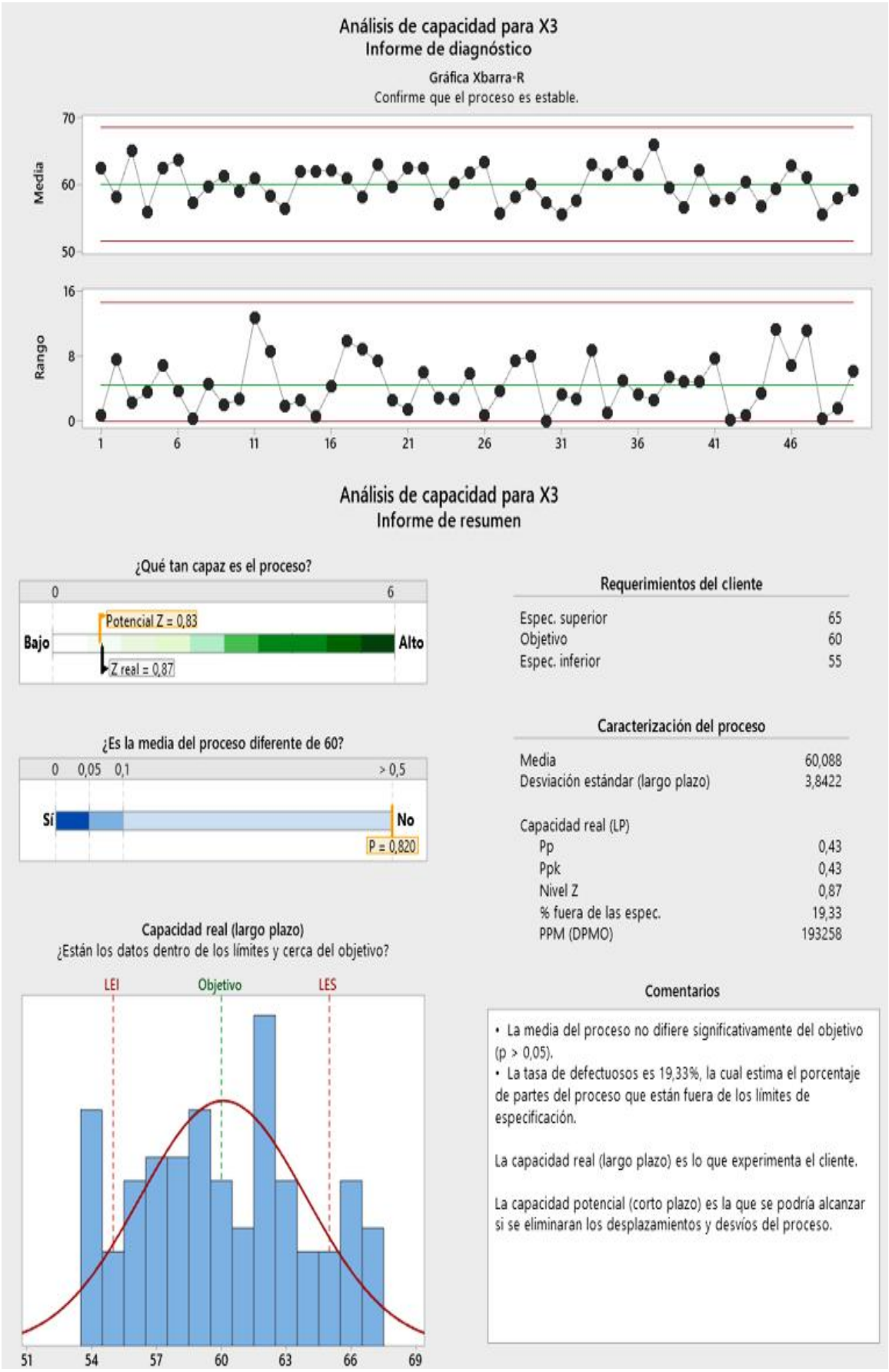


Figura 49. **Análisis de capacidad para la variable X3**
Fuente. Elaboración Propia

Antes de realizar el Análisis de la Capacidad del Proceso para la variable X3, se comprueba los dos puntos importantes, primero que las gráficas de control no deben presentar errores y debe ser estable, se observa que para la variable X3 cumple con dicho requisito y por último el Análisis del Sistema de Medición (R&R) debe ser menor al 10% con un valor de 8.5% (ver Figura 30). Luego se procede a realizar el Análisis de la Capacidad del Proceso, el cual nos da un Nivel Sigma de Z=0.87 lo que significa que presenta un valor bajo con respecto a la capacidad del proceso, la media del proceso no difiere significativamente del objetivo (estándar) debido a que el valor p=0.82 el cual es mayor a 0.05. La tasa de defectuosidad es 19.33% lo cual estima un PPM de 193 258 rollos defectuosos que se encontrarán fuera de los parámetros de calidad.

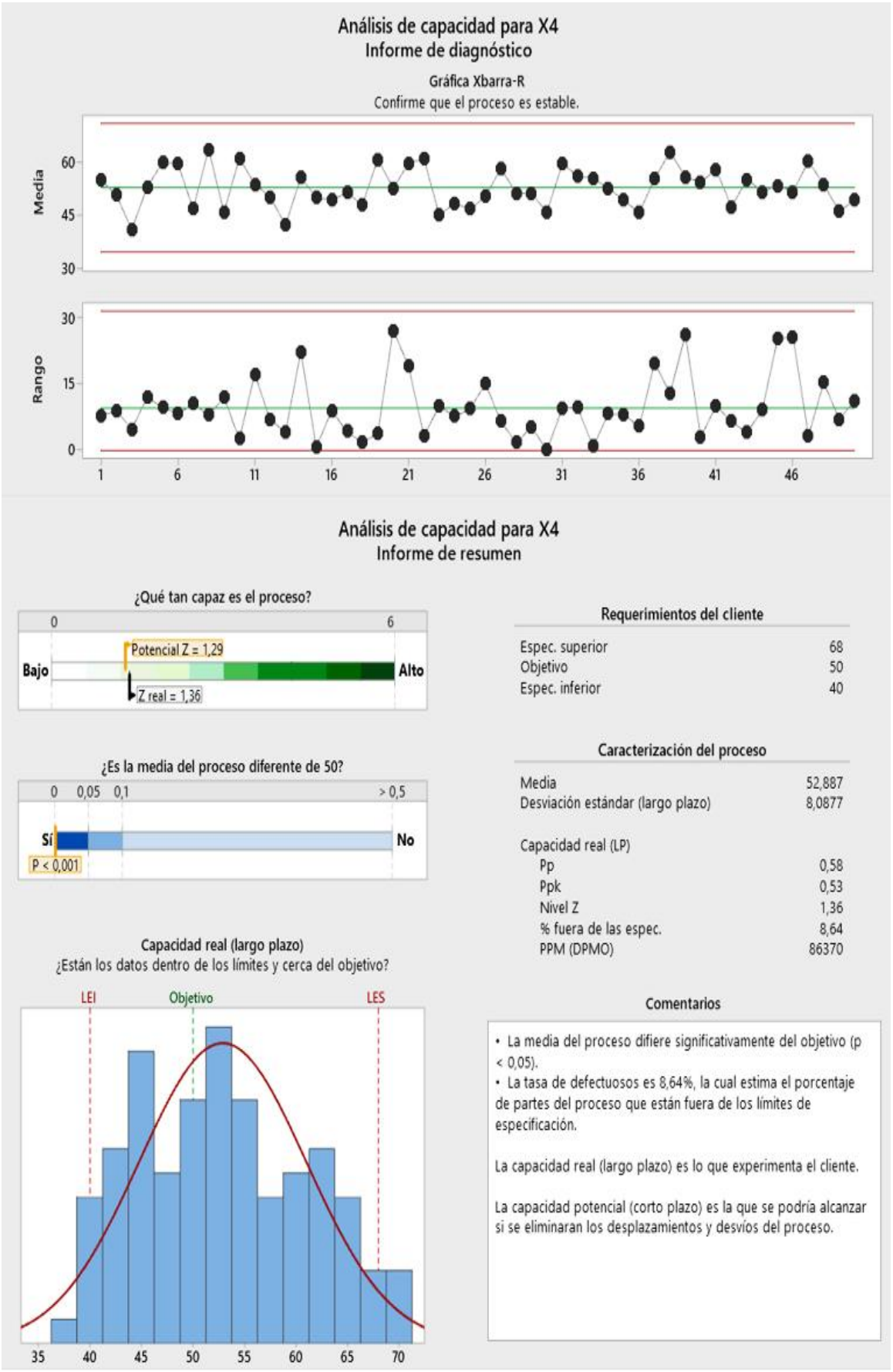


Figura 50. **Análisis de capacidad para la variable X4**
Fuente. Elaboración Propia

Antes de realizar el Análisis de la Capacidad del Proceso para la variable X4, se comprueba los dos puntos importantes, primero que las gráficas de control no deben presentar errores y debe ser estable, se observa que para la variable X4 cumple con dicho requisito y por último el Análisis del Sistema de Medición (R&R) debe ser menor al 10% con un valor de 8,8% (ver Figura 31). Luego se procede a realizar el Análisis de la Capacidad del Proceso, el cual nos da un Nivel Sigma de Z=1.36 lo que significa que presenta un valor bajo con respecto a la capacidad del proceso, la media del proceso difiere significativamente del objetivo (estándar) debido a que el valor p=0.001 el cual es menor a 0.05. La tasa de defectuosidad es 8.64% lo cual estima un PPM de 86 370 rollos defectuosos que se encontrarán fuera de los parámetros de calidad.

4.3.3. Prueba de hipótesis para definir los factores que afectan el problema

Es un paso crucial en la determinación de los factores subyacentes que afectan el rendimiento de un proceso, el análisis estadístico de las variables continuas “X” emplean metodologías estadísticas, incluyendo la regresión logística o lineal, análisis de varianza (ANOVA), correlación y pruebas de significación, evalúa el alcance del efecto que cada variable X tiene sobre la variable de salida Y. Se realizó la prueba de hipótesis para definir los factores que afectan el problema utilizando los datos de la fase medir (ver Cuadro 20), haciendo uso de la herramienta estadística Regresión Logística binaria, a continuación, se muestran los resultados:

Información de respuesta

Variable	Valor	Conteo
Y	1	57 (Evento)
	0	43
	Total	100

Ecuación de regresión

P(1) = exp(Y')/(1 + exp(Y'))

Y' = 45.1 - 13.89 X1 + 66.1 X2 + 0.392 X3 - 0.1647 X4

Coeficientes

Término	Coef	EE del coef.	FIV
Constante	45.1	17.8	
X1	-13.89	4.01	1.87
X2	66.1	41.0	1.45
X3	0.392	0.184	1.25
X4	-0.1647	0.0749	1.33

Resumen del modelo

R-cuad. de desviación	R-cuad. (ajust) de desviación	AIC	AICc	BIC
83.64%	80.72%	32.36	32.99	45.38

Pruebas de bondad del ajuste

Prueba	GL	Chi-cuadrada	Valor p
Desviación	95	22.36	1.000
Pearson	95	53.14	1.000
Hosmer-Lemeshow	8	0.68	1.000

Análisis de Varianza

		Prueba de Wald	
Fuente	GL	Chi-cuadrada	Valor p
Regresión	4	12.96	0.011
X1	1	11.98	0.001
X2	1	2.59	0.107
X3	1	4.55	0.033
X4	1	4.83	0.028

Figura 51. **Regresión Logística Binaria**

Fuente. Elaboración Propia

Se realizó un análisis de regresión logística binaria para modelar la probabilidad de aceptación del producto (Y = 1) en función de cuatro variables continuas (X1, X2, X3 y X4). El modelo presentó un buen ajuste, con un R-cuadrado de desviación del 83.64% y un R-cuadrado ajustado del 80.72%, indicando una alta capacidad explicativa. Las pruebas de bondad del ajuste (desviación, Pearson y Hosmer-Lemeshow) no evidenciaron problemas de ajuste (valor p = 1.000 en todas), lo que sugiere que el modelo representa adecuadamente los datos observados. En el análisis de significancia individual, las variables X1 (p = 0.001), X3 (p = 0.033) y X4 (p = 0.028) resultaron estadísticamente significativas debido a que el valor $p < 0.05$, mientras que X2 no mostró efecto significativo (p = 0.107). La ecuación del modelo muestra que un incremento en X1 reduce la probabilidad de aceptación, mientras que aumentos en X3 y X2 tienden a incrementarla, mientras el coeficiente negativo de X4 indica una relación inversa con la aceptación del producto. Estos resultados permiten identificar las variables críticas que afectan significativamente la calidad del producto, contribuyendo a la toma de decisiones orientadas a la mejora del proceso; por lo tanto, la variable X1, X3 y X4 tienen un efecto directo en el proceso, en cambio X2 no lo tiene.

4.3.4. Identificación de las causas raíz

Se realiza un análisis de las causas raíz utilizando la herramienta los 5 Porqués, que se ha elaborado considerando el grado de determinación y el análisis exhaustivo de las variables "X" e "Y". Esta técnica basada en matrices facilita la identificación de posibles causas que podrían estar contribuyendo al problema detectado en el proceso de producción, dando como resultado que las principales causas que influyen en la variación del proceso para la variable "Y" (ver Cuadro 27) se deben a:

a) No han actualizado el instructivo de ajuste de presión neumática de acercamiento de los rodillos de acero.
b) No existe instructivo de regulación de acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero.
c) No se ha establecido una frecuencia de análisis del sistema de medición de los viscosímetros.
d) No se cuenta con un sistema de control automático de la velocidad del rodillo anilox.

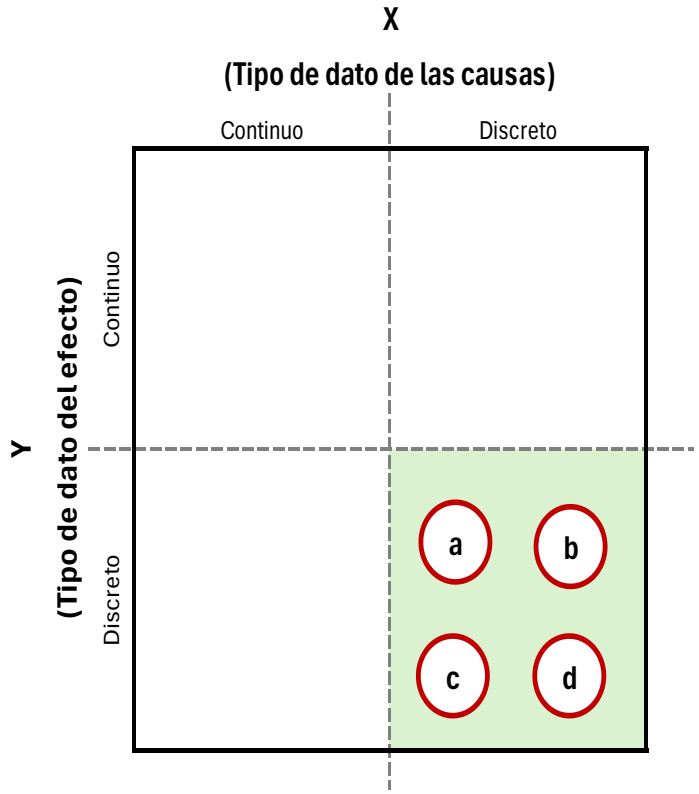
Tabla 27. **Análisis de causa raíz empleando la Herramienta 5 Porqués**

ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ (HERRAMIENTA 5 PORQUÉS)						
Variables "X"		**Leyenda:** V → Hipótesis Verdadera, ir a siguiente ronda F → Hipótesis Falsa, detener análisis (pintar de amarillo la opción verificada)				
		1er Por qué	**2do Por qué**	**3er Por qué**	**4to Por qué**	**5to Por qué**
X1. Presión neumática de acercamiento de rodillos de acero (bar)	**Pregunta**	¿Por qué la presión neumática de acercamiento de los rodillos de acero es baja?	¿Por qué el operador no reguló la presión?	¿Por qué el operador no conoce cuál es el rango de trabajo?	¿Por qué no está definido?	
	Respuesta	Porque el operador no reguló la presión **V** F	Porque no conoce cuál es el rango de trabajo **V** F	Porque no está defiinido **V** F	Porque no han actualizado el instructivo de ajuste de presión neumática de acercamiento de los rodillos de acero V **F**	V F
X2. Acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero (mm)	**Pregunta**	¿Por qué el acermiento del rodillo cliché y rodillo de acero están muy alejados?	¿Por qué el operdor no reguló correctamente la distancia?	¿Por qué el operador no conoce la forma correcta de regulación?	¿Por qué no ha sido capacido?	
	Respuesta	Porque el operador no reguló correctamente la distancia **V** F	Porque el operador no conoce la forma correcta de regulación **V** F	Porque no ha sido capacitado **V** F	Porque no existe un instructivo de regulación de acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero V **F**	V F
X3. Viscosidad del adhesivo de laminación (cps)	**Pregunta**	¿Por qué los valores de viscosidad del adhesivo de laminación son muy variables?	¿Por qué el viscosimetro no se encontraba en buen estado ni calibrado?	¿Por qué se cuenta con varios viscosimetros en varios puntos de la planta?	¿Por qué se requiere realizar mediciones cada hora?	¿Por qué no se realiza un análisis de medición de los equipos?
	Respuesta	Porque el viscosimetro no se encontraba en buen estado ni calibrado **V** F	Porque se cuenta con varios viscosimetros en varios puntos de la planta **V** F	Porque se requiere realizar mediciones cada hora **V** F	Porque no se realiza un análisis de medición de los equipos V **F**	Porque no se ha establecido una frecuencia de análisis del sistema de medición de los viscosímetros V **F**
X4. Velocidad del rodillo anilox (m/min)	**Pregunta**	¿Por qué la velocidad tiende a bajar en el rodillo anilox?	¿Por qué se desgasta al tener contacto con los dos raspadores?	¿Por qué tiene que limpiar el exceso de adhesivo?	¿Por qué el flujo del adhesivo se realiza por un tanque elevado?	
	Respuesta	Porque se desgasta al tener contacto con los dos raspadores **V** F	Porque tiene que limpiar el exceso de adhesivo **V** F	Porque el flujo del adhesivo se realiza por un tanque elevado **V** F	Porque no se cuenta con un sistema de control automático de la velocidad del rodillo anilox V **F**	V F

Fuente. Elaboración Propia

4.3.5. Verificación de las causas raíz

Luego de la identificación de las causas raíz, se procede a validar cada una, para llevar a cabo este proceso, fue crucial determinar los tipos de datos que son necesarios para corroborar estas causas potenciales; por esta razón, se presenta a continuación un resumen de los diferentes tipos de datos asociados a las causas y al tipo de efecto. Una vez que se han identificado los tipos de datos, se realizará nuevas mediciones para obtener datos actualizados que permitan validar cada una de las causas raíz previamente identificadas.



a) No han actualizado el instructivo de ajuste de presión neumática de acercamiento de los rodillos de acero.
b) No existe instructivo de regulación de acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero.
c) No se ha establecido una frecuencia de análisis del sistema de medición de los viscosímetros.
d) No se cuenta con un sistema de control automático de la velocidad del rodillo anilox.

Figura 52. **Tipo de datos de las causas y efecto**

Fuente. Elaboración Propia

4.3.5.1. Verificación de la causa raíz "a"

Para la causa raíz denotada por "a", donde se identificó que no han actualizado el instructivo de ajuste de presión neumática de acercamiento de los rodillos de acero, se presentan los resultados de la verificación ejecutada de la causa raíz "a", al concluir con las mediciones, se procede analizar los datos utilizando tablas de contingencia (ver Figura 53). Para este análisis, se evaluaron 200 rollos, distribuidos de manera equitativa entre defectuosos y no defectuosos.

La tabla de contingencia se ha construido con el fin de presentar los resultados de los datos discretos para la causa "a" como variable "X" y para el efecto como variable "Y", esta representación permite relacionar la aparición del defecto "rollos de papel tisú con presencia del modo de defecto sin laminación" con la ocurrencia de la variable discreta X "No han actualizado el instructivo de ajuste de presión neumática de acercamiento de los rodillos de acero".

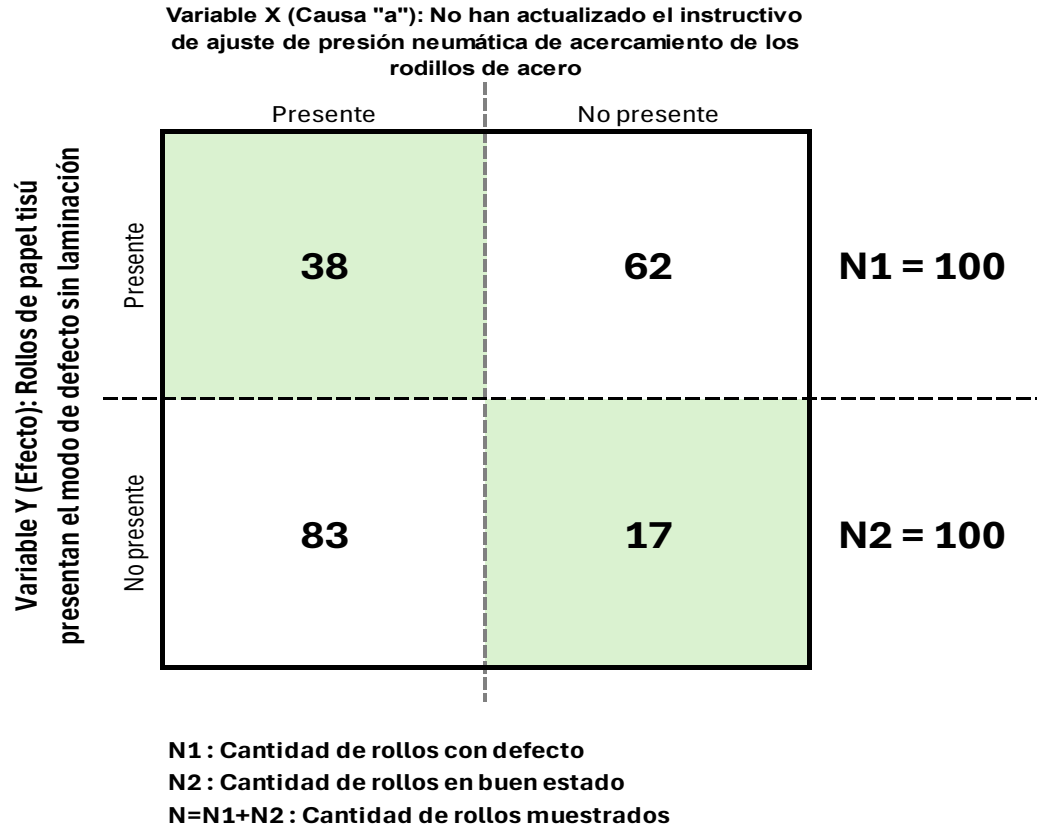


Figura 53. **Tabla de contingencia para la causa "a"**

Fuente. Elaboración Propia

Si la hipótesis sobre la causa raíz es válida, se espera observar una concentración asimétrica de los datos en la tabla de contingencia, con diferencias marcadas entre los cuadrantes de color verde claro, ubicados en la parte superior izquierda e inferior derecha. En la figura se evidencia que los valores varían considerablemente entre sí, lo que sugiere una asociación entre la falta de actualización del instructivo de ajuste de presión neumática de acercamiento de los rodillos de acero y la generación de rollos de papel tisú que presentan el modo de defecto sin laminación; por lo tanto, se puede concluir que existe una relación significativa entre las variables.

4.3.5.2. Verificación de la causa raíz "b"

Para la causa raíz denotada por "b", donde se identificó que no existe instructivo de regulación de acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero, se presentan los resultados de la verificación ejecutada de la causa raíz "b", al concluir con las mediciones, se procede analizar los datos utilizando tablas de contingencia (ver Figura 54). Para este análisis, también se evaluaron 200 rollos, distribuidos de manera equitativa entre defectuosos y no defectuosos.

La tabla de contingencia se ha construido con el fin de presentar los resultados de los datos discretos para la causa "b" como variable X y para el efecto como variable Y, esta representación permite relacionar la aparición del defecto "rollos de papel tisú con presencia del modo de defecto sin laminación" con la ocurrencia de la variable discreta X "No existe instructivo de regulación de acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero".

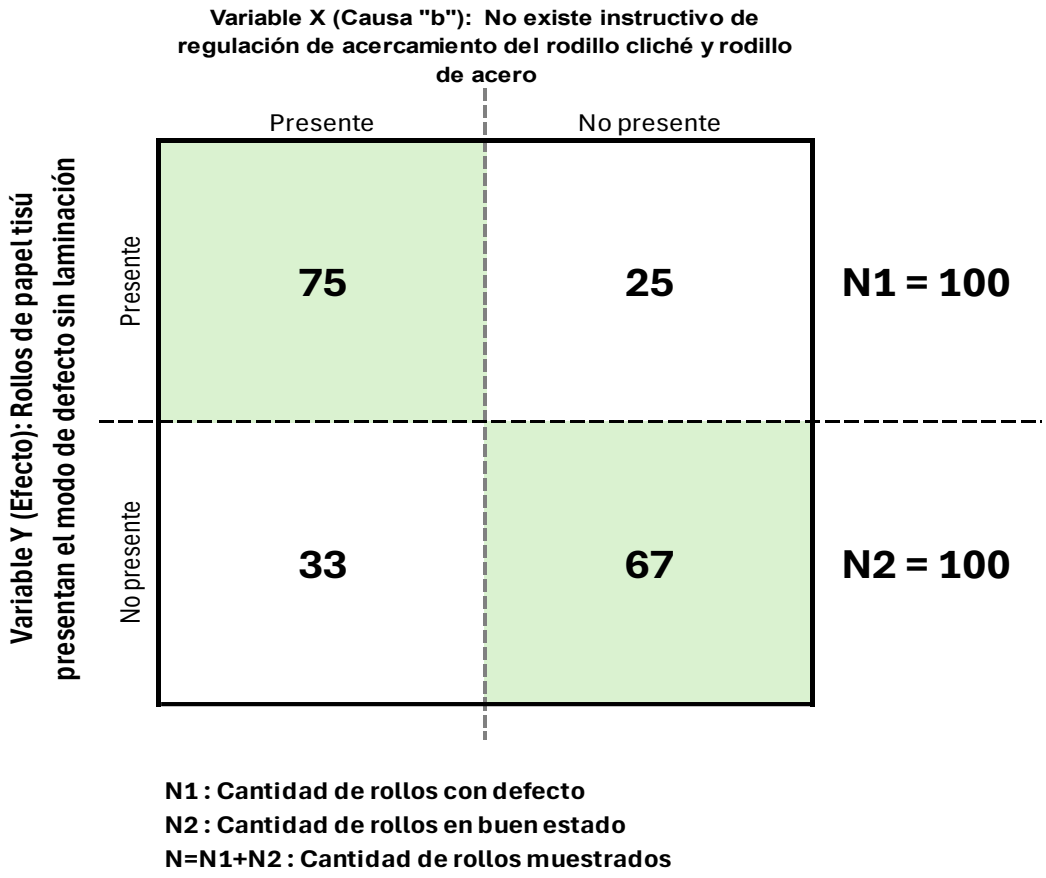


Figura 54. **Tabla de contingencia para la causa "b"**

Fuente. Elaboración Propia

Si la hipótesis sobre la causa raíz es correcta, se espera observar una concentración asimétrica de los datos en la tabla de contingencia, con diferencias marcadas entre los cuadrantes de color verde claro, ubicados en la parte superior izquierda e inferior derecha. En la figura se evidencia que los valores no varían considerablemente entre sí, lo que sugiere que hay una deficiente asociación entre la falta del instructivo de regulación de acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero; y la generación de rollos de papel tisú que presentan el modo de defecto sin laminación; por lo tanto, se puede concluir que no existe una relación significativa entre las variables.

4.3.5.3. Verificación de la causa raíz "c"

Para la causa raíz denotada por "c", donde se identificó que no se ha establecido una frecuencia de análisis del sistema de medición de los viscosímetros, se presentan los resultados de la verificación ejecutada de la causa raíz "c", al concluir con las mediciones, se procede analizar los datos utilizando tablas de contingencia (ver Figura 55). Para este análisis, también se evaluaron 200 rollos, distribuidos de manera equitativa entre defectuosos y no defectuosos.

La tabla de contingencia se ha construido con el fin de presentar los resultados de los datos discretos para la causa "c" como variable X y para el efecto como variable Y, esta representación permite relacionar la aparición del defecto "rollos de papel tisú con presencia del modo de defecto sin laminación" con la ocurrencia de la variable discreta X "No se ha establecido una frecuencia de análisis del sistema de medición de los viscosímetros".

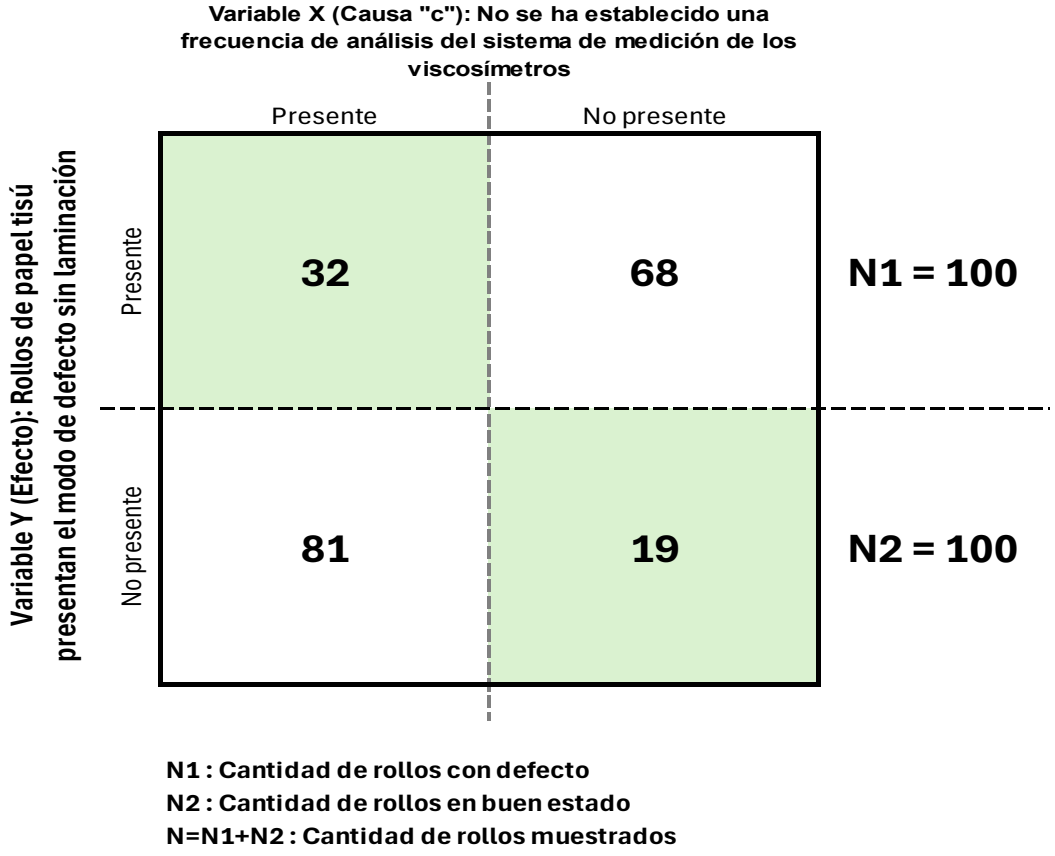


Figura 55. **Tabla de contingencia para la causa "c"**

Fuente. Elaboración Propia

Si la hipótesis sobre la causa raíz es válida, se espera observar una concentración asimétrica de los datos en la tabla de contingencia, con diferencia marcadas entre los cuadrantes de color verde claro, ubicados en la parte superior izquierda e inferior derecha. En la figura se evidencia que los valores varían considerablemente entre sí, lo que sugiere una asociación entre no haberse establecido una frecuencia de análisis del sistema de medición de los viscosímetros y la generación de rollos de papel tisú que presentan el modo de defecto sin laminación; por lo tanto, se puede concluir que existe una relación significativa entre las variables.

4.3.5.4. Verificación de la causa raíz "d"

Para la causa raíz denotada por "d", donde se identificó que no se cuenta con un sistema de control automático de la velocidad del rodillo anilox, se presentan los resultados de la verificación ejecutada de la causa raíz "d", al concluir con las mediciones, se procede analizar los datos utilizando tablas de contingencia (ver Figura 56). Para este análisis, también se evaluaron 200 rollos, distribuidos de manera equitativa entre defectuosos y no defectuosos.

La tabla de contingencia se ha construido con el fin de presentar los resultados de los datos discretos para la causa "d" como variable X y para el efecto como variable Y, esta representación permite relacionar la aparición del defecto "rollos de papel tisú con presencia del modo de defecto sin laminación" con la ocurrencia de la variable discreta X "No se cuenta con un sistema de control automático de la velocidad del rodillo anilox".

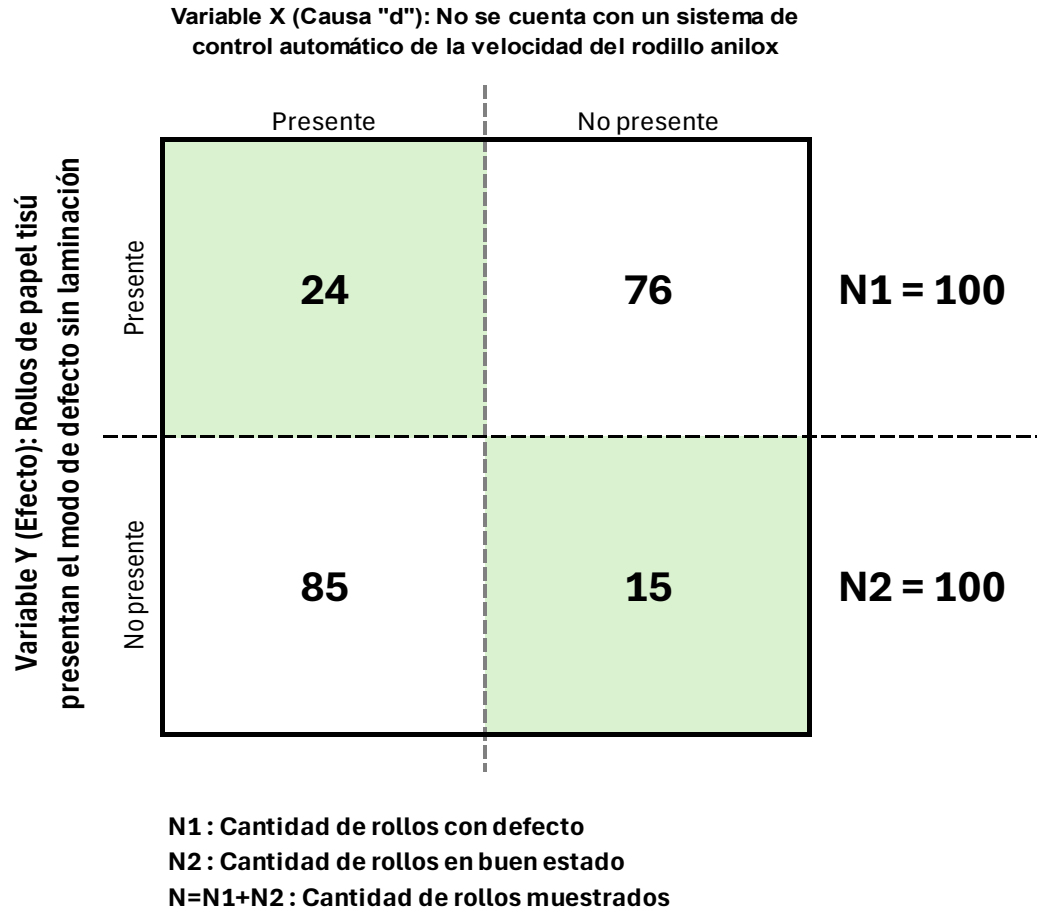


Figura 56. **Tabla de contingencia para la causa "d"**

Fuente. Elaboración Propia

Si la hipótesis sobre la causa raíz es correcta, se espera observar una concentración asimétrica de los datos en la tabla de contingencia, con diferencias marcadas entre los cuadrantes de color verde claro, ubicados en la parte superior izquierda e inferior derecha. En la figura se evidencia que los valores varían considerablemente entre sí, lo que sugiere una asociación entre no contarse con un sistema de control automático de la velocidad del rodillo anilox existe y la generación de rollos de papel tisú que presentan el modo de defecto sin laminación; por lo tanto, se puede concluir que existe una relación significativa entre las variables.

4.4. Fase Mejorar

El equipo líder del proyecto trabajó en la elaboración de un conjunto de soluciones potenciales para abordar las causas raíz del problema; con el fin de lograrlo, se evaluaron las posibles acciones a seguir y se definieron estas acciones considerando el análisis del impacto de cada solución propuesta. Además, se prestó especial atención a la mejor forma de presentar estas propuestas a la alta dirección de la organización, los entregables de la fase mejorar incluye un listado de acciones de mejoras identificadas, el plan de implementación de las mejoras, un análisis del impacto de dichas soluciones y los beneficios del proyecto.

4.4.1. Listado de acciones de mejoras identificadas

Ante la necesidad del problema se requiere proponer ideas que mejoren el proceso y eliminen las causas fundamentales, para ello se empleó la herramienta "BRAINSTORMING" (también llamada lluvia de ideas) que se desarrolló en 2 reuniones en conjunto con los integrantes del equipo multidisciplinario. En la primera reunión, el objetivo fue generar ideas concretas que estén relacionadas directamente con las causas detectada en la herramienta de los "5 PORQUÉS"; en la segunda, el foco fue analizar esas ideas para asegurar su consistencia en el tiempo y que estén alineadas a las metas de la empresa. Luego de aplicar esta herramienta se muestra un listado de acciones potenciales planteadas por el equipo del proyecto (ver Cuadro 28).

Tabla 28. **Listado de acciones potenciales**

AGENDA DE REUNIÓN

1.- PROYECTO : Reducir el indicador de productos defectuosos
2.- ASISTENTES : Champion, Black Belt, Green Belt 1, Green Belt 2, Green Belt 3

3.- AUSENTES : Ninguno

4.- ASUNTO : Seguimiento de actividades del proyecto
5.- FECHA Y HORA : 03/04/23 - 09:00 am
6.- DURACIÓN : 2 horas

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	RESPONSABLE	ESTRATEGIA	COMENTARIOS
Proponer ideas para solucionar el problema	Champions	Brainstorming	Lista de acciones a seguir para eliminación de causas raíz

7.- ACUERDOS :

1.Actualizar el instructivo de ajuste de presión neumática de acercamiento de los rodillos de acero.
2.Difundir el instructivo actualizado de ajuste de presión neumática de acercamiento de los rodillos de acero a los operadores.
3.Elaborar un nuevo instructivo de regulación de acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero.
4.Implementar y difundir el nuevo instructivo de regulación de acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero.
5.Elaborar y definir una frecuencia de análisis del sistema de medición (MSA) de los viscosímetros.
6.Reinducción a los operadores del instructivo de medición de viscosidad.
7.Reevaluar el plan de calibración y mantenimiento de los equipos de medición de viscosidad.
8.Adquirir e instalar un sistema de control automático de la velocidad del rodillo anilox.
9.Analizar e implementar un plan de mantenimiento preventivo de los rodillos de acero, rodillo cliché y rodillo anilox.
10.Establecer un plan de calibración y mantenimiento del nuevo sistema de control automático de la velocidad del rodillo anilox.

8.- MEDICIÓN DE LA EFICACIA DE LA REUNIÓN :

PUNTOS A EVALUAR	EVALUACIÓN (DEL 1 AL 5)
Cumplimiento de actividades	5
Participación	4
Dinamismo	5
Atención	5
Puntualidad	4
PUNTAJE GLOBAL	23

CRITERIOS DE EVALUCIÓN
Puntaje 1. Muy por debajo de las expectativas
Puntaje 2. Ligeramente por debajo de las expectativas
Puntaje 3. Cumple con las expectativas
Puntaje 4. Por encima de las expectativas
Puntaje 5. Muy por encima de las expectativas

¿Cómo evaluar el Puntaje Global?
- Mayor o igual a 15 puntos reunión efectiva.
- De 10 a 14 puntos reunión con oportunidades pero aceptable, pueden tomar acciones para mejorar.
- Menor a 10 puntos reunión deficiente, se debe tomar acciones inmediatas para mejorar.

FIRMA DEL LÍDER DE PROYECTO: CHAMPION

Fuente. Elaboración Propia

Después de establecer la lista de acciones por el equipo Lean Six Sigma, para contrarrestar el problema, se procede a evaluar el impacto de su implementación; para ello, se definió 5 categorías con su respectivo nivel de importancia:

Tabla 29. **Nivel de importancia de las categorías**

CATEGORÍA	NIVEL DE IMPORTANCIA
Dificultad de Implementación	1
Costo/Beneficio	2
Tiempo de Implementación	3
Impacto Sigma	4
Alineación con la Estrategia de la Empresa	5

Fuente. Elaboración Propia

Luego se procede a establecer los valores con sus respectivos criterios de evaluación, entre un rango de 1 a 5, donde 1 es deficiente y 5 sobresaliente con respecto al impacto en la solución del problema.

Tabla 30. **Criterios de evaluación**

CRITERIO	VALOR
Sobresaliente	5
Bueno	4
Satisfactorio	3
Regular	2
Deficiente	1

Fuente. Elaboración Propia

Con los criterios definidos, se procede a evaluar las acciones potenciales utilizando la Matriz de Evaluación (ver Cuadro 31), los resultados de la evaluación muestran que, de las 10 acciones propuestas, 5 acciones son de alta prioridad A (color verde), 3 acciones son de prioridad media B (color amarillo) y 2 acciones de prioridad baja (color rojo), estas acciones fueron implementadas en el tiempo en función a su prioridad.

Tabla 31. **Matriz de evaluación de las oportunidades de mejora**

SOLUCIONES POTENCIALES	Dificultad de Implementación	Costo/Beneficio	Tiempo de Implementación	Impacto Sigma	Alineación con la Estrategia de la Empresa	Total	Prioridad
	1	2	3	4	5		
1.Actualizar el instructivo de ajuste de presión neumática de acercamiento de los rodillos de acero.	4	5	4	4	5	67	A
2.Difundir el instructivo actualizado de ajuste de presión neumática de acercamiento de los rodillos de acero a los operadores.	3	4	3	3	5	57	B
3.Elaborar un nuevo instructivo de regulación de acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero.	4	5	4	4	5	67	A
4.Implementar y difundir el nuevo instructivo de regulación de acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero.	3	4	4	3	5	60	B
5.Elaborar y definir una frecuencia de análisis del sistema de medición (MSA) de los viscosímetros.	4	5	3	5	4	63	A
6.Reinducción a los operadores del instructivo de medición de viscosidad.	3	4	3	4	5	61	B
7.Reevaluar el plan de calibración y mantenimiento de los equipos de medición de viscosidad.	4	5	4	3	5	63	A
8.Adquirir e instalar un sistema de control automático de la velocidad del rodillo anilox.	2	3	2	3	4	46	C
9.Analizar e implementar un plan de mantenimiento preventivo de los rodillos de acero, rodillo cliché y rodillo anilox.	4	4	4	3	5	61	C
10. Establecer un plan de calibración y mantenimiento del nuevo sistema de control automático de la velocidad del rodillo anilox.	3	5	4	3	5	62	A

Fuente. Elaboración Propia

4.4.2. Plan de Implementación de las Oportunidades de Mejora

Después de haber identificados las oportunidades de mejoras, el equipo ejecutó el Plan de Implementación (ver Cuadro 32), asignando responsables específicos en cada una de las acciones con el objetivo de que se ejecute e implemente en las fechas establecidas en función a la matriz de evaluación (ver Cuadro 31), dichas acciones fueron monitoreadas en las reuniones establecidas durante el proyecto.

Tabla 32. Plan de Implementación de las mejoras ejecutadas

MEJORAS	RESPONSABLE DE EJECUCIÓN E IMPLEMENTACIÓN				FECHA DE EJECUCIÓN	ESTADO
	Black Belt	Green Belt 1	Green Belt 2	Green Belt 3		
1.Actualizar el instructivo de ajuste de presión neumática de acercamiento de los rodillos de acero.		X	X		05/06/2024	Realizado
2.Difundir el instructivo actualizado de ajuste de presión neumática de acercamiento de los rodillos de acero a los operadores.	X	X	X		12/06/2024	Realizado
3.Elaborar un nuevo instructivo de regulación de acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero.			X	X	08/06/2024	Realizado
4.Implementar y difundir el nuevo instructivo de regulación de acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero.	X		X	X	15/06/2024	Realizado
5.Elaborar y definir una frecuencia de análisis del sistema de medición (MSA) de los viscosímetros.		X		X	19/06/2024	Realizado
6.Reinducción a los operadores del instructivo de medición de viscosidad.	X	X		X	23/06/2024	Realizado
7.Reevaluar el plan de calibración y mantenimiento de los equipos de medición de viscosidad.		X	X		26/06/2024	Realizado
8.Adquirir e instalar un sistema de control automático de la velocidad del rodillo anilox.	X		X	X	03/07/2024	Realizado
9.Analizar e implementar un plan de mantenimiento preventivo de los rodillos de acero, rodillo cliché y rodillo anilox.	X			X	07/07/2024	Realizado
10. Establecer un plan de calibración y mantenimiento del nuevo sistema de control automático de la velocidad del rodillo anilox.	X	X			12/07/2024	Realizado

Fuente. Elaboración propia

4.4.3. Condiciones de operación para obtener el mejor grado de apariencia

Para determinar las condiciones de operación con el objetivo de obtener el mejor grado de apariencia en los rollos de papel tisú (ver Cuadro 25) se utilizó el software estadístico Minitab, empleando la herramienta "Optimizador de Respuesta", el cual es un método estadístico sofisticado que identifica la combinación óptima de valores de las variables independientes X1, X2, X3 y X4 en función a la variable de respuesta Y. Esta herramienta se basa en modelos matemáticos ajustados a los datos experimentales obtenidos del DOE realizado en la fase anterior, el cual nos ayuda a predecir las respuestas en función a los niveles de los factores, luego aplica algoritmos para optimizar, minimizar o alcanzar un valor objetivo, para determinar las combinaciones ideales de las variables X. Se realizó el análisis para obtener la variable de salida Y con el grado de apariencia con la calificación 1 que significa que el rollo de papel tisú se encuentra en muy buen estado.

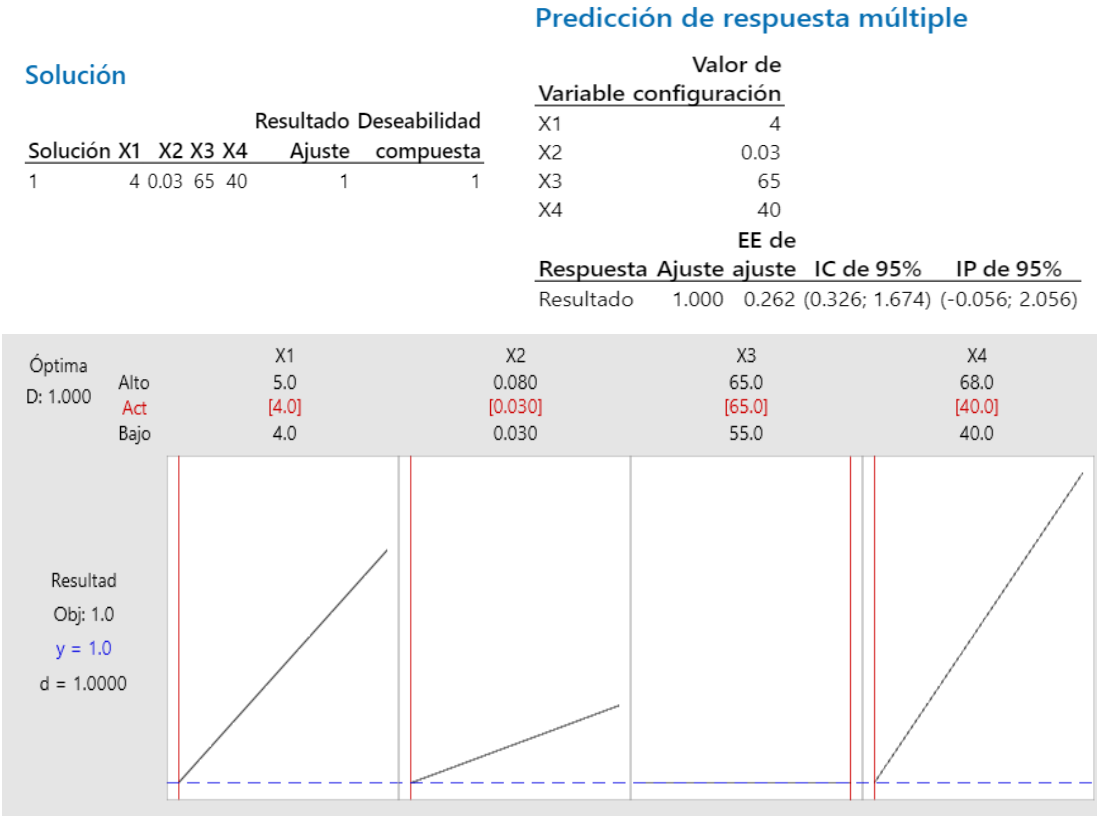


Figura 57. Valores de operación para obtener el mejor grado de apariencia

Fuente. Elaboración Propia

Los valores óptimos encontrados para los factores son: X1 = 4, X2 = 0.03, X3 = 65 y X4 = 40 se encuentran dentro de los límites establecidos en el diseño, lo cual es crítico para la validez del modelo; la predicción del modelo para esta combinación es un resultado ajustado de 1, con un error estándar del ajuste de 0.262, y un intervalo de confianza del 95% que va desde 0.326 hasta 1.674, lo que indica que, a pesar de la variabilidad inherente del proceso, la media estimada se encuentra alineada con el objetivo. Las gráficas de perfiles muestran la sensibilidad en la respuesta frente a cada uno de los factores; los valores seleccionados óptimos están indicados en rojo, mientras que los límites superior e inferior definidos permiten visualizar el comportamiento de la función objetivo dentro del espacio experimental. Los resultados indican que se ha encontrado una configuración óptima, sólida y estadísticamente válida, que cumple con los objetivos de rendimiento del proceso.

4.4.4. Análisis de impacto de las soluciones en el proceso

Después de implementar las acciones y abordar las causas raíz identificadas en el proyecto Lean Six Sigma, el equipo se centró en cuantificar y validar el impacto de las soluciones en el proceso; para ello, se realizó un análisis de las variables críticas del proceso X1, X2, X3 y X4; que tienen mayor influencia en el desempeño del proceso. Las mediciones de cada una de las variables después de las mejoras implementadas se muestran a continuación:

Tabla 33. Valores medidos de las variables "X" después de las mejoras

Muestra	X1	X2	X3	X4
1	4,53	0,06	63	47
2	4,53	0,04	58	57
3	4,51	0,04	59	55
4	4,52	0,07	60	59
5	4,40	0,06	61	54
6	4,45	0,06	61	56
7	4,50	0,05	58	44
8	4,41	0,06	61	55
9	4,56	0,05	61	51
10	4,50	0,05	61	57
11	4,49	0,05	60	60
12	4,37	0,05	58	49
13	4,33	0,06	60	52
14	4,58	0,06	62	50
15	4,42	0,07	60	52
16	4,50	0,05	62	50
17	4,57	0,06	58	53
18	4,37	0,06	61	55
19	4,51	0,07	60	57
20	4,40	0,07	59	59
21	4,46	0,05	62	51
22	4,57	0,06	61	58
23	4,48	0,07	60	51
24	4,48	0,05	59	53
25	4,52	0,04	63	53
26	4,52	0,06	60	59
27	4,34	0,06	61	47
28	4,45	0,07	60	52
29	4,55	0,04	62	57
30	4,54	0,07	61	49
31	4,59	0,05	61	46
32	4,57	0,06	61	50
33	4,50	0,05	61	57
34	4,37	0,04	62	45
35	4,63	0,05	59	51
36	4,42	0,06	60	56
37	4,61	0,06	59	49
38	4,35	0,06	62	59
39	4,40	0,07	59	58
40	4,48	0,05	60	48
41	4,59	0,05	58	46
42	4,36	0,05	61	48
43	4,61	0,06	57	52
44	4,44	0,05	59	53
45	4,51	0,07	61	59
46	4,41	0,06	61	58
47	4,45	0,06	58	57
48	4,62	0,05	59	49
49	4,51	0,06	62	51
50	4,62	0,06	60	54

Muestra	X1	X2	X3	X4
51	4,57	0,05	58	59
52	4,50	0,06	61	59
53	4,47	0,06	63	51
54	4,48	0,06	59	59
55	4,39	0,06	61	52
56	4,47	0,07	63	46
57	4,53	0,05	63	48
58	4,75	0,04	61	49
59	4,51	0,05	62	59
60	4,49	0,05	60	54
61	4,63	0,05	59	50
62	4,39	0,05	63	47
63	4,57	0,06	61	45
64	4,50	0,06	58	52
65	4,71	0,07	60	56
66	4,59	0,06	62	55
67	4,33	0,04	61	50
68	4,68	0,06	62	54
69	4,46	0,06	58	56
70	4,34	0,06	61	58
71	4,73	0,06	60	59
72	4,52	0,06	58	53
73	4,58	0,05	60	55
74	4,42	0,05	60	52
75	4,65	0,06	60	48
76	4,36	0,05	61	55
77	4,58	0,06	59	54
78	4,72	0,06	60	53
79	4,57	0,05	59	47
80	4,74	0,06	62	50
81	4,46	0,06	59	50
82	4,48	0,06	58	48
83	4,49	0,05	59	54
84	4,41	0,06	60	45
85	4,64	0,04	60	53
86	4,47	0,05	60	52
87	4,38	0,07	60	48
88	4,33	0,05	58	56
89	4,54	0,07	59	55
90	4,73	0,07	60	54
91	4,74	0,06	59	54
92	4,43	0,05	60	50
93	4,75	0,05	63	57
94	4,33	0,06	61	55
95	4,66	0,05	63	58
96	4,71	0,04	62	51
97	4,37	0,05	60	50
98	4,61	0,06	62	48
99	4,64	0,05	63	50
100	4,69	0,06	61	45

Fuente. Elaboración Propia

Posterior a la recolección de datos, se llevó a cabo la comparación del análisis de capacidad del proceso para las variables "X" después de las mejoras implementadas, para la variable X1 los resultados de la prueba de Anderson Darling, indica que el valor "p" supera a 0.05 por lo que los datos presentan una distribución normal, los gráficos de control de la media y del rango evidencian que los datos son estables y se ubican dentro de los límites de control, la desviación estándar se redujo y por consecuencia el Cp = 1.44 y el Cpk = 1.40 incrementaron de forma favorable, logrando un valor del Nivel Z (sigma) = 4.13; alcanzando un PPM=18; por lo tanto, se puede inferir que el proceso cumple con los requisitos en relación a la presión neumática.

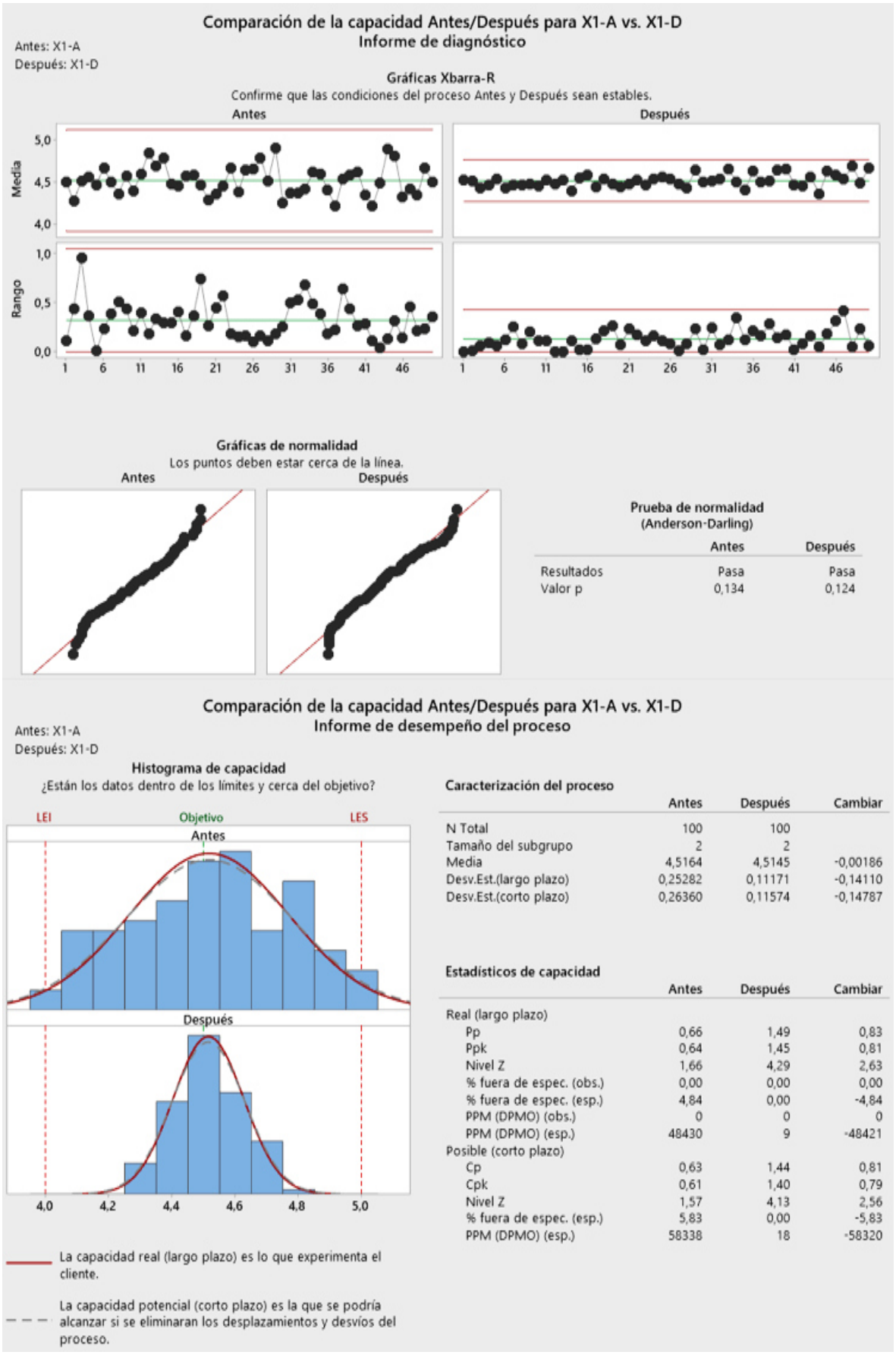
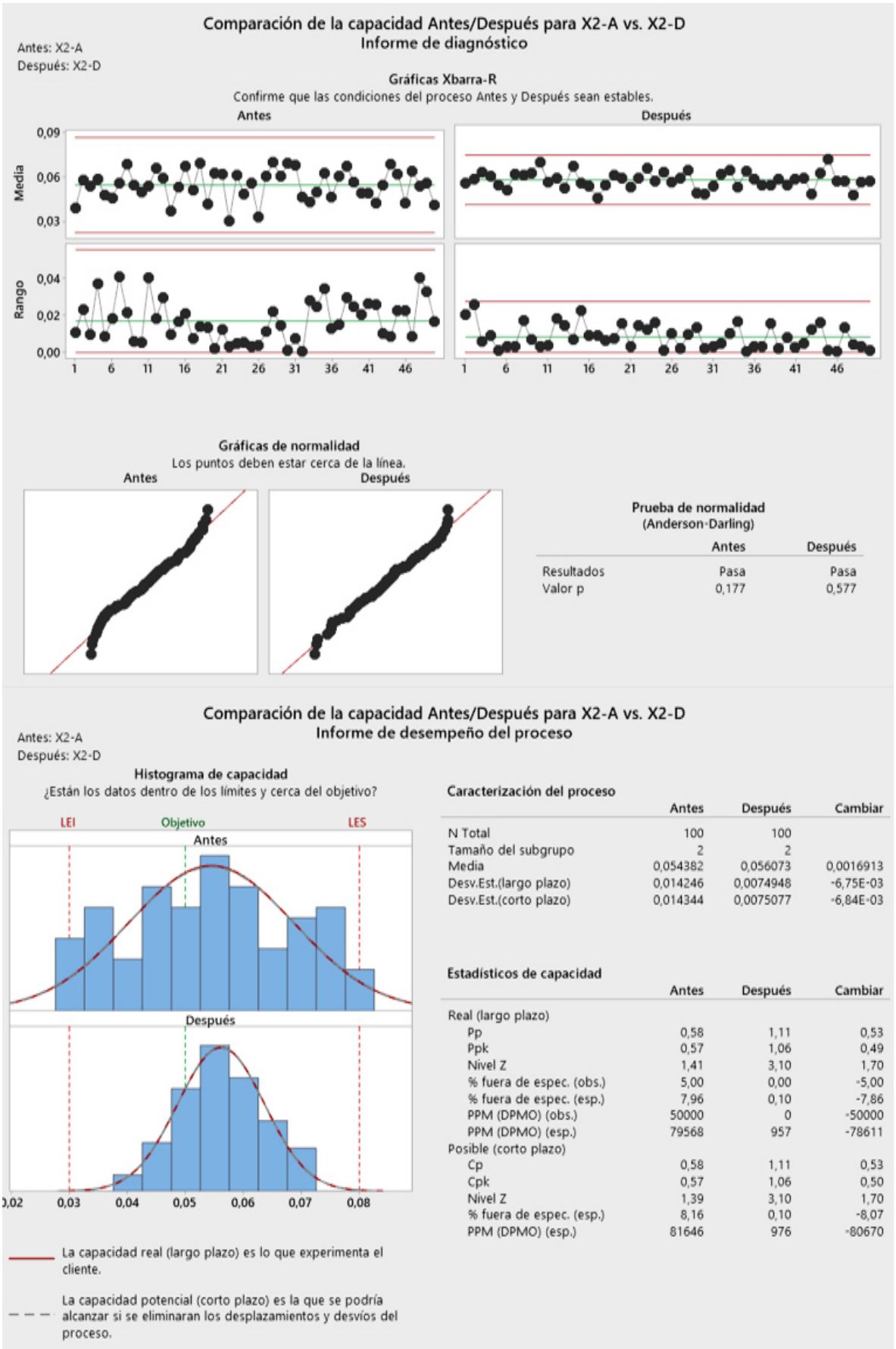


Figura 58. **Comparativo del análisis de capacidad para la variable X1**
Fuente. Elaboración Propia

Para la variable X2 los resultados de la prueba de Anderson Darling, señala que el valor “p” supera el 0.05 por lo que los datos presentan una distribución normal, los gráficos de control de la media y del rango evidencian que los datos son estables y se encuentran dentro de los límites de control, la desviación estándar se redujo y por consecuencia el Cp = 1.11 y el Cpk = 1.06 incrementaron de forma favorable, logrando un valor del Nivel Z (sigma) = 3.10; alcanzando un PPM=976, por lo que se concluye que el proceso cumple con los requisitos establecidos en cuanto al acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero.



Caracterización del proceso

	Antes	Después	Cambiar
N Total	100	100	
Tamaño del subgrupo	2	2	
Media	0,054382	0,056073	0,0016913
Desv.Est.(largo plazo)	0,014246	0,0074948	-6,75E-03
Desv.Est.(corto plazo)	0,014344	0,0075077	-6,84E-03

Estadísticos de capacidad

	Antes	Después	Cambiar
Real (largo plazo)			
Pp	0,58	1,11	0,53
Ppk	0,57	1,06	0,49
Nivel Z	1,41	3,10	1,70
% fuera de espec. (obs.)	5,00	0,00	-5,00
% fuera de espec. (esp.)	7,96	0,10	-7,86
PPM (DPMO) (obs.)	50000	0	-50000
PPM (DPMO) (esp.)	79568	957	-78611
Posible (corto plazo)			
Cp	0,58	1,11	0,53
Cpk	0,57	1,06	0,50
Nivel Z	1,39	3,10	1,70
% fuera de espec. (esp.)	8,16	0,10	-8,07
PPM (DPMO) (esp.)	81646	976	-80670

Figura 59. **Comparativo del análisis de capacidad para la variable X2**
Fuente. Elaboración Propia

Para la variable X3 los resultados de la prueba de Anderson Darling, señala que el valor “p” supera el 0.05 por lo que los datos presentan una distribución normal, los gráficos de control de la media y del rango evidencian que los datos son estables y se encuentran dentro de los límites de control, la desviación estándar se redujo y por consecuencia el Cp = 1.12 y el Cpk = 1.06 incrementaron de forma favorable, logrando un valor del Nivel Z (sigma) = 3.12; alcanzando un PPM=915, por lo que se concluye que el proceso cumple con los requisitos establecido en cuanto a la viscosidad del adhesivo de laminación.

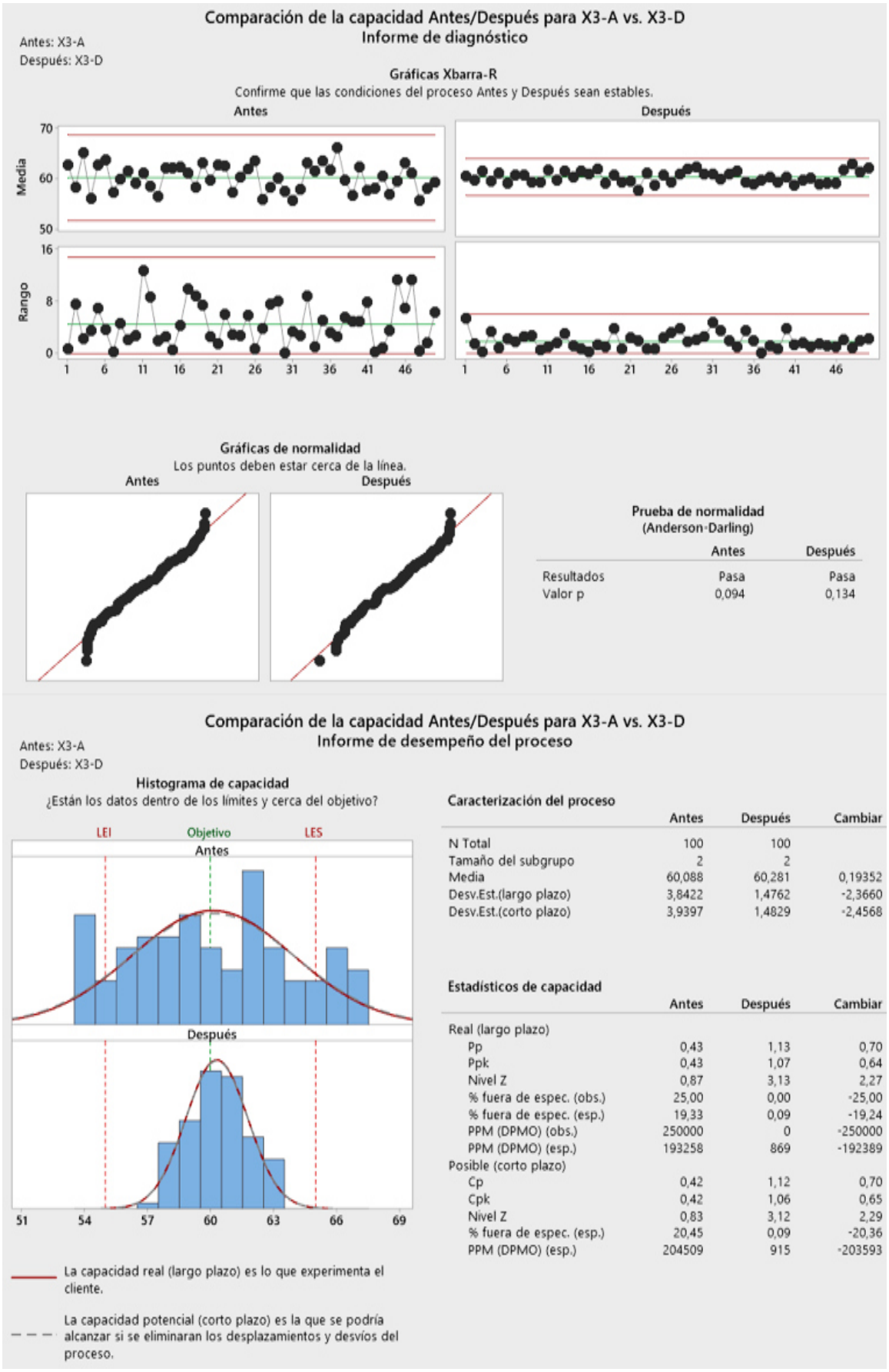


Figura 60. **Comparativo del análisis de capacidad para la variable X3**
Fuente. Elaboración Propia

Para la variable X4 los resultados de la prueba de Anderson Darling, señala que el valor “p” supera el 0,05 por lo que los datos presentan una distribución normal, los gráficos de control de la media y del rango evidencian que los datos son estables y se encuentran dentro de los límites de control, la desviación estándar se redujo y por consecuencia el Cp = 1.17 y el Cpk = 1.05 incrementaron de forma favorable, logrando un valor del Nivel Z (sigma) = 3.14; alcanzando un PPM=976, por lo que se concluye que el proceso cumple con los requisitos en cuanto a la velocidad del rodillo anilox.

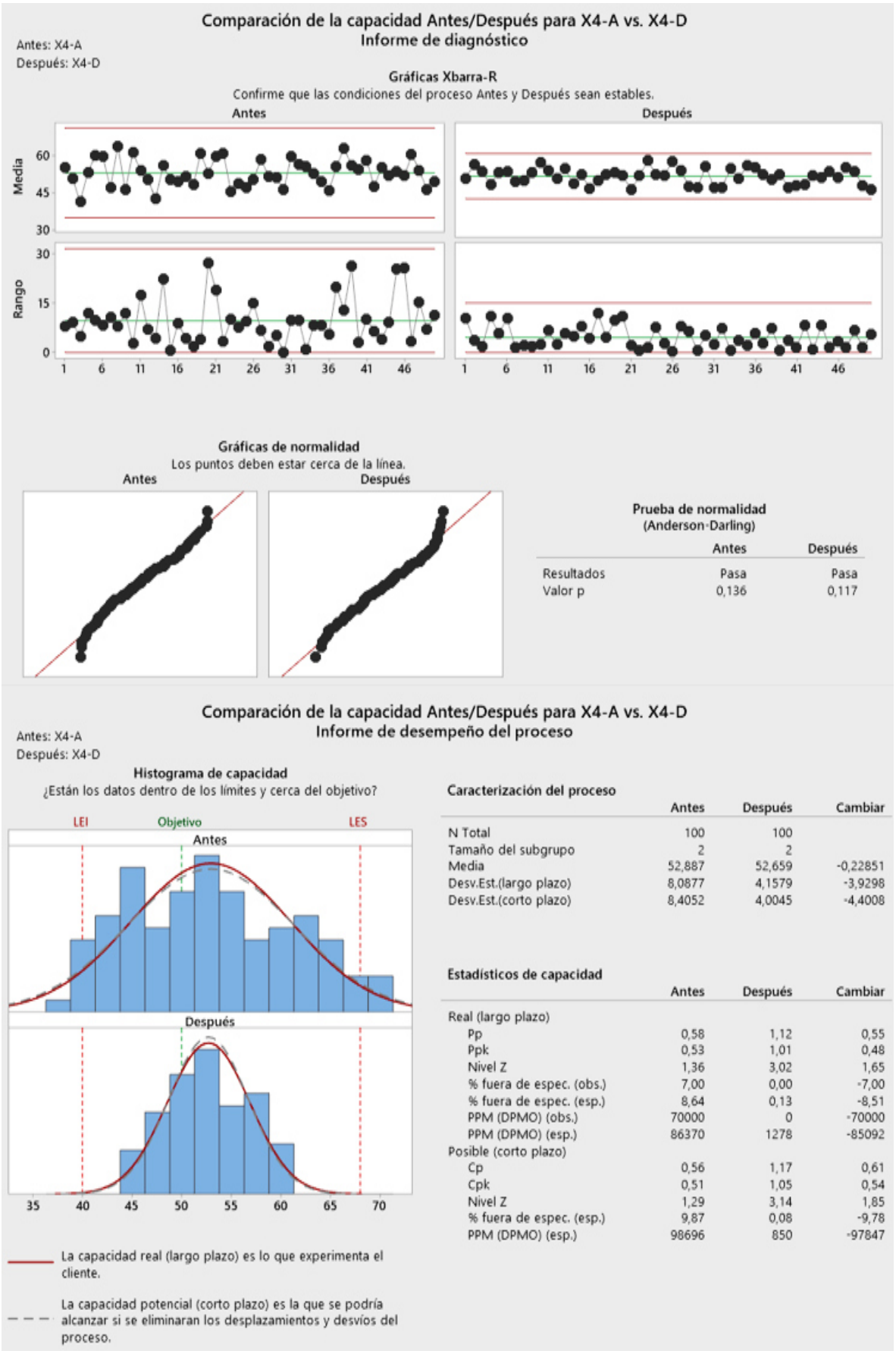


Figura 61. **Comparativo del análisis de capacidad para la variable X4**
Fuente. Elaboración Propia

En conclusión, los resultados obtenidos de los análisis de capacidad de cada una de las variables “X” después de las mejoras implementadas son comparadas con los valores iniciales del proceso (Ver Cuadro 34), se observa que las capacidades potenciales de las variables críticas del proceso mejoraron sustancialmente.

Tabla 34. **Resultados de los análisis de capacidad de las variables “X”**

	Variables críticas del proceso			
Estadísticos	X1 Presión neumática de acercamiento de rodillos de acero	X2 Acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero	X3 Viscosidad del adhesivo de laminación	X4 Velocidad del rodillo anilox
Cp (inicial)	0,63	0,58	0,42	0,56
Cp (mejorado)	1,44	1,11	1,12	1,17
Cpk (inicial)	0,61	0,57	0,42	0,51
Cpk (mejorado)	1,4	1,06	1,06	1,05
Nivel Z (inicial)	1,57	1,39	0,83	1,29
Nivel Z (mejorado)	4,13	3,10	3,12	3,14

Fuente. Elaboración Propia

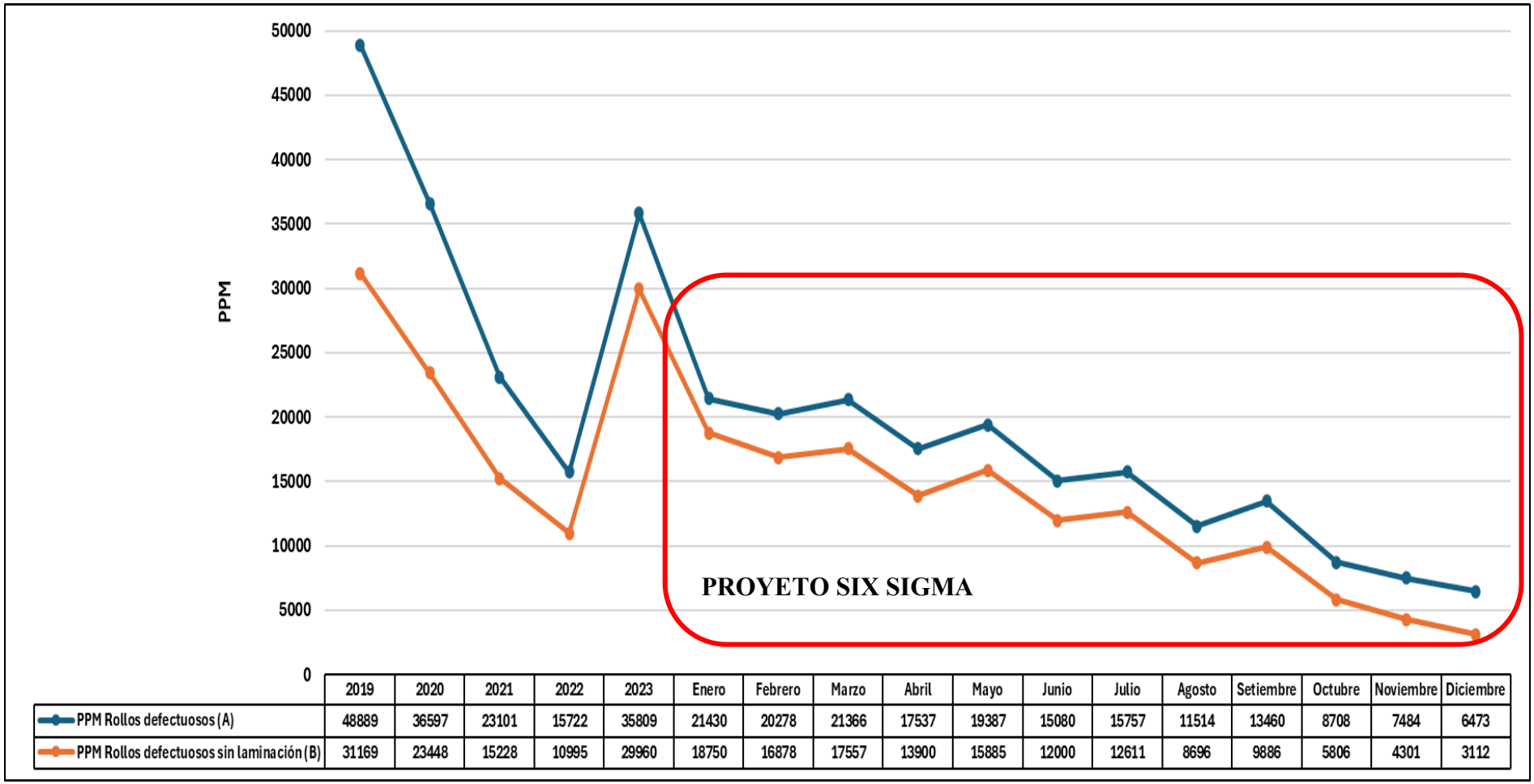
Para evaluar la variable “Y” del proceso después de las mejoras implementadas, se extrae la información de los reportes de producción con respecto a la cantidad de productos defectuosos generados en el año 2024. Los datos que se muestran reflejan la producción total de rollos, con su respectiva cantidad de rollos defectuosos, de los cuales también se detalla la cantidad de rollos de papel tisú con el modo de defecto sin laminación (ver Cuadro 35).

Tabla 35. **Información de la variable "Y" después de las mejoras**

		N° de rollos producidos/mes	N° de rollos defectuosos/mes	N° de rollos defectuosos "sin laminación"/mes
	2019	9625000	470552	300000
	2020	11125000	407145	260864
	2021	12312500	284437	187500
	2022	13642708	214489	150000
	2023	16271875	582677	487500
AÑO 2023 - DESPUÉS DE LAS MEJORAS	Enero	16000000	342875	300000
	Febrero	14812500	300375	250000
	Marzo	16375000	349875	287500
	Abril	16187500	283875	225000
	Mayo	16525000	320375	262500
	Junio	15625000	235625	187500
	Julio	16850000	265500	212500
	Agosto	17250000	198625	150000
	Setiembre	16437500	221250	162500
	Octubre	17225000	150000	100000
	Noviembre	17437500	130500	75000
	Diciembre	18075000	117000	56250

Fuente. Elaboración Propia

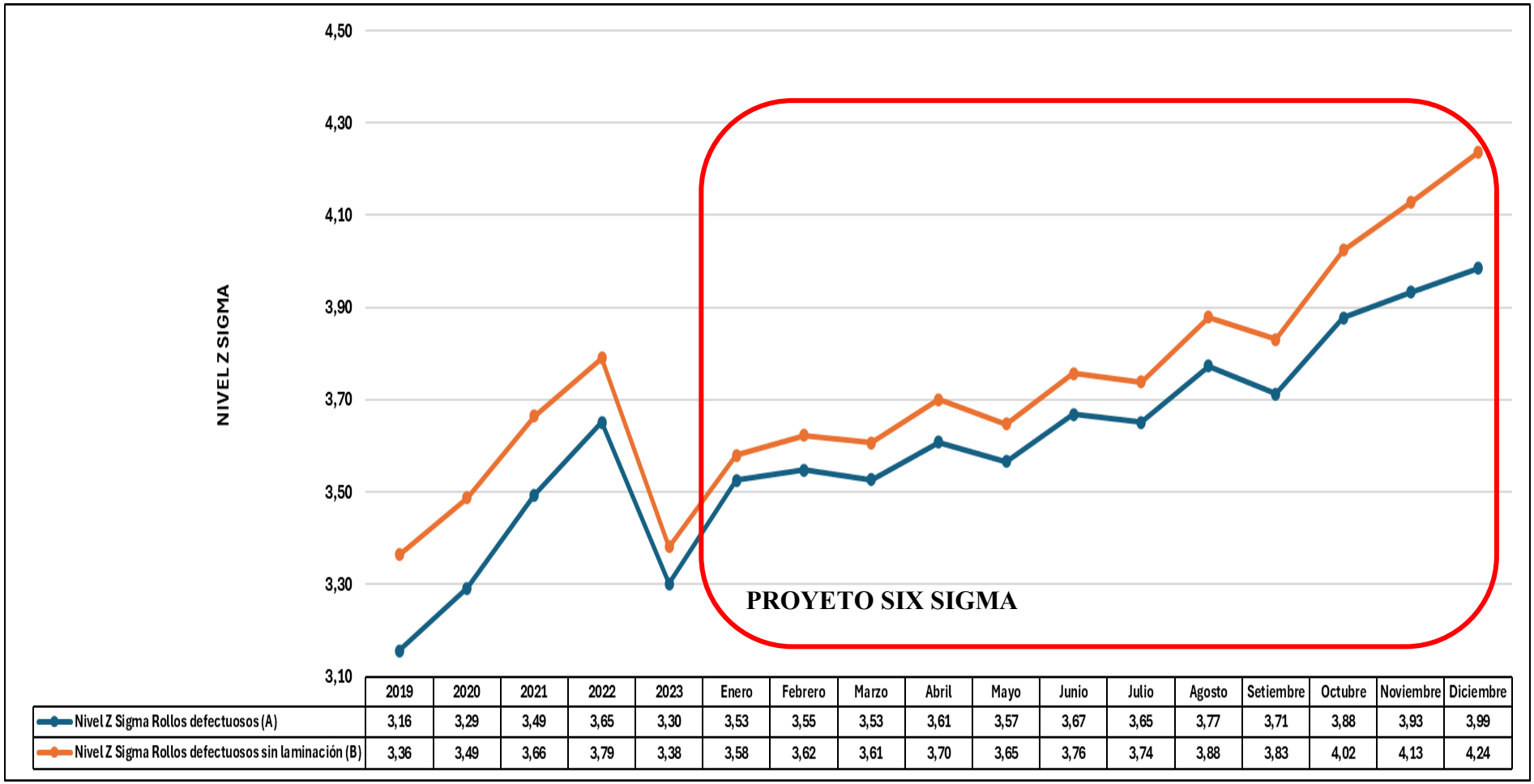
En conclusión, el proyecto al cierre del año 2024 se logró reducir un 58% del PPM con respecto a los rollos defectuosos del año 2023 y un 61% del PPM con respecto a los rollos defectuosos que presentan el modo de defecto "sin laminación" del año 2023 (Ver Figura 62), también se observa un incremento sustancial del Nivel Z Sigma de 3.99 y 4.24 con respecto al proceso de fabricación de rollos de papel tisú en la L120 (Ver Figura 63), por consecuencia se obtendrá una reducción del costo de reproceso generando rentabilidad para la organización y satisfacción a los clientes.



	2019	2020	2021	2022	2023	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
PPM Rollos defectuosos (A)	48889	36597	23101	15722	35809	21430	20278	21366	17537	19387	15080	15757	11514	13460	8708	7484	6473
PPM Rollos defectuosos sin laminación (B)	31169	23448	15228	10995	29960	18750	16878	17557	13900	15885	12000	12611	8696	9886	5806	4301	3112

Figura 62. **Evolución de los rollos defectuosos y rollos con el modo de defecto sin laminación (PPM)**

Fuente. Elaboración Propia



	2019	2020	2021	2022	2023	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Nivel Z Sigma Rollos defectuosos (A)	3,16	3,29	3,49	3,65	3,30	3,53	3,55	3,53	3,61	3,57	3,67	3,65	3,77	3,71	3,88	3,93	3,99
Nivel Z Sigma Rollos defectuosos sin laminación (B)	3,36	3,49	3,66	3,79	3,38	3,58	3,62	3,61	3,70	3,65	3,76	3,74	3,88	3,83	4,02	4,13	4,24

Figura 63. **Evolución de los rollos defectuosos y rollos con el modo de defecto sin laminación (NIVEL SIGMA)**

Fuente. Elaboración Propia

4.4.5. Beneficio del proyecto Lean Six Sigma

Luego de la implementación de las mejoras en el proceso para combatir las causas raíz, el equipo procede a realizar un análisis del beneficio alcanzado; a continuación, se muestra el indicador de productos defectuosos que se genera en las 4 unidades de la línea convertidora L120, controlado desde el inicio del proyecto hasta el cierre del año 2024.

Tabla 36. **Evolución del indicador de productos defectuosos en L120 después de las mejoras**

Unidad de máquina	Indicador de Productos Defectuosos (%)																	
	Año					Meses del año 2024												YTD
	2019	2020	2021	2022	2023	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	2024
Gofrador	3,60%	2,34%	1,40%	0,74%	3,00%	2,73%	2,78%	2,37%	2,16%	2,19%	2,00%	1,63%	1,34%	1,11%	1,19%	0,82%	0,52%	1,70%
Cortadora	0,96%	0,81%	0,38%	0,42%	0,25%	0,17%	0,15%	0,21%	0,12%	0,14%	0,12%	0,11%	0,09%	0,15%	0,09%	0,22%	0,15%	0,14%
Empaquetadora	0,63%	0,52%	0,30%	0,24%	0,18%	0,16%	0,16%	0,12%	0,14%	0,18%	0,11%	0,10%	0,09%	0,13%	0,12%	0,09%	0,13%	0,12%
Ensacadora	0,45%	0,38%	0,22%	0,17%	0,15%	0,09%	0,11%	0,21%	0,11%	0,18%	0,09%	0,25%	0,18%	0,14%	0,09%	0,16%	0,19%	0,15%
Total	4,89%	3,66%	2,31%	1,57%	3,58%	3,16%	3,19%	2,90%	2,53%	2,70%	2,31%	2,09%	1,66%	1,57%	1,45%	1,25%	0,92%	2,11%

Fuente. Información de la empresa – Elaboración propia

La información nos muestra que el indicador de productos defectuosos presenta una tendencia decreciente en la unidad gofradora desde el inicio del proyecto que inició en enero y culminó en diciembre del año 2023. El proyecto de investigación enfocado a la Implementación de la Metodología Lean Six sigma en la unidad gofradora en la máquina convertidora L120, ha dado sus frutos logrando alcanzar la meta planteada por la Gerencia de Operaciones para el año 2024, el cual debe ser ≤ 2,2% para el indicador global de productos defectuosos y ≤ 1,8% para el indicador de productos defectuosos generados en la unidad gofradora.

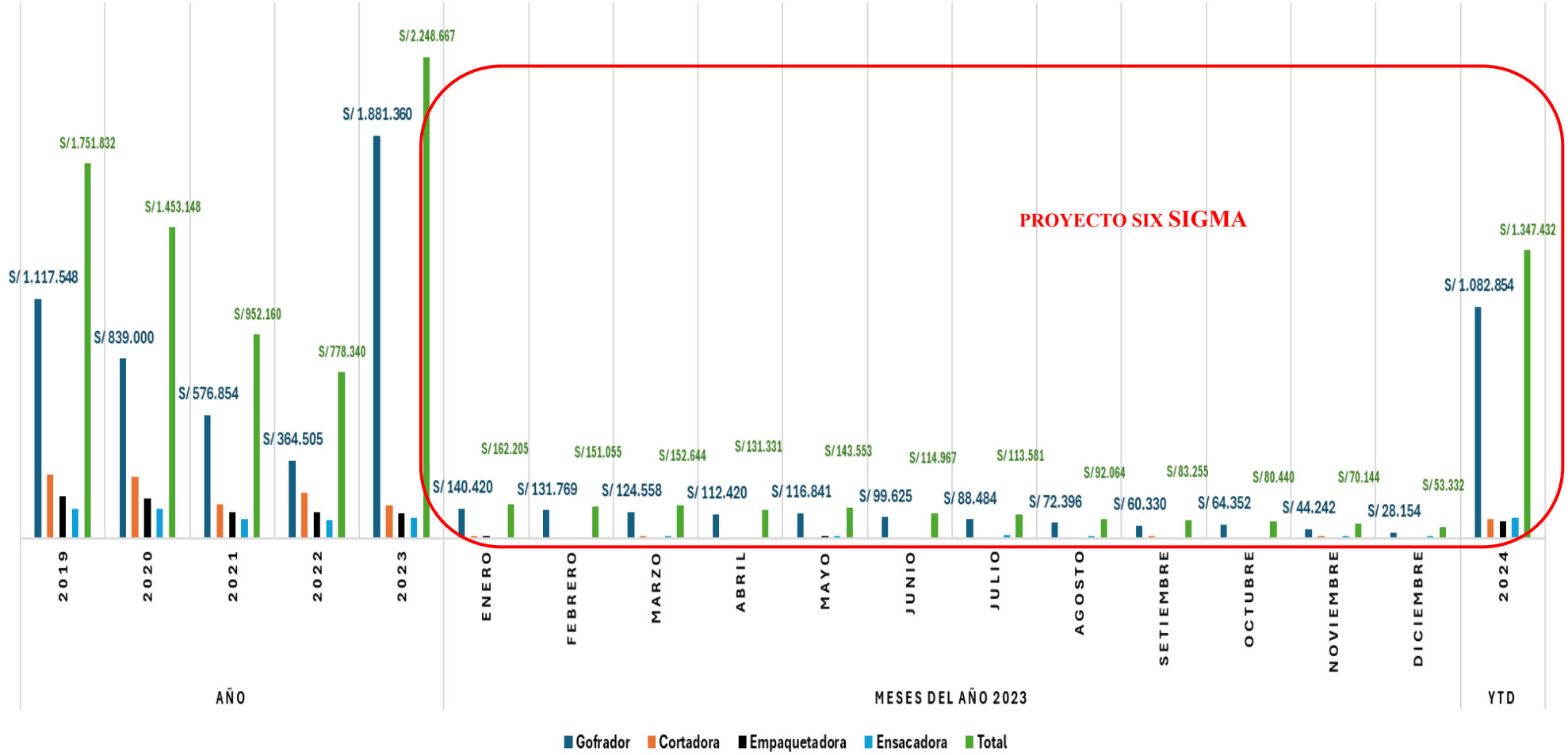


Figura 64. **Costo de reproceso por cada unidad de máquina en L120 después de las mejoras**
Fuente. Elaboración propia

El costo de reproceso de enero a diciembre del año 2023 antes del inicio del proyecto da una suma total de S/ 2 248 667, en el mes de enero del año 2024 se da inicio al proyecto, luego de aplicar la Metodología Lean Six Sigma y cada una de sus fases de forma sistematizada se observa que al cierre del proyecto se ha obtenido un costo de reproceso para el año 2024 de S/ 1 347 432, logrando una reducción del 40% con respecto al año 2023 equivalente a S/ 901 236; donde se convierte este monto en un beneficio de rentabilidad para la empresa.

4.5. Fase Controlar

En esta fase, el enfoque de los integrantes del equipo se centró en mantener y sostener las acciones implementadas a lo largo del proyecto a través de un sistema sólido y robusto; por lo tanto, el equipo buscó asegurar que las mejoras mantengan su rendimiento una vez finalizado todas las fases de la Metodología Lean Six Sigma. Durante esta fase, el objetivo es dotar de conocimiento a los operadores que controlan la unidad gofradora de la línea convertidora L120, para que sean autónomos en el control y monitoreo de las variables críticas del proceso. (McCarty et al., 2004).

En la fase de control los entregables definidos son los siguientes:

- Plan de implementación de mantención del proyecto.
- Conclusiones de las actividades del proyecto.

En este punto se aborda estos entregables junto con otras herramientas y consideraciones cruciales para lograr el éxito de esta fase.

4.5.1. Plan de implementación de mantención del proyecto

Después de determinar el beneficio del proyecto, el equipo procede a la creación del plan detallado de mantención del proyecto, siguiendo las directrices sugeridas por

McCarty et al. (2004), se identifican cuatro elementos esenciales que deben estar dentro del plan, los cuales se describen a continuación

4.5.1.1. Evaluación de Problemas Potenciales

En función a la información recopilada por el equipo del proyecto sobre los riesgos más significativos vinculados a las variables críticas del proceso de la unidad gofradora en la línea convertidora L120, se procede a la actualización de la Matriz Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) del proceso. Esta revisión incorpora nuevos valores del Número de Prioridad de Riesgo (NPR), destacando una disminución en el riesgo asociado con las variables "X" debido a las acciones correctivas implementadas.

4.5.1.2. Plan de Entrenamiento a Operadores

En respuesta a las mejoras ejecutadas en la unidad gofradora de la línea convertidora L120, el equipo decidió elaborar un Plan de Entrenamiento enfocado a los operadores y supervisores que están directamente involucrados con el proceso (ver Cuadro 37), el plan cuenta con 3 temas relevantes el cual está compuesto por:

- ✓ Entrenamiento en la Matriz Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF).
- ✓ Entrenamiento en el Plan de Control del Proceso.
- ✓ Entrenamiento de los nuevos instructivos o actualizados.

Es relevante destacar que toda la información generada se ha integrado a los manuales de capacitación, asegurando que sea utilizada tanto para capacitar a los operadores y supervisores activos como para nuevos ingresantes al proceso, de esta manera se podrá mantener los resultados obtenidos hasta al cierre del proyecto.

Tabla 37. Plan de Entrenamiento a Operadores

CÓDIGO DEL PUESTO	DESCRIPCIÓN DEL PUESTO	TURNO			TEMAS A ENTRENAR			FECHAS DE ENTRENAMIENTO		
		MAÑANA	TARDE	NOCHE	AMEF	PLAN DE CONTROL	INSTRUCTIVOS	9/06/2023	16/06/2023	23/06/2023
10321	Supervisor 1	X			•	•				
10431	Operador líder 1	X			•	•	•			
10541	Operador máquina 1	X			•	•	•			
10651	Operador auxiliar 1	X			•	•	•			
10322	Supervisor 2		X		•	•				
10432	Operador líder 2		X		•	•	•			
10542	Operador máquina 2		X		•	•	•			
10652	Operador auxiliar 2		X		•	•	•			
10323	Supervisor 3			X	•	•				
10432	Operador líder 3			X	•	•	•			
10543	Operador máquina 3			X	•	•	•			
10653	Operador auxiliar 3			X	•	•	•			

Fuente. Elaboración propia

4.5.1.3. Plan Difusión de Beneficios del Proyecto

El Equipo Six Sigma elabora un plan de difusión para todos los colaboradores de la empresa (ver Cuadro 38), con el propósito de exponer los beneficios logrados durante el proyecto, para alcanzar este propósito se decidió utilizar los canales de comunicación interna disponibles en la planta como:

- Reuniones diarias de las áreas operativas y administrativas.
- Tableros informativos de las áreas operativas y administrativas
- Revista de los principales logros alcanzados por la empresa.
- Correos electrónicos del personal operativo y administrativo.
- En todos los televisores informativos de la planta.

La difusión nos ayudó a trasmitir concientización a todos los niveles de la organización tanto operativo, táctico y estratégico; buscando generar una cultura de integración, autonomía, innovación y trabajo en equipo.

Tabla 38. **Plan Difusión de Beneficios del Proyecto**

MEDIO DE COMUNICACIÓN INTERNA	ALCANCE			DIFUSIÓN	
	OPERARIOS	EMPLEADOS	FUNCIONARIOS	FECHA DE INICIO	FECHA DE CULMINACIÓN
Reuniones diarias de las áreas operativas y administrativas	X	X		03/07/2024	21/07/2024
Tableros informativos de las áreas operativas y administrativas	X	X		04/07/2024	31/07/2024
Revista de los principales logros alcanzados por la empresa	X	X	X	10/07/2024	14/07/2024
Correos electrónicos del personal operativo y administrativo	X	X	X	08/07/2024	08/07/2023
En todos los televisores informativos de la planta	X	X	X	09/07/2024	31/07/2024

Fuente. Elaboración propia

4.5.1.4. Plan Control de Proceso

Consistió en identificar y definir las condiciones de operación para obtener el grado de apariencia sin la presencia del modo de defecto “sin laminación” de acuerdo con los estándares de calidad de los rollos de papel tisú. Esto implicó determinar valores específicos de las variables X1, X2, X3 y X4 que influyen directamente en la apariencia superficial del producto, para asegurar que se mantenga la consistencia estética de los rollos de papel tisú. El equipo a cargo del proyecto Lean Six Sigma estableció un plan para monitorear las variables claves del proceso y del producto de la unidad gofradora de la línea convertidora L120, el cual es denominado “Plan Control de Procesos”, este describe las variables del proceso y características del producto, identificando las principales variables de entrada y de salida.

4.5.1.4.1. Control de Procesos de las variables “X”

En el caso de la variable X1, correspondiente a la presión neumática de acercamiento de rodillos de acero se debe regular a 4.5 bar, se establece un rango de trabajo de +/- 0.5 bar. La medición se realiza mediante manómetros, el control se lleva a cabo realizando una inspección de los valores de presión en el monitor principal de la unidad gofradora y a la par revisando los valores de los manómetros ubicados de manera física en la máquina con una frecuencia de 3 veces por turno de trabajo de 8 horas (cada 3 horas desde el ingreso del turno), también en caso de arranque de línea y cambio de producto. La información extraída se ingresa en la base de datos o también llamada center line donde se registra la información relevante de cada línea convertidora, si la medición supera los límites superior e inferior, se debe comunicar al operador de la máquina para que proceda con el ajuste respectivo.

En cuanto a la variable X2, que hace referencia al acercamiento del rodillo cliché y rodillo de acero se debe regular a 0.05 mm, se establece un rango de trabajo con un valor mínimo de 0.03 mm y un valor máximo de 0.08 mm. La medición se realiza con un vernier (pie de rey), con una frecuencia de 4 veces por turno de trabajo de 8 horas (cada dos horas

desde el ingreso del turno), también en caso de arranque de línea y cambio de producto. La información extraída se ingresa en la base de datos o también llamada center line donde se registra la información relevante de cada línea convertidora, si la medición se encuentra fuera de rango, se debe comunicar al operador líder de la unidad para que proceda con el ajuste respectivo.

En el caso de la variable X3, que corresponde a la viscosidad de adhesivo de laminación se debe regular a 60 cps, se establece un rango de trabajo de +/-5 cps. La medición se realiza haciendo uso del viscosímetro, con una frecuencia de 4 veces por turno de trabajo de 8 horas (cada 2 horas desde el inicio del turno), también en caso de arranque de línea y cambio de producto. Los resultados son registrados en el center line de la unidad gofradora; sólo será ajustado cuando el valor supere los límites superior e inferior, se debe comunicar al operador auxiliar para que proceda con el ajuste respectivo de la viscosidad.

En cuanto a la variable X4, que hace referencia a la velocidad del rodillo anilox se debe regular a 50 m/min, se establece un rango de trabajo con un valor mínimo 40 m/min y un valor máximo de 68 m/min. La medición se realiza mediante un tacómetro láser digital, con una frecuencia de 3 veces por turno de trabajo de 8 horas (cada tres horas desde el ingreso del turno), también en caso de arranque de línea y cambio de producto. La información extraída se ingresa en la base de datos o también llamada center line donde se registra la información relevante de cada línea convertidora, si la medición se encuentra fuera de rango, se debe comunicar al operador líder de la unidad para que proceda con el ajuste respectivo.

Con el fin de monitorear las variables de entrada “X” (ver Figura 65), se implementó el formato de control estadístico haciendo uso de la herramienta gráfico de control para variables Xbarra-R.

FORMATO DE CONTROL ESTADÍSTICO PARA VARIABLES: X - R (PROMEDIO - RANGO)			
UNIDAD GOFRADORA			
Variable por medir:		Tipo de producto:	
Nombres del operador:		Código de Producto:	
Fecha:		Especificación:	
Turno:		Tamaño de muestra:	

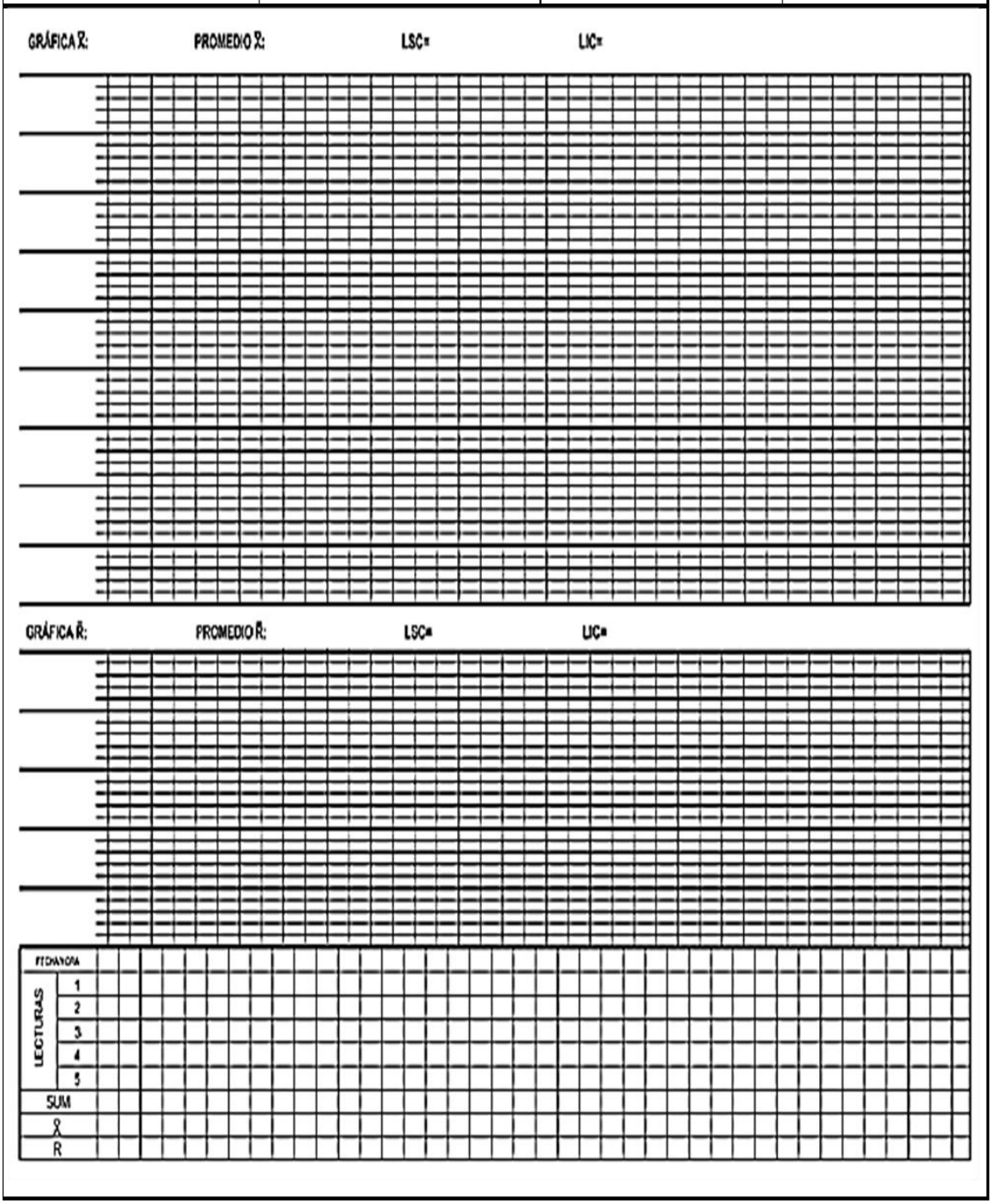


Figura 65. **Formato de Control Estadístico para las Variables "X"**

Fuente. Elaboración Propia

4.5.1.4.2. Control de Procesos de la variable "y"

El monitoreo de la variable "y" del proceso se realiza mediante la inspección visual de los rollos de papel tisú en la unidad gofradora, para ello se ha establecido un punto de muestreo. La frecuencia de inspección se realiza cada hora, esta actividad la ejecuta el inspector de calidad con el acompañamiento del operador de producción, ellos se encargan de contabilizar la cantidad de rollos de papel tisú defectuosos que presenten el modo de defecto sin laminación y del contómetro digital del equipo se obtendrá el número de rollos producidos en el lapso de una hora, dichos resultados serán registrados en el formato de control estadístico, para luego ser analizados estadísticamente.

Con el fin de monitorear la variable de salida "Y" (ver Figura 66), se implementó el formato de control estadístico haciendo uso de la herramienta gráfico de control para atributos P.

FORMATO DE CONTROL ESTADÍSTICO PARA ATRIBUTOS: P (PROPORCIÓN NO CONFORME)			
UNIDAD GOFRADORA			
Variable por medir:		Tipo de producto:	
Nombres del operador:		Código de Producto:	
Fecha y tunos		Especificación:	

Muestra	Unidades examinadas n_i	Unidades defectuosas np	Fracción defectuosos p	LSCi	LC	LICi
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						

Procedimiento:
Se aplica cuando no es posible tener uniforme el tamaño de la muestra.
1. El tamaño de muestra es variable.
2. El número de muestra es K > 25, preferible
3. El parámetro fundamental es la fracción de defectuosidad.
$P_i = \frac{C_i}{n_i}$
n_i = tamaño de cada una de las muestras, entonces en este gráfico se tienen límites distintos para cada muestra.
4. Obtener la fracción promedio $P = \frac{\sum P}{K}$
5. Calcular los límites:

para p >=0.05
LSC = p + 3√(p (1- p)/ni)
LIC = p - 3√(p (1- p)/ni)
para p <0.05
LSC = p + 3√(p/ni)
LSC = p - 3√(p/ni)
6. Graficar y valorar

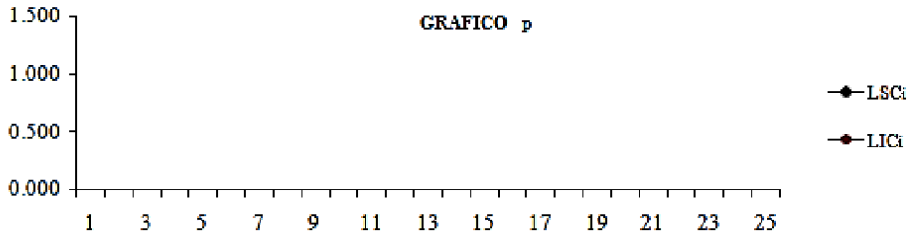


Figura 66. **Formato de Control Estadístico para la variable "Y"**

Fuente. Elaboración Propia

4.5.2. Conclusiones de las actividades del proyecto

Durante las actividades que formaban parte de la clausura del proyecto, el equipo dedicó tiempo a reflexionar sobre los logros alcanzados y determinar ciertos aspectos que podrían mejorarse. En conjunto con la gerencia de operaciones, se establecieron mecanismos de reconocimiento para motivar al equipo y fomentar un ambiente de aprendizaje continuo.

4.5.2.1. Evaluación del equipo

El objetivo principal de la evaluación del desempeño que se llevó a cabo al terminar el proyecto fue identificar oportunidades de crecimiento y fortalecer la comprensión de los estándares de desempeño y las expectativas de comportamiento dentro del equipo; esta evaluación consideró tanto los logros colectivos como las contribuciones individuales de cada miembro del equipo. Los criterios definidos por McCarty et al. (2004) sirvieron como marco de referencia para una evaluación cuantitativa del equipo, se elaboró un formato de evaluación de los principales criterios de evaluación y su respectiva escala de puntaje del 1 al 5 (ver Cuadro 40).

Tabla 39. **Formato de Evaluación del Equipo Six Sigma**

N°	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL CRITERIO	ESCALA DE PUNTUACIÓN (MARCA CON UNA X)				
			No cumple con el criterio	Cumple parcialmente con el criterio	Cumple de manera satisfactoria con el criterio	Cumple de manera sobresaliente con el criterio	Excede las expectativas
1	Compromiso con el proyecto	Demostración de interés y dedicación al proyecto. ¿Asistió a todas las reuniones? ¿Cumplió con los plazos establecidos?	1	2	3	4	5
2	Participación activa	Contribución regular y significativa a las reuniones y tareas. ¿Ofreció ideas? ¿Resolvió problemas?	1	2	3	4	5
3	Trabajo en equipo	Capacidad para colaborar con otros miembros del equipo y resolver conflictos. ¿Colaboró con otros? ¿Resolvió conflictos de manera constructiva?	1	2	3	4	5
4	Comunicación efectiva	Claridad y concisión en la comunicación tanto oral como escrita. ¿Expresó sus ideas de manera clara? ¿Escuchó activamente a los demás?	1	2	3	4	5
5	Cumplimiento de plazos	Entrega de tareas a tiempo y según lo establecido. ¿Entregó sus tareas a tiempo? ¿Cumplió con los estándares de calidad?	1	2	3	4	5
6	Adaptabilidad a los cambios	Capacidad para ajustarse a cambios en los objetivos o en el alcance del proyecto. ¿Se adaptó a los cambios de manera flexible? ¿Aceptó nuevas responsabilidades?	1	2	3	4	5
7	Toma de decisiones	Capacidad para tomar decisiones basadas en datos y análisis. ¿Tomó decisiones informadas? ¿Consideró todas las opciones?	1	2	3	4	5
8	Aplicación de herramientas Six Sigma	Dominio y uso efectivo de las herramientas y metodologías Six Sigma. ¿Utilizó correctamente las herramientas Six Sigma? ¿Demostró un buen entendimiento de la metodología?	1	2	3	4	5
9	Orientación a resultados	Enfoque en el logro de los objetivos del proyecto. ¿Contribuyó al logro de los objetivos del proyecto? ¿Midió el progreso de manera regular?	1	2	3	4	5
10	Creatividad e innovación	Capacidad para generar nuevas ideas y soluciones. ¿Ofreció nuevas ideas? ¿Pensó fuera de la caja?	1	2	3	4	5

Fuente. Elaboración Propia

Fueron principalmente los resultados los que funcionaron como un mecanismo de feedback o retroalimentación en los miembros del equipo, fomentando el desarrollo de habilidades tanto blandas como duras. A pesar de que el Champions y el Gerente de Producción son los responsables de la evaluación oficial del rendimiento del equipo, los datos obtenidos permitieron generar un espacio de diálogo abierto para abordar cuestiones como:

- ¿Se alcanzaron los objetivos del proyecto?
- ¿Fueron efectivas las reuniones?

- ¿Se realizaron contribuciones diversas por los integrantes del equipo?
- ¿Se logró una sólida comprensión de las complejidades del proceso?
- ¿Las decisiones se basaron en datos?
- ¿Se logró realizar los entregables en cada fase del DMAIC en todo el proyecto?

Los resultados se muestran a continuación:

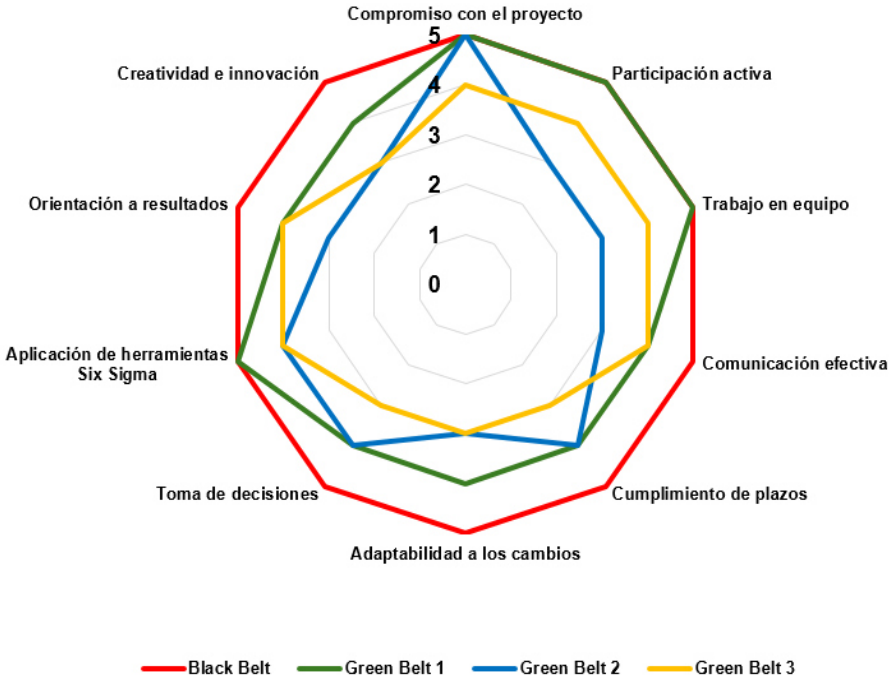


Figura 67. **Evaluación de competencias del equipo Six Sigma**

Fuente. Elaboración Propia

4.5.2.2. Cultura de Reconocimiento

Una vez comprobadas las mejoras derivadas del proyecto, los líderes de operaciones y de Recursos Humanos decidieron implementar un sistema de reconocimiento como estrategia para cultivar una cultura organizacional con enfoque en la mejora continua. Las recompensas y reconocimientos fueron:

- Curso y especializaciones en herramientas de mejora continua.
- Diploma de reconocimiento por los logros alcanzados en el proyecto.
- Vales de consumo y gift cards.
- Flexibilidad horaria ante urgencias o días libres previamente coordinado con su jefatura.
- Mención honorífica de los logros alcanzados en la revista informativa de la organización.

4.6. Validación de hipótesis

Es un procedimiento estadístico esencial que posibilita la evaluación de la coherencia entre una afirmación acerca de un fenómeno, comportamiento o característica de una población y los datos recabados de una muestra representativa. Este método conlleva la formulación de una hipótesis nula (H_0), que representa la ausencia de efecto o diferencia, y una hipótesis alternativa (H_1), que plantea la existencia de una modificación significativa. A través de las pruebas estadísticas y la utilización de niveles de significancia preestablecidos (0.05), se determina si los resultados observados pueden ser atribuidos de manera aleatoria o representan un fenómeno real.

4.6.1. Hipótesis General

Después de obtener los resultados mencionados, se llevó a cabo la prueba de normalidad multivariable para verificar si los datos recolectados previo y posterior a la implementación de la Metodología Lean Six Sigma siguen o no una distribución normal. Para ello se empleó el software estadístico Minitab y la prueba de Anderson Darling para corroborar las hipótesis siguientes:

- Si p es inferior a 0.05, los datos no se ajustan a una distribución normal (H_0).
- Si p es mayor a 0.05, los datos se ajustan a una distribución normal (H_1).

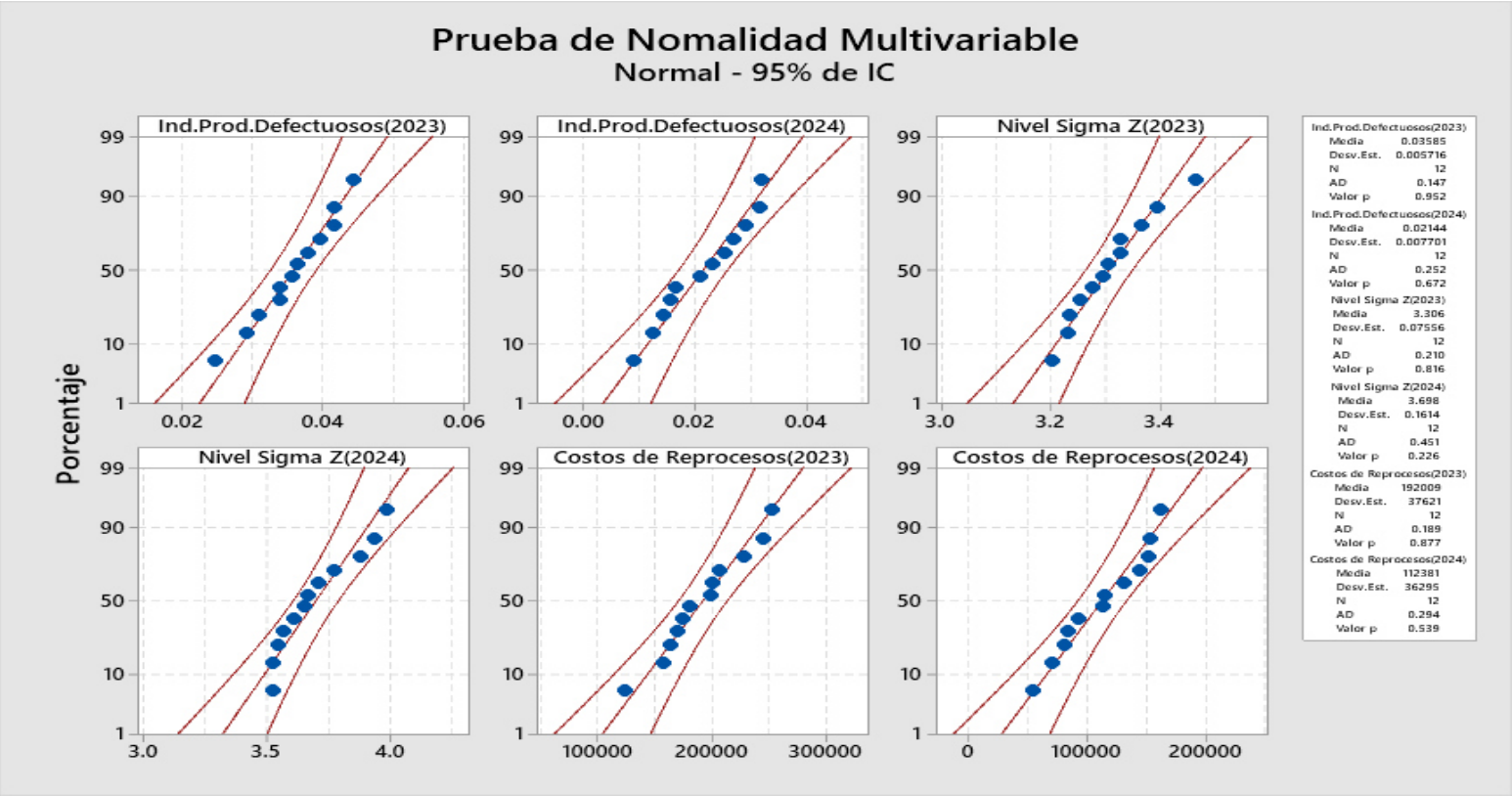


Figura 68. **Prueba de normalidad Multivariable**

Fuente. Elaboración Propia

Como se observa, la prueba de normalidad multivariable se realiza para cada variable estudiada en la investigación antes y después, los valores p es mayor que el nivel de significancia de 0.05; por ende, se procede afirmar que los datos siguen una distribución normal.

Una vez confirmado que existe una distribución normal de los datos, se llevó a cabo la prueba de hipótesis mediante la herramienta estadística análisis multivariado de varianza (MANOVA), el cual nos permitió evaluar si hay diferencias significativas en el antes y después, en más de una variable dependiente al ser evaluadas al mismo tiempo, luego de implementar el modelo Lean Six Sigma, que determinó la aceptación o rechazo de la hipótesis general, las cuales se presentan a continuación:

Hipótesis nula (H_0) = No existe una reducción significativa en los costos de la no calidad al implementar el modelo de gestión basado en la Metodología Lean Six Sigma.

Hipótesis Alternativa (H_1) = Existe una reducción significativa en los costos de la no calidad al implementar el modelo de gestión basado en la Metodología Lean Six Sigma.

A continuación, se muestra los resultados:

Pruebas MANOVA para Año

Criterio	Estadística de prueba	F	GL Núm	GL Denom	P
De Wilks	0.18078	30.210	3	20	0.000
Lawley-Hotelling	4.53148	30.210	3	20	0.000
De Pillai	0.81922	30.210	3	20	0.000
De Roy	4.53148				

s = 1 m = 0.5 n = 9

Figura 69. **Prueba MANOVA – Antes y después del proyecto**

Fuente. Elaboración Propia

Luego de haber evaluado el efecto de la implementación del modelo de gestión basado en la metodología Lean Six Sigma sobre tres indicadores claves de desempeño: el indicador de productos defectuosos, el Nivel Z (sigma) del proceso y los costos de reprocesos, comparando datos mensuales correspondientes a los años 2023 (antes de la mejora) y 2024 (después de la mejora). Los resultados muestran que todas las pruebas estadísticas aplicadas (criterios de Wilks, Lawley-Hotelling, Pillai y Roy) indican diferencias multivariadas altamente significativas entre los dos años. En

particular, el estadístico de Wilks ($\lambda = 0.18$) presenta un valor F de 30.21 con 3 y 20 grados de libertad y un valor $p < 0.05$, lo que indica que la probabilidad de que estas diferencias sean producto del azar es prácticamente nula. Este patrón se repite en los demás criterios: Lawley-Hotelling ($F = 30.21$, $p < 0.05$), Pillai ($V = 0.82$, $F = 30.21$, $p < 0.05$) y Roy ($F = 4.53$). En conjunto, estos resultados permiten rechazar la hipótesis nula de igualdad multivariada entre los grupos, concluyendo que la implementación del modelo Lean Six Sigma tuvo un efecto significativo en el conjunto de indicadores de desempeño, mejorando globalmente la calidad del proceso en la línea convertidora de papel tisú (L120). Se comprueba la hipótesis general: Existe una reducción significativa en los costos de la no calidad al implementar el modelo de gestión basado en la Metodología Lean Six Sigma.

4.6.2. Hipótesis Específicas

Para comprobar la hipótesis específica 1: "El indicador de productos defectuosos se reduce al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú". Como primer paso, se identificó el tipo de distribución de los datos, para ello se empleó el software estadístico Minitab y la prueba de Anderson Darling para corroborar las hipótesis siguientes:

- Si p es inferior a 0.05, los datos no se ajustan a una distribución normal (H_0).
- Si p es mayor a 0.05, los datos se ajustan a una distribución normal (H_1).

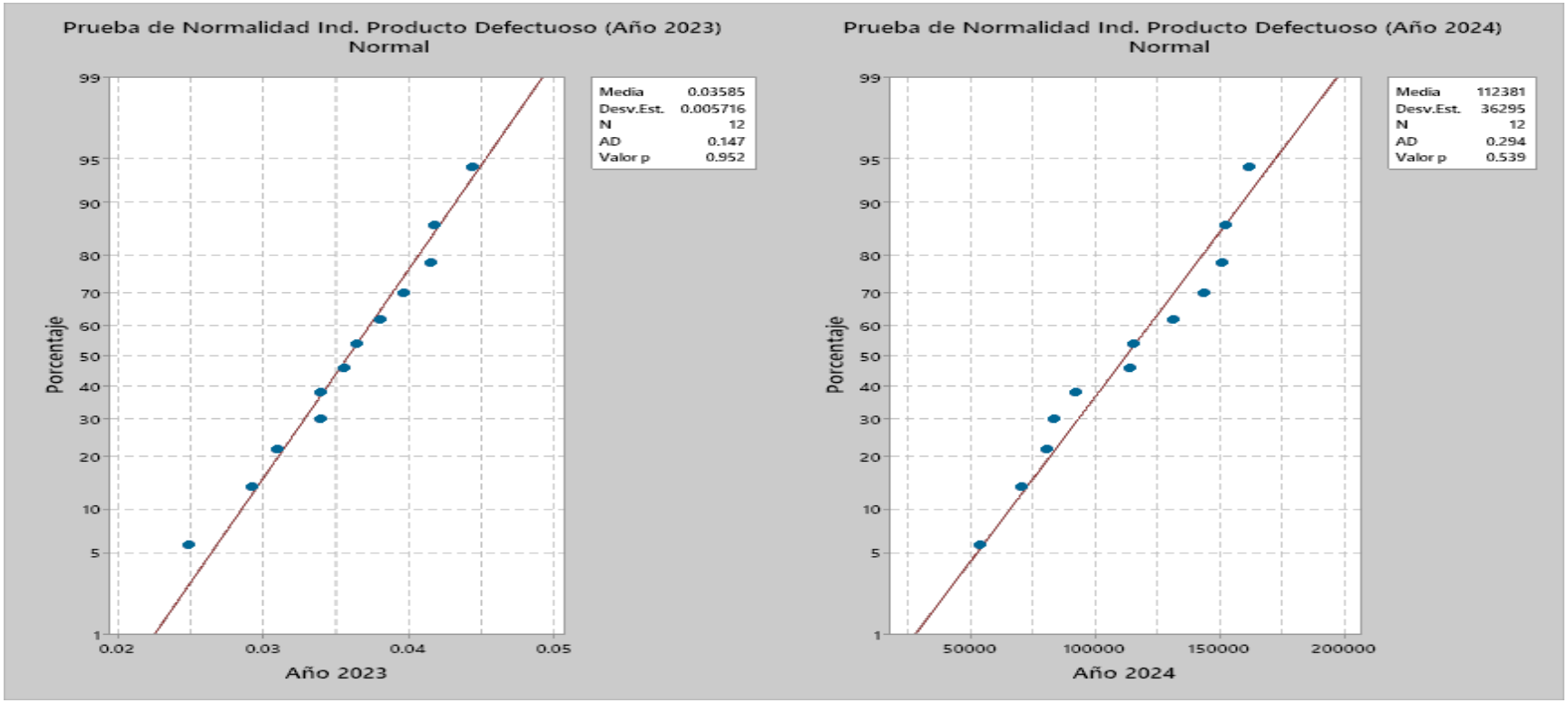


Figura 70. **Prueba de Normalidad -Indicador de Productos Defectuosos**

Fuente. Elaboración Propia

Como se observa, la prueba de normalidad en ambos casos alcanzó un valor p mayor que el nivel de significancia de 0.05; por ende, se procede afirmar que los datos siguen una distribución normal.

Una vez confirmado que existe una distribución normal de los datos, se llevó a cabo la prueba de hipótesis mediante la herramienta estadística Prueba t para muestras pareadas, debido a que se está comparando el indicador de productos defectuosos antes y después de implementar el modelo Lean Six Sigma, que determinó la aceptación o rechazo de las hipótesis planteadas, las cuales se presentan a continuación:

Hipótesis nula (H_0) = No existe una reducción significativa en el indicador de productos defectuosos al implementar la Metodología Lean Six Sigma.

Hipótesis Alternativa (H_1) = Existe una reducción significativa en el indicador de productos defectuosos al implementar la Metodología Lean Six Sigma.

A continuación, se muestra los resultados:

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Año 2023	12	0.03585	0.00572	0.00165
Año 2024	12	0.02144	0.00770	0.00222

Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior 95% para la diferencia_μ
0.01441	0.01071	0.00309	0.00886

diferencia_μ: media de (Año 2023 - Año 2024)

Prueba

Hipótesis nula	H_0: diferencia_μ = 0
Hipótesis alterna	H_1: diferencia_μ > 0

Valor T	Valor p
4.66	0.000

Figura 71. **Prueba t para muestras apareadas – Ind. Productos Defectuosos**

Fuente. Elaboración Propia

Se efectuó la prueba t pareada para evaluar el impacto de la implementación del modelo de gestión basado en la metodología Lean Six Sigma sobre el indicador de productos defectuosos. Se realizó la comparación entre los valores mensuales registrados durante el año 2023 (antes de la intervención) con los correspondientes del año 2024 (posteriores a la implementación). Los resultados mostraron una disminución promedio del indicador de productos defectuosos en 1.44%, con una diferencia significativa (T = 4.66, gl = 11, p = 0.000). Dado que el valor-p resultó ser 0.000 inferior al nivel de significancia establecido (0.05), se concluye que: Existe una reducción significativa en el indicador de productos defectuosos al implementar la Metodología Lean Six Sigma.

Para comprobar la hipótesis específica 2: "La variabilidad del proceso mejora al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú.". Como primer paso, se identificó el tipo de distribución de los datos, para ello se empleó el software estadístico Minitab y la prueba de Anderson Darling para corroborar las hipótesis siguientes:

- Si p es inferior a 0.05, los datos no se ajustan a una distribución normal (H_0).
- Si p es mayor a 0.05, los datos se ajustan a una distribución normal (H_1).

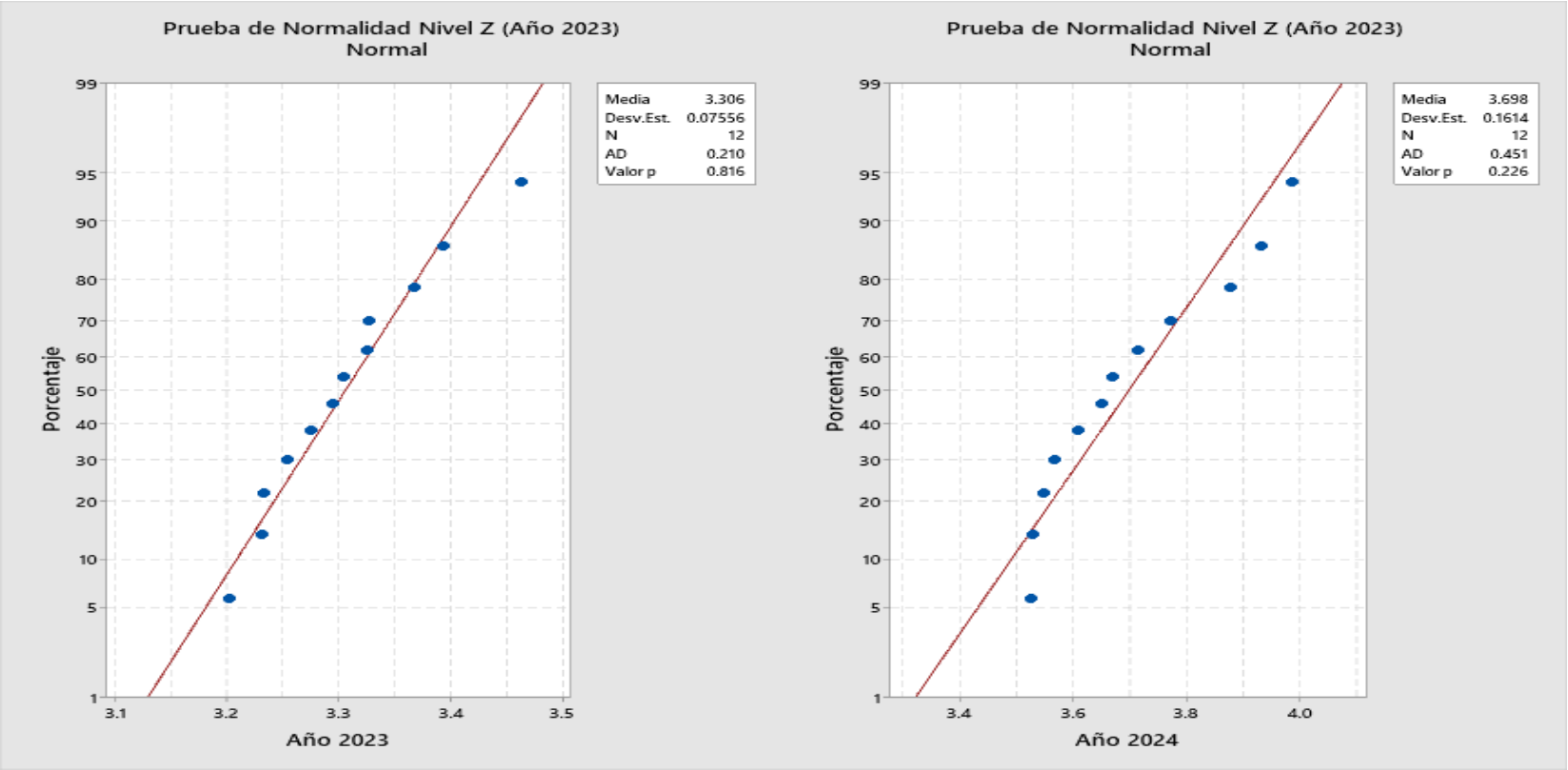


Figura 72. **Prueba de Normalidad – Capacidad del proceso (Cp)**

Fuente. Elaboración Propia

Como se observa, la prueba de normalidad en ambos casos alcanzó un valor p mayor que el nivel de significancia de 0.05; por ende, se procede afirmar que los datos siguen una distribución normal.

Una vez confirmado que existe una distribución normal de los datos, se llevó a cabo la prueba de hipótesis mediante la herramienta estadística Prueba t para muestras pareadas, debido a que se está comparando el Nivel Z antes y después de implementar el modelo Lean Six Sigma, que determinó la aceptación o rechazo de las hipótesis planteadas, las cuales se presentan a continuación:

Hipótesis nula (H_0) = No existe una mejora significativa en la capacidad del proceso al implementar la Metodología Lean Six Sigma.

Hipótesis Alternativa (H_1) = Existe una mejora significativa en la capacidad del proceso al implementar la Metodología Lean Six Sigma.

A continuación, se muestra los resultados:

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Año 2023	12	3.3057	0.0756	0.0218
Año 2024	12	3.6978	0.1614	0.0466

Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para la diferencia_μ
-0.3921	0.1848	0.0533	-0.2963

diferencia_μ: media de (Año 2023 - Año 2024)

Prueba

Hipótesis nula	H_0: diferencia_μ = 0
Hipótesis alterna	H_1: diferencia_μ < 0

Valor T	Valor p
-7.35	0.000

Figura 73. **Prueba t para muestras apareadas – Nivel Z**

Fuente. Elaboración Propia

Se efectuó la prueba t pareada para evaluar el impacto de la implementación del modelo de gestión basado en la metodología Lean Six Sigma sobre la variabilidad del proceso. Se realizó la comparación entre los valores mensuales registrados durante el año 2023 (antes de la intervención) con los correspondientes del año 2024 (posteriores a la implementación). Los resultados mostraron una mejora promedio del Nivel Z (variabilidad) en 0.39, con una diferencia significativa (T = -7.35, gl = 11, p = 0.000). Dado que el valor-p resultó ser 0.000 inferior al nivel de significancia establecido (0.05), se concluye que: Existe una mejora significativa en la variabilidad del proceso al implementar la Metodología Lean Six Sigma.

Para comprobar la hipótesis específica 3: “Los costos de reprocesos se reducen al aplicar la Metodología Lean Six Sigma, en convertidoras de papel tisú.”. Como primer paso, se identificó el tipo de distribución de los datos, para ello se empleó el software estadístico Minitab y la prueba de Anderson Darling para corroborar las hipótesis siguientes:

- Si p es inferior a 0.05, los datos no se ajustan a una distribución normal (H_0).
- Si p es mayor a 0.05, los datos se ajustan a una distribución normal (H_1).

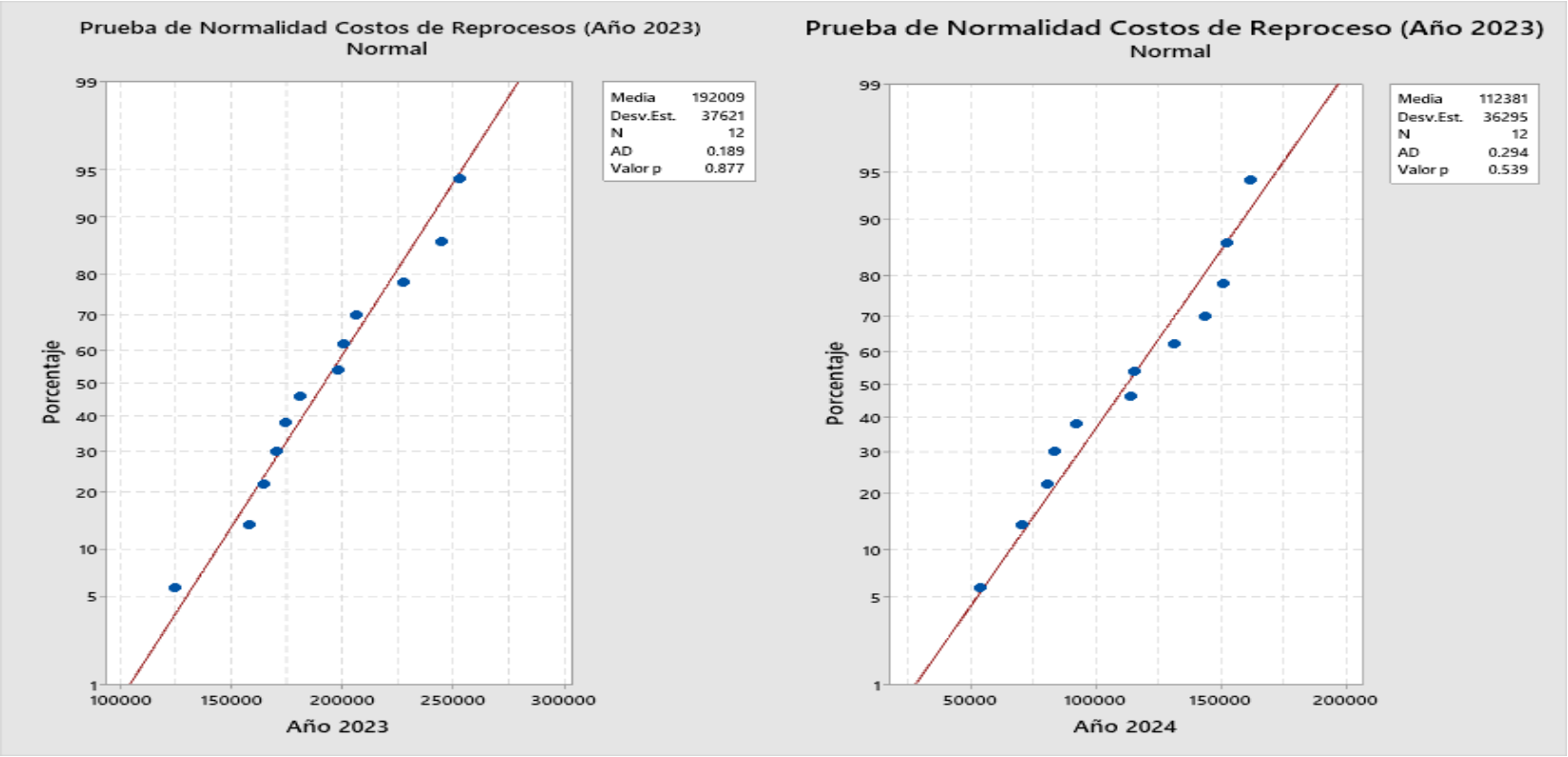


Figura 74. **Prueba de normalidad – Costos de Reprocesos**

Fuente. Elaboración Propia

Como se observa, la prueba de normalidad en ambos casos alcanzó un valor p mayor que el nivel de significancia de 0.05; por ende, se procede afirmar que los datos siguen una distribución normal.

Una vez confirmado que existe una distribución normal de los datos, se llevó a cabo la prueba de hipótesis mediante la herramienta estadística Prueba t para muestras pareadas, debido a que se está comparando los costos de reprocesos antes y después de implementar el modelo Lean Six Sigma, que determinó la aceptación o rechazo de las hipótesis planteadas, las cuales se presentan a continuación:

Hipótesis nula (H_0) = No existe una reducción significativa en los costos de reprocesos al implementar la Metodología Lean Six Sigma.

Hipótesis Alternativa (H_1) = Existe una reducción significativa en los costos de reprocesos al implementar la Metodología Lean Six Sigma.

A continuación, se muestra los resultados:

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Antes(Año 2023)	12	192009	37621	10860
Después(Año 2024)	12	112381	36295	10477

Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite inferior 95% para la diferencia_μ
79628	66387	19164	45211

diferencia_μ: media de (Antes(Año 2023) - Después(Año 2024))

Prueba

Hipótesis nula	H_0: diferencia_μ = 0
Hipótesis alterna	H_1: diferencia_μ > 0

Valor T	Valor p
4.16	0.001

Figura 75. **Prueba t para muestras apareadas – Costos de Reprocesos**

Fuente. Elaboración Propia

Se efectuó la prueba t pareada para evaluar el impacto de la implementación del modelo de gestión basado en la metodología Lean Six Sigma sobre los costos de reprocesos. Se realizó la comparación entre los valores mensuales registrados durante el año 2023 (antes de la intervención) con los correspondientes del año 2024 (posteriores a la implementación). Los resultados mostraron una disminución promedio de los costos de S/ 79 628, con una diferencia significativa ($T = 4.16$, $gl = 11$, $p = 0.001$). Dado que el valor-p resultó ser 0.001 inferior al nivel de significancia establecido (0.05), se concluye que: Existe una reducción significativa en los costos de reprocesos al implementar la Metodología Lean Six Sigma.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

a) Se determinó que existe una fuerte influencia en la reducción del indicador de productos defectuosos al aplicar la Metodología Lean Six Sigma en la línea convertidora L120, se logró reducir el indicador de productos defectuosos de 3.58% obtenido en el año 2023 a 2.11% al cierre del proyecto del año 2024, en la unidad gofradora donde se generó la mayor proporción de productos defectuosos se logró reducir el indicador de 3.00% obtenido en el año 2023 a 1.7% al cierre del año 2024.

b) Al ejecutar la implementación de la Metodología Lean Six Sigma se determinó que existe una fuerte influencia en la reducción de la variabilidad del proceso, logrando una reducción del PPM de los rollos defectuosos de 35 809 (año 2023) a 6 473 al cierre del proyecto año 2024, además el nivel Z sigma en la fabricación de los rollos de papel tisú se incrementó de 3.38 (año 2023) a 4.24 a diciembre del año 2024 después de la implementación de las oportunidades de mejora.

c) Cada fase de la Metodología Lean Six Sigma se culminó de forma exitosa, el cual ayudó a determinar que hay una gran influencia en la reducción del costo de reproceso, de enero a diciembre del año 2023 el costo de reproceso fue de S/ 2 248 667, al cierre del proyecto se ha obtenido un costo de reproceso para el año 2024 de S/ 1 347 432, logrando una reducción del 40% con respecto al

año 2023 equivalente a S/ 901 236; donde se convierte este monto en un beneficio de rentabilidad para la empresa.

d) La Implementación del Modelo de Gestión basado en la Metodología Lean Six Sigma influye considerablemente en la reducción de los costos de la no calidad en la línea convertidora L120, para el éxito de esta se siguió y ejecutó cada fase de la metodología con sus respectivos entregables. Se comprobó la hipótesis general haciendo uso del análisis multivariado de varianza (MANOVA), se obtuvo como resultado valores-p iguales a 0.000 en los cuatro criterios multivariados (Wilks, Lawley-Hotelling, Pillai y Roy); por lo tanto, se rechazó la hipótesis nula de que no hubo diferencias entre los años 2023 y 2024 (antes y después de la implementación del modelo), con valores p menores a 0.05.

5.2. Recomendaciones

a) Debido el gran impacto positivo que se ha demostrado en la reducción del porcentaje de productos defectuosos, se propone extender el Modelo de Gestión enfocado en la Metodología Lean Six Sigma a las otras líneas convertidoras de la planta y filiales tanto a nivel nacional como internacional. La aplicación del modelo de gestión en la línea convertidora ha mostrado una mejora significativa, reduciendo el porcentaje de defectos de manera sustancial; para maximizar los beneficios es muy valioso establecer un sistema continuo de monitoreo y mejora en todas las áreas operativas, fomentando una cultura de mejora continua. Además, se sugiere que se realicen entrenamientos adicionales para el personal en técnicas de Lean Six Sigma, lo que contribuiría a una mayor eficiencia y calidad a largo plazo.

b) Para maximizar el impacto de los logros obtenidos, se recomienda que la organización adopte Lean Six Sigma como una herramienta esencial de análisis en cada etapa de la cadena de valor y así identificar posibles áreas de mejora continua. En función a los resultados de la investigación, la reducción de la variabilidad y el incremento en el nivel Z sigma en la línea convertidora N°120,

se debe expandir el uso de esta metodología a otros procesos productivos y administrativos. No es suficiente que la adopción de Lean Six Sigma se limite a mejoras puntuales, sino que debe ser parte de la cultura organizacional, impulsando una mentalidad de mejora continua y eficiencia en todos los niveles operativos. Se sugiere la creación de un programa interno de innovación y excelencia operativa, donde se fomente la colaboración de equipos multidisciplinarios, se sigan usando herramientas de análisis avanzadas, y se logre la integración de Lean Six Sigma en cada decisión estratégica.

c) Se recomienda que la empresa adopte una estrategia integral de reinversión de ahorros, teniendo en cuenta la significativa disminución de los costos de reprocesamiento alcanzados por el uso efectivo de las fases del DMAIC. Los S/ 901,236 de ahorro no solo deben considerarse como una mejora puntual, sino como una oportunidad estratégica para financiar nuevas iniciativas de innovación, expandir la capacidad productiva y fortalecer la infraestructura tecnológica. Se debe considerar la creación de un fondo de innovación y mejora continua que permita invertir estos ahorros en proyectos que potencien aún más la eficiencia operativa y la calidad, como en la implementación de tecnología avanzada, capacitación continua para los colaboradores y proyectos para automatizar los procesos manuales. Además, para garantizar que esta mejora se mantenga a largo plazo, se recomienda establecer un comité estratégico de Lean Six Sigma, compuesto por líderes de diversas áreas, para impulsar la cultura de excelencia operativa en toda la organización, alineando los objetivos de la empresa con la mejora continua y la sostenibilidad en la rentabilidad.

d) Se recomienda que la empresa adopte un enfoque estratégico y de transformación a largo plazo, estableciendo el Lean Six Sigma como piedra angular de su estrategia de competitividad, dado el éxito alcanzado con la adopción del modelo de gestión basado en el Lean Six Sigma. Para ello, la metodología debe integrarse en todos los aspectos de la empresa y no solo en las áreas productivas, sino también debe incluirse en la gestión de la cadena de abastecimiento, el marketing, los recursos humanos y la innovación; con el objetivo de crear una organización ágil, eficiente y altamente competitiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, A. (2010). Aplicación de la metodología seis sigmas para mejorar la capacidad de proceso de la variable nivelación vertical en la aplicación de pintura (fondos) de una ensambladora de vehículos (tesis de maestría), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Arguelles, J. (2018). Proyectos seis sigmas: el camino a la excelencia operacional. Potosí. Colombia: Editorial Reverté.

Augusto, C. (2021). Un enfoque Lean Six Sigma en una fábrica de ladrillos suelo-cemento para viviendas sociales. Para optar el grado de Magister en Ingeniería Civil, Universidad Estatal de Campinas, Brasil.

Barahona L. y Navarro J. (2013). Mejora del proceso de galvanizado en una empresa manufacturera de alambres de acero aplicando la metodología Lean Six Sigma. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Industrial, Pontificia Universidad Católica del Perú.

Barragán, F. (2015). Implementación de la metodología DMAIC de lean seis sigmas para la reducción de desperdicios en el quirófano de un hospital privado de San Luis Potosí. (Tesis de maestría), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Potosí, Bolivia.

Bonilla E., Diaz B., Kleeverg F. y Noriega M. (2010). Mejora continua de los procesos: herramientas y técnicas, primera edición. Fondo editorial de la Universidad de Lima, Perú.

Carlos Valdivia. (2013). Diagnóstico y Propuestas de Mejora de Procesos empleando la Metodología Six-Sigma para una Fábrica de Mantenimiento y Reposición de Mobiliario para Supermercados y Tiendas Comerciales. PERU: PUCP.

Delgado, E. (2015). Propuesta de un plan para la reducción de la merma utilizando la metodología Six Sigma en una planta de productos plásticos. Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Industrial con mención en Gestión de Operaciones, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

Down, Kerkstra, Cvetkovski and Benham (2005). Manual Estadístico de Procesos. EE. UU: AIAG.

Escalante, V. E. (2ª ed.). (2016). Seis-Sigma: Metodología y técnicas. México: Limusa.

Estrada J. (2015). Diseño de investigación de implementación de la metodología Design For Six Sigma (DFSS), en la formulación del proceso abrasivo enzimático requerido en el lavado industrial de DENIM. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Químico, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Facho, G. (2017). Mejora de procesos en una empresa textil exportadora mediante la metodología Six Sigma. Para optar el Título Profesional de Ingeniería Textil y Confecciones, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

Forrest, W. B. (2ª ed.). (2003). Implementing six sigma: smarter solutions using statistical methods. New Jersey, USA: John Wiley & Sons.

Fortunio, R. (2019). Aplicación de metodología Six sigma hasta fase de mejora para la reducción de variación de espesor en la producción de láminas de vinil en empresa de autopartes. Para obtener el grado de Maestría en Ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.

González, D. (2021). Estudio para reducción de porcentaje de desperdicio (merma) en el proceso de soplado de una manufacturera de envases plásticos aplicando Lean Six Sigma. Para optar el grado de Maestría en Producción y Operaciones Industriales, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Gutiérrez H. y De la Vara R. (2013). Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma, Tercera edición. Editorial Mc Graw-Hill, México.

Hahn, G. J., Hill, W. J., Hoerl, R. W. y Zinkgraf, S. A (1999) The impact of Six Sigma improvement – A glimpse into the future of statistics. The American Statistician. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/279939917_The_impact_of_Six_ Sigma_Improvement-a_glimpse_into_the_future_of_statistics.

Harry, M. Ph. y Schroeder, R. (2000). Six Sigma: The breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations. New York: Random House Inc.

Lean Solutions (2017). ¿Qué es Six Sigma? Recuperado de http://www.leansolutions.co/conceptos/que-es-six-sigma/.

Maldonado, M. (2021). Propuesta para la disminución del indicador de merma en inventario de producto tercerizado en la Empresa Decoraciones Davids SAS utilizando herramientas de la metodología Lean Six Sigma. Para optar al Título de Ingeniería Industrial, Universidad de la Salle, Colombia.

Mallqui, L. (2018). Aplicación de la metodología Six Sigma para reducir la merma de Scrap en el proceso de fabricación de sacos de polipropileno. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

Martínez, C. M. (2012). Implementación de la metodología Six Sigma para la reducción de merma de PVC y PET en el proceso de sellado de blíster con tarjeta (tesis de grado). Recuperado de https://repositorio.itesm.mx/handle/11285/628621?locale-attribute=es.

Moscoso, Ch. J. y Yalan, R. A. (2015). Mejora de la calidad en el proceso de fabricación de plásticos flexibles utilizando Six Sigma (tesis de grado). Recuperado de http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/handle/usmp/1471.

Nieto. A. (2014). Implementación de la metodología seis sigmas para el mejoramiento continuo del proceso de venta de servicios tecnológicos y comunicacionales en Ecuadortelecom S.A. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil. Ecuador.

Pacheco, D., & Gómez, J. (2022). Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para el incremento de la productividad del proceso de envasado de cilindros de gas licuado de petróleo. Para optar el grado de Magister en Producción y Operaciones Industriales, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Pande, P. S. y Holpp, L. (2002). ¿Qué es Seis Sigma? España: McGraw-Hill Profesional

Pascual E. (2009). Mejora de procesos en una imprenta que realiza trabajos de impresión Offset empleando Six Sigma. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Industrial, Pontificia Universidad Católica del Perú.

Paz, R. J. (2016). Estudio de prefactibilidad sobre la implementación de la metodología Lean Six Sigma para la mejora del proceso de fabricación de zunchos de polipropileno en una empresa del rubro de embalaje (tesis de grado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Reinoso, G. (2016). Propuesta de mejora para la reducción de productos defectuosos en una planta de producción de neumáticos aplicando la metodología Six Sigma. Tesis para optar el Grado de Magister en Ingeniería Industrial con mención en Gestión de Operaciones, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

Rueda. L. (2007). Aplicación de la metodología seis sigmas y lean manufacturing para la reducción de costos, en la producción de jeringas hipodérmicas desechables. (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional. México.

Socconini, L. y Reato, C. (2019). Lean Six Sigma: Sistema de gestión para liderar empresas. Barcelona. Editorial: Marge Books.

Tennant G. (2001). Six Sigma: Control estadístico del proceso y administración total de la calidad en manufactura y servicios. Editorial Panorama, México.

Thomas McCarty, Michael Bremer, Lorraine Daniels, y Praveen Gupta (2004). Six Sigma Black Belt Handbook. EEUU: McGraw-Hill.

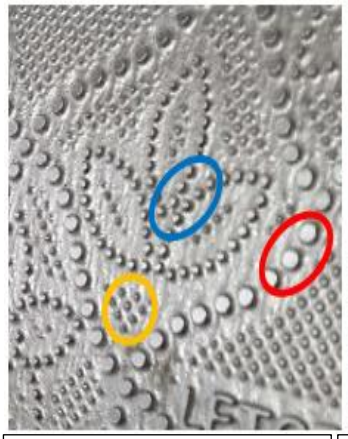
Valderrey, S. P. (2011). Seis Sigma: Fundamentos, fases y herramientas. España: Starbook Editorial.

ANEXOS

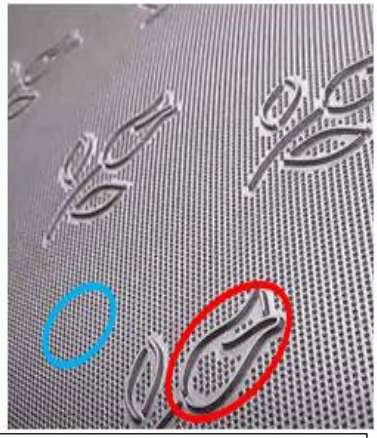
Anexo 1. **Características de los rodillos de acero**

Los rodillos de acero, que tienen en su superficie un grabado en alto relieve y tiene las siguientes características principales.

Altura de los grabados



Grabado en 3 alturas

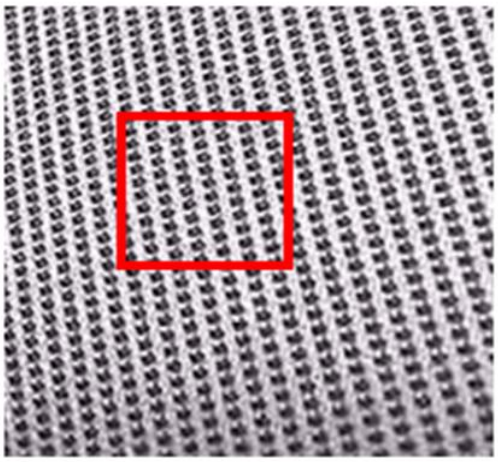


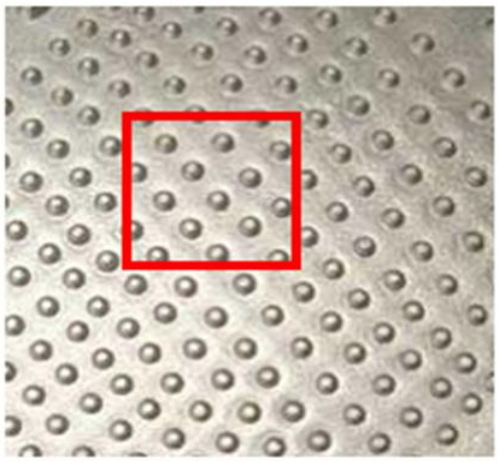
Grabado en 2 alturas



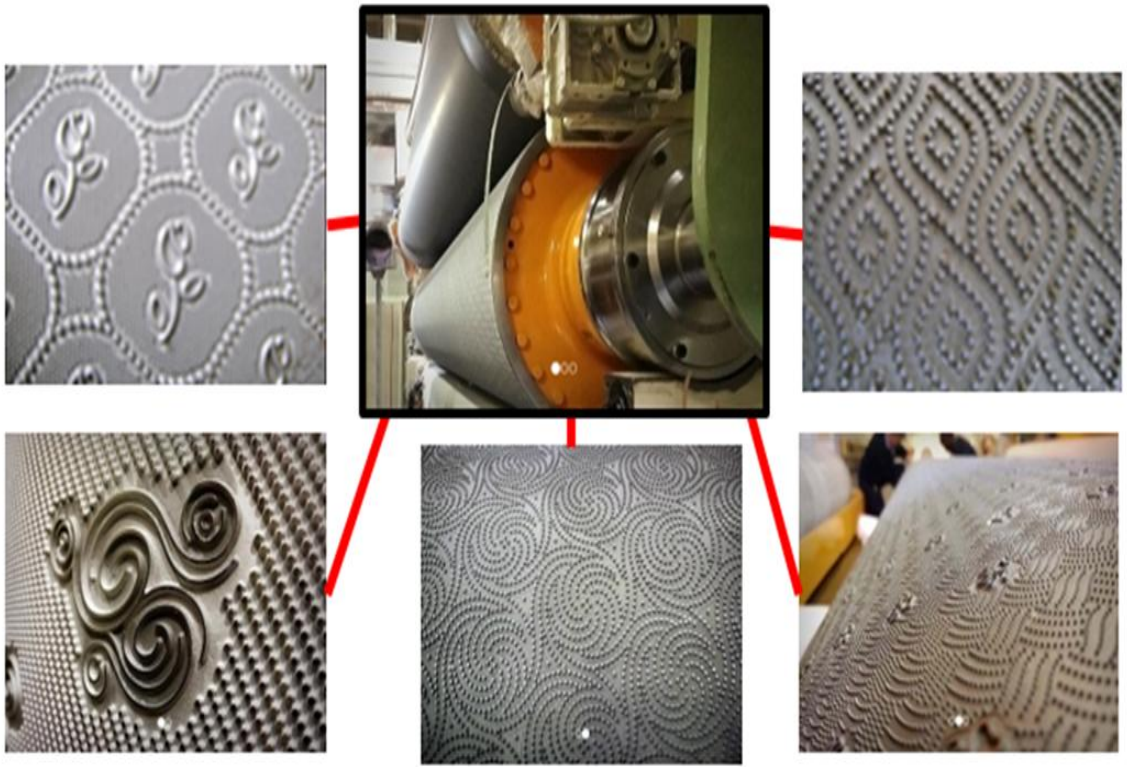
Grabado en 1 altura

Densidad de los puntos (Puntos x cm2)

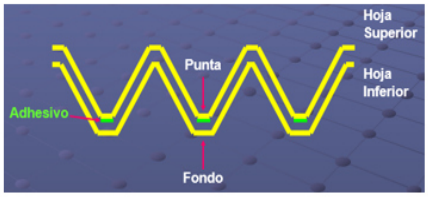
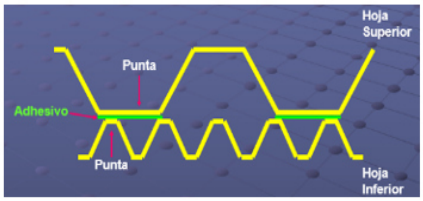
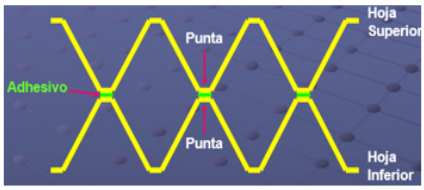




Anexo 2. **Diseño del grabado de los rodillos de acero**



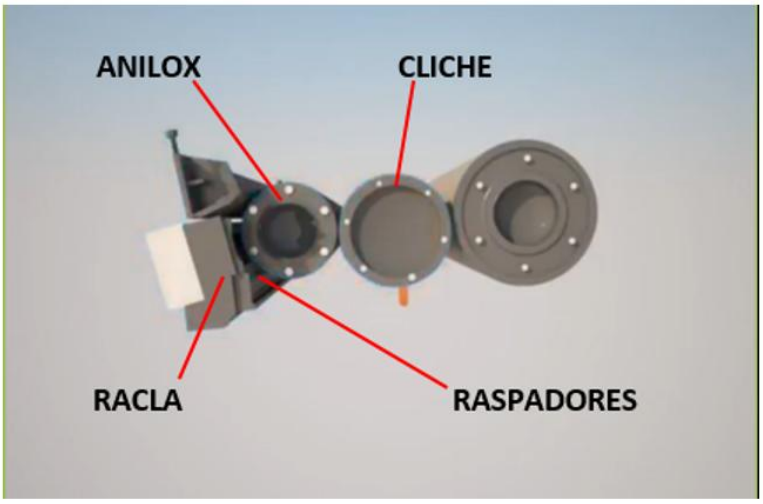
Anexo 3. **Tipos de gofrado**

	NESTED (DESL) Sistema de gofrado donde las puntas de uno de los rodillos encaja entre las puntas del otro rodillo.
	GOFRAENCOLA (GIC) Sistema de gofrado donde las puntas de los rodillos no tienen ninguna coincidencia ni relación entre sí.
	PUNTA – PUNTA (TTT) Sistema de gofrado donde las puntas del rodillo superior están en contacto con las puntas del rodillo inferior.

Anexo 4. **Aplicación de adhesivo**

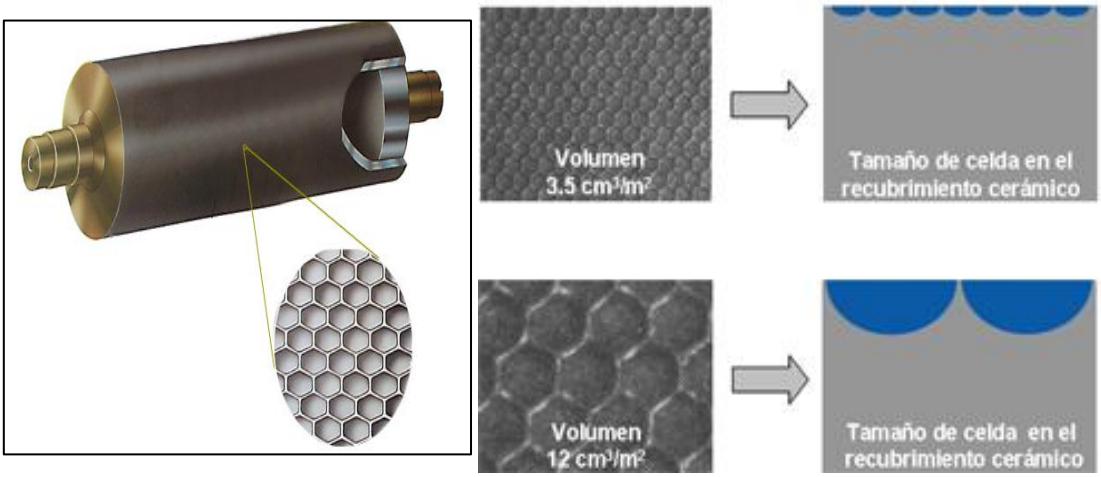
En la aplicación de adhesivo intervienen los siguientes elementos:

- Racla; Cámara sellada que contiene el adhesivo.
- Raspadores; Láminas de acero inoxidable.
- Rodillo Anilox; Rodillo con celdas microscópicas en las cuales traslada adhesivo.
- Rodillo Cliche; Rodillo de goma lisa paralelo en toda su superficie.

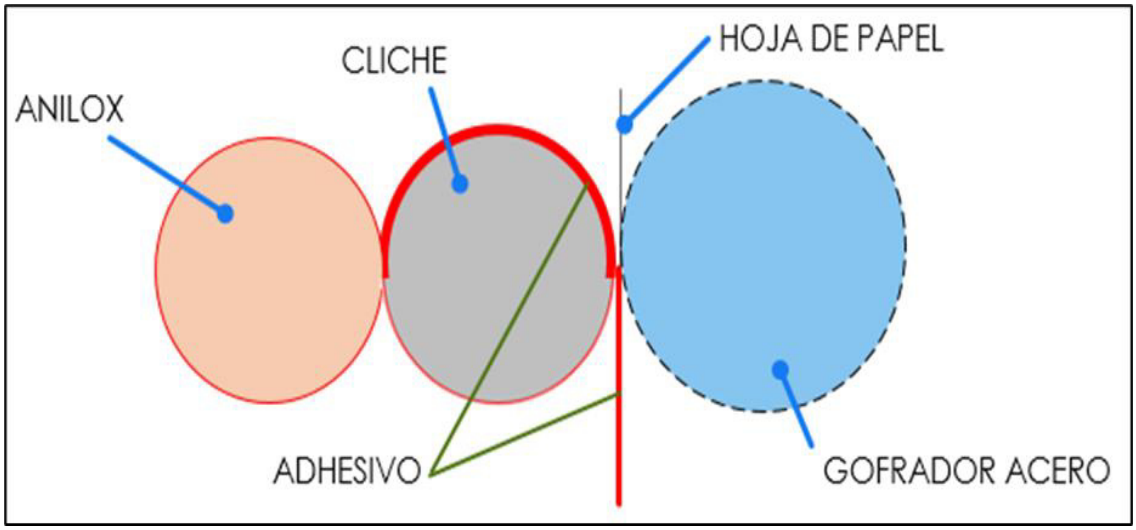


Anexo 5. **Rodillo anilox y su principal característica**

El anilox es un rodillo recubierto de cerámico cuya principal característica es su superficie el cual cuenta con micro celdas que se encargarán de transportar el adhesivo, ya que esta determina la cantidad de adhesivo que puede transportar.

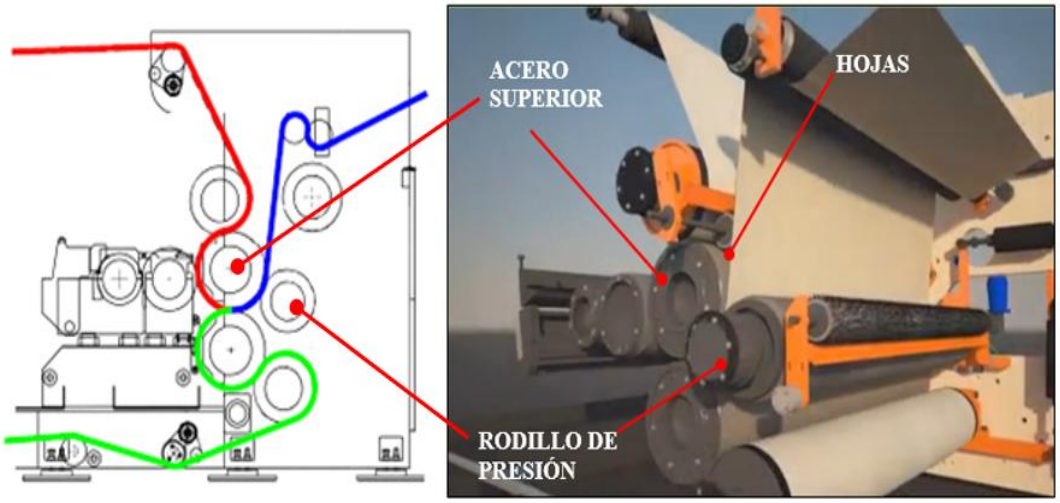


Anexo 6. **Puntos de contacto entre los rodillos**



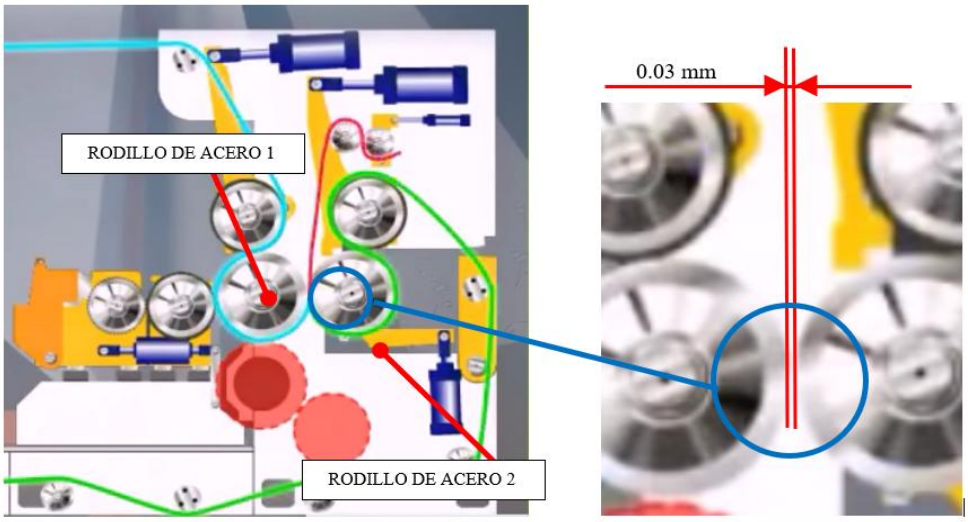
Anexo 7. **Sistema de gofrado GOFRAENCOLA (GIC) – Proceso tradicional**

Este proceso se hace por medio del rodillo de presión, también llamado rodillo boda; este rodillo presionara ligeramente las hojas contra el rodillo de acero superior para que se adhieran entre ellas.

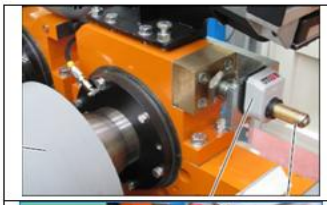
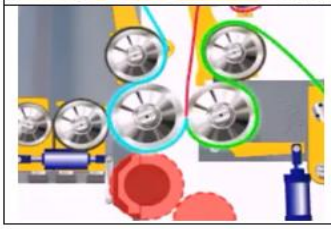


Anexo 8. **Sistema de gofrado PUNTA A PUNTA (TTT) – Proceso actual**

Este método se realiza mediante la aproximación de los rodillos de acero, es decir, los rodillos de acero se regulan con una aproximación de 2 o 3 centésimas de milímetro, esta proximidad hace que al pasar las hojas entre los rodillos se unan.



Anexo 9. **Regulación en la aplicación del adhesivo**

	REGULACIÓN ANILOX – CLICHE Regulamos con una laina de 0,1 mm para aproximar los rodillos y asegurarnos de que estén paralelos. Luego aproximar intercaladamente entre lado mando y accionamiento hasta que el cliche esté completamente cubierto de adhesivo.
	REGULACIÓN CLICHE – ACERO La distancia a la que debe quedar el cliche del acero es entre 0,1 mm y 0,07 mm En algunas máquinas primero se calibra a 0,3 mm y en otras directamente con una laina de 0,1 mm
	REGULACIÓN BODA – ACERO La distancia entre estos rodillos deberá ser entre 0.02 y 0,03 milímetros. Otra forma de regular es arrancar la máquina, retirar el polín boda e ir aproximándolo hasta que una las 2 hojas estén ligeramente.
	REGULACIÓN PUNTA – PUNTA La distancia entre los rodillos de acero debe ser de 0,03 mm para toalla.