

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**Aplicación de metodología DMAIC para reducir las utilidades no
percibidas por rollos sin compactar en empresa papelera**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

AUTOR

Maycol Yhonatan Soto Chavez

ASESOR

Ana Maria Caballero Garcia

<https://orcid.org/0000-0003-3452-9204>

Chiclayo, 2026

**Aplicación de metodología DMAIC para reducir las utilidades no
percibidas por rollos sin compactar en empresa papelera**

PRESENTADA POR

Maycol Yhonatan Soto Chavez

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO INDUSTRIAL

APROBADA POR

Edward Florencio Aurora Vigo

PRESIDENTE

Danny Adolfo Bustamante Sigüeñas

SECRETARIO

Ana Maria Caballero Garcia

VOCAL

Aplicación de metodología DMAIC para reducir las utilidades no percibidas por rollos sin compactar en empresa papelera.

INFORME DE ORIGINALIDAD

4 %	4 %	1 %	1 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1 %
2	Submitted to ITESM: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Trabajo del estudiante	<1 %
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
4	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
5	Submitted to Universidad Tecnológica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
6	vdocumento.com Fuente de Internet	<1 %
7	prcr.cobimet.org Fuente de Internet	<1 %
8	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Índice

Resumen.....	5
Abstract.....	6
Introducción	7
Revisión de literatura.....	9
Materiales y métodos.....	14
Resultados y discusión.....	16
Conclusiones	43
Recomendaciones.....	45
Referencias.....	46
Anexos	51

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo reducir las utilidades no percibidas mediante la mejora del proceso de conversión de papel higiénico institucional en una empresa del sector papelerero. El diagnóstico inicial, correspondiente a las fases Definir, Medir y Analizar, permitió identificar un problema crónico de calidad en la línea de conversión, evidenciado por un promedio de 5,3 quejas mensuales durante los últimos trece meses y pérdidas acumuladas de S/ 34 782, clasificadas como utilidades no percibidas bajo el enfoque de costos de la mala calidad (COPQ). Para caracterizar la situación se utilizaron herramientas como 5W2H, SIPOC y Project Charter, identificándose como factores críticos del proceso la velocidad de rebobinado, la presión del rodillo de goma, el diámetro de la polea reguladora y la viscosidad de la goma, los cuales fueron validados mediante pruebas de hipótesis y análisis de regresión múltiple. Posteriormente, en las fases Mejorar y Controlar de la metodología DMAIC, se aplicó un diseño factorial completo que permitió optimizar los parámetros operativos, reduciendo el porcentaje de rollos sin compactar de 3,70 % a 0,20 % y, con ello, las utilidades no percibidas. Finalmente, la evaluación económica evidenció una reducción de la utilidad no percibida en S/ 71 259,37, con una relación beneficio/costo de 1,39, un retorno sobre la inversión (ROI) de 74,7 %, un periodo de recuperación de 11,88 meses, un valor actual neto (VAN) de S/ 40 648 y una tasa interna de retorno mensual (TIR) de 10 %, por lo que se concluye que la propuesta de mejora del proceso productivo resultó técnica y económicamente viable.

Palabras clave: COPQ, Diseño de Experimentos (DOE), DMAIC, rollos sin compactar, Six Sigma, utilidades no percibidas.

Abstract

The present research aimed to reduce unrealized profits by improving the conversion process of institutional toilet paper in a paper industry company. The initial diagnosis, corresponding to the Define, Measure and Analyze phases, revealed a chronic quality problem in the conversion line, evidenced by an average of 5.3 customer complaints per month over the last thirteen months and accumulated losses of S/ 34,782, classified as unrealized profits under the Cost of Poor Quality (COPQ) approach. To characterize the situation, tools such as 5W2H, SIPOC and the Project Charter were used, identifying as critical process factors the rewinding speed, rubber roll pressure, regulating pulley diameter and glue viscosity, which were validated through hypothesis testing and multiple regression analysis. Subsequently, in the Improve and Control phases of the DMAIC methodology, a full factorial design was applied to optimize the operating parameters, reducing the percentage of uncompacted rolls from 3.70% to 0.20% and, consequently, the unrealized profits. Finally, the economic evaluation showed a reduction in unrealized profits of S/ 71,259.37, with a benefit–cost ratio of 1.39, a return on investment (ROI) of 74.7%, a payback period of 11.88 months, a net present value (NPV) of S/ 40,648 and a monthly internal rate of return (IRR) of 10%. Therefore, it is concluded that the proposed improvement of the production process was technically and economically feasible.

Keywords: COPQ, Design of Experiments (DOE), DMAIC, uncompacted rolls, Six Sigma, unrealized profits.

Introducción

Según el análisis presentado en [1], el mercado latinoamericano de papel higiénico logró alcanzar un valor de US\$ 1,41 mil millones en 2024. Además, se proyecta un crecimiento del 4,10 % anual desde 2025 hasta 2034, alcanzando un valor estimado de US\$ 2,02 mil millones. A nivel global, el mercado de papel higiénico también muestra una tendencia de expansión. De acuerdo con Cognitive Market Research [2], se cree que el mercado mundial de papel higiénico alcance los 57 600,0 millones de USD en 2025 y presente una tasa de crecimiento anual compuesta del 5,60 % en el periodo 2025-2033. Además, el informe de Global Market Insights [3] resalta que la creciente preferencia de los consumidores por productos ecológicos ha impulsado significativamente la demanda de papel higiénico fabricado con materiales reciclados o fibras de origen sostenible. No obstante, los fabricantes enfrentan actualmente un aumento en los costos de producción debido al alza de los precios de la celulosa, que en abril de 2024 alcanzó un récord histórico de 1,380 euros por tonelada en Europa y registró incrementos del 16 % en China durante el primer semestre del mismo año. A esto se suman mayores costos de energía, como el incremento del 33 % en el precio de la electricidad en la Unión Europea entre mayo y octubre de 2023, así como los aumentos del 27 % en el precio del gas natural y del 16 % en el carbón, los cuales han impactado directamente en los procesos de fabricación y logística, afectando la rentabilidad y elevando los precios al consumidor final [4].

Otro desafío relevante para la industria del papel higiénico es el incremento de los reclamos por calidad, impulsado por una mayor conciencia del consumidor respecto a la higiene personal y el saneamiento. A medida que aumentan los estándares de higiene a nivel global, también lo hacen las expectativas del cliente, especialmente en mercados altamente competitivos [2]. En este contexto, los consumidores son más exigentes y sensibles a fallas en el producto. Entre las principales causas de insatisfacción se encuentran la delgadez excesiva del papel, variaciones en su resistencia, compactación (roll hardness), textura áspera, desgaste prematuro, presencia de olores desagradables y problemas de obstrucción en los sistemas de drenaje, los cuales afectan directamente la experiencia del usuario y la percepción de calidad del producto [2] [5].

En el contexto peruano, este crecimiento también se ha reflejado en las exportaciones. Según el informe de Mollinedo Quispe [6], entre 2019 y 2023, las exportaciones peruanas de productos higiénicos de papel crecieron a una tasa promedio anual del 5.1%, alcanzando en 2023 un total de US\$ 20.8 millones, lo que representa un incremento del 2.7% en comparación con 2022. Este dinamismo en el comercio exterior sugiere un aumento en la demanda tanto a

nivel nacional como internacional, lo que obliga a las empresas del sector a mejorar continuamente sus procesos productivos para mantener su competitividad. No obstante, la alta concentración del mercado en pocas empresas líderes limita la competitividad interna e impide que pequeños productores accedan fácilmente a canales de exportación o financiamiento [7].

Con respecto a la variable compactación de los rollos de papel higiénico, entendida como su dureza, se reconoce como una característica crítica de calidad; para su evaluación, se ha empleado la medición de la firmeza del rollo (*roll firmness*) mediante el sistema Kershaw, descrito en la patente US7204154B2 [8]. Asimismo, los fabricantes de maquinaria de rebobinado señalan que la calidad del rollo depende de mantener la dureza dentro de límites que eviten telescoping, ovalamientos, grietas y otros defectos propios de un bobinado demasiado flojo o excesivamente apretado [9]. En plantas de conversión de papeles suaves se ha documentado que una gestión deficiente de materiales y del proceso de rebobinado incrementa pérdidas y defectos en las bobinas, evidenciando el impacto de la compactación sobre el desperdicio y la calidad del producto final [10]. De igual modo, un estudio de caso en una línea industrial de tissue muestra que la tensión de la banda en desenrollado, gofrado y rebobinado incide directamente en el rango de compactación del papel higiénico y que niveles elevados de compactación se relacionan con empaques mal sellados o formados [11]. Además, investigaciones sobre presión de gofrado en papeles tissue indican que el aumento de la densificación local mejora la resistencia mecánica, pero reduce la suavidad y no aporta beneficios significativos en absorbencia, lo que revela un compromiso entre compactación y propiedades percibidas por el usuario [12]. Por otro lado, desde la perspectiva del mercado se describen rollos poco compactos que pierden rigidez, se deforman durante el uso y ofrecen menos metraje real del declarado, motivo por el cual algunos fabricantes han comenzado a certificar simultáneamente el metraje y una compactación considerada óptima [13].

En ese marco, la empresa papelera ubicada en el distrito de José Leonardo Ortiz, Lambayeque, constituye un caso representativo. A pesar de haber diversificado su portafolio desde su creación en 2019 y de tener al papel higiénico institucional como su línea de mayor facturación, enfrenta desde 2024 un aumento notorio en los reclamos de calidad. Entre estos, destaca la no conformidad relacionada con rollos sin compactar, que representa aproximadamente el 65 % de las quejas presentadas. Este defecto no solo afecta la experiencia del cliente, sino que también genera pérdidas económicas por utilidades no percibidas, estimadas en S/ 34 782, debido a reprocesos, mermas y pérdida de fidelización comercial [14]. Las variables asociadas a la generación de este defecto, identificadas son la velocidad promedio

de rebobinado, el diámetro de la polea reguladora de la bobina hija, la presión de los rodillos de goma, la viscosidad de la goma, entre otras.

Teniendo en cuenta lo anterior, y dado que este tipo de no conformidades se relacionan con fallas recurrentes en la línea de producción, se propone la aplicación de la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), la cual ha demostrado ser eficaz en la mejora de procesos industriales en diferentes sectores, al ofrecer un enfoque sistemático y basado en datos para abordar problemas crónicos, multicausales y cuantificables como la no conformidad por rollos sin compactar, que genera reclamos recurrentes y utilidades no percibidas [15]. En este marco, surge la siguiente interrogante ¿De qué manera la aplicación de la metodología DMAIC permite reducir las utilidades no percibidas asociadas a rollos sin compactar en empresa papelera?

El presente informe tiene como objetivo general reducir las utilidades no percibidas por rollos sin compactar en la producción de papel higiénico institucional, aplicando la metodología DMAIC. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos: i) diagnosticar el proceso de conversión de papel higiénico institucional, ii) aplicar metodología DMAIC para mejorar y controlar las variables críticas del proceso, y iii) determinar el impacto económico de las mejoras implementadas.

Revisión de literatura

Marco Teórico

La necesidad del papel higiénico se documenta desde China en el siglo II a. C. [4]. En cambio, su comercialización moderna se inicia en el siglo XIX con Joseph Gayetty, puesto que marca el tránsito hacia un producto estandarizado y disponible en el mercado [16]. Así, hoy se fabrica a partir de pulpa de celulosa virgen o reciclada, dado que estos insumos aseguran propiedades funcionales y de calidad consistentes [17]. Luego, la madera se astilla y se procesa químicamente para obtener la pulpa; por consiguiente, esta forma una hoja continua en la máquina papelera con prensado y secado antes de las etapas finales [18].

En cuanto a la industria, se caracteriza por alto volumen y demanda constante; por ello, la innovación se orienta a calidad, eficiencia y sostenibilidad como ejes competitivos [19]. Teniendo en cuenta su impacto ambiental, incluido el uso de recursos y la deforestación, se impulsan prácticas más responsables a lo largo de la cadena de valor [20]. A continuación, tras el secado, la hoja se enrolla en bobinas madre y pasa al rebobinado para obtener bobinas manejables listas para conversión [21].

Simultáneamente, la conversión incluye la perforación a intervalos precisos, el embobinado sobre núcleos y el corte de rollos individuales antes del empaquetado [22]. Así pues, el empaquetado prepara los rollos para su distribución mediante envoltura individual o en paquetes comerciales, optimizando logística y presentación [23]. De igual manera, el producto institucional está diseñado para espacios de alto tránsito y prioriza resistencia, tamaño y durabilidad en el uso intensivo [24]. No obstante, este desempeño debe equilibrarse con suavidad y absorbencia para una experiencia adecuada del usuario [25]. En síntesis, el producto final debe cumplir normativas sanitarias estrictas para entornos públicos, a fin de garantizar seguridad e higiene [26].

Con motivo de los requisitos técnicos, las bobinas suministradas por el proveedor cumplen especificaciones de gramaje, calibre, humedad, resistencia, dimensiones y límites máximos de defectos, tal como se detalla en la ficha técnica correspondiente (Anexo 1). Ahora bien, en este contexto la compactación del rollo es crítica: una densidad por debajo del estándar provoca ovalidad, problemas en dispensadores y percepción negativa del cliente [27]. De la misma forma, los no conformes habituales (mal compactado, perforaciones incorrectas, desgarros, contaminantes y baja resistencia) se vinculan a materia prima, configuración de máquina y errores operativos [28].

Desde la perspectiva económica, las utilidades no percibidas representan ganancias potenciales que no se materializan por demanda no atendida e ineficiencias del sistema; por consiguiente, deterioran la rentabilidad real del proceso [29]. En efecto, entre sus causas se cuentan paradas y mantenimientos correctivos, brechas de capacitación, ausencia de indicadores y desorden operativo que deprimen el rendimiento de la planta [19]. Así, los reclamos de calidad canalizan la insatisfacción del cliente y habilitan acciones correctivas que fortalecen el control del proceso y la satisfacción del usuario final [30]. En conclusión, este enfoque también reduce reprocesos y desperdicios y eleva el cumplimiento de estándares en la industria del papel higiénico [31].

Paralelamente, la mejora continua del proceso se articula con Lean Six Sigma y la metodología DMAIC como marco operativo [32]. En primer lugar, la fase Definir establece alcance, problemas, objetivos y CTQ orientados al valor del cliente [33]. Luego, la fase Medir levanta datos confiables del desempeño, verifica el sistema de medición y estima la capacidad del proceso como línea base [34]. Al mismo tiempo, el uso de cartas de control y métodos estadísticos permite monitorear variaciones y detectar señales fuera de control con oportunidad

[34]. Después, la fase Analizar identifica causas raíz mediante Ishikawa y modelos de regresión para relacionar variables de proceso y respuesta [35].

Dado que el estudio de la variabilidad distingue causas comunes y especiales, se priorizan intervenciones efectivas según su origen [36]. Posteriormente, la fase Mejorar implementa soluciones priorizadas bajo principios de Kaizen y eliminación de desperdicios, maximizando impacto con recursos limitados [37]. Finalmente, la fase Control consolida resultados mediante planes de control, cartas de control y seguimiento de KPI para asegurar estabilidad en el tiempo [15]. Resumiendo, auditorías periódicas y retroalimentación continua ayudan a sostener los logros y a responder a cambios de condiciones operativas con agilidad [15].

Antecedentes

Asimismo, la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) ha sido implementada exitosamente en diversas industrias con el fin de optimizar procesos y aumentar la calidad de los productos. Adeodu et al. [38] implementaron la metodología Lean Six Sigma mediante el enfoque DMAIC para optimizar el proceso de producción en una empresa papelera. A través de un estudio de caso, se identificaron deficiencias como bajo rendimiento, alta generación de desperdicios y tiempo de inactividad del 32.64 %. Posteriormente, se aplicaron herramientas como mapeo de flujo de valor, Kaizen, 5S y análisis de Pareto, logrando mejorar la eficiencia del ciclo del proceso del 23.4 % al 40 %, reducir el tiempo de entrega y disminuir significativamente los productos no conformes. Tras las mejoras propuestas, el proceso mostró incrementos significativos en eficiencia y reducción de desperdicio, sentando bases claras para aumentar la rentabilidad de la planta.

Mittal et al. [39] tuvieron como objetivo reducir la elevada tasa de rechazo (5,5%) de tiras de goma para burletes en la empresa manufacturera XYZ Ltd. en India, la cual generaba pérdidas económicas significativas. Para ello, aplicaron la metodología Six Sigma bajo el enfoque DMAIC, utilizando en la fase Definir diagramas de flujo de procesos para delimitar el problema y, en la fase Medir, una recolección sistemática de datos sobre tipos y frecuencia de defectos. Los principales defectos identificados fueron grietas en las uniones y falta de relleno, lo que orientó la fase Analizar y la posterior implementación de acciones de mejora, tales como la capacitación de operadores, la mejora en la limpieza de moldes, el control de la velocidad de inyección del compuesto y la instalación de válvulas de control de flujo en las máquinas de moldeo. Como resultado, la tasa de rechazo se redujo de 5,5% a 3,08%, el nivel sigma mejoró de 3,9 a 4,45 en tres meses y se obtuvo un ahorro mensual de Rs. 15 249. Los autores concluyen que la aplicación disciplinada de DMAIC permite disminuir de manera significativa los

defectos y las pérdidas asociadas, proporcionando un referente metodológico sólido para la correcta ejecución de las fases Definir y Medir en investigaciones orientadas a la reducción de costos y aumento de utilidades.

Linares et al. [40] tuvieron como objetivo reducir los tiempos de ciclo y los costos asociados a esperas y uso ineficiente de recursos en la logística de carga de una planta papelera. Para ello aplicaron Lean Six Sigma bajo la estructura DMAIC, utilizando mapeo de procesos, análisis estadístico de tiempos y herramientas clásicas de mejora de flujo para identificar cuellos de botella en la programación y secuencia de carga. Los resultados mostraron una reducción del tiempo de ciclo del proceso logístico de alrededor del 32 % y un incremento del desempeño operativo cercano al 43 %, lo que se tradujo en menor consumo de horas-hombre y de uso de equipos, generando ahorros relevantes en los costos operativos. Se concluye que la aplicación sistemática de DMAIC en procesos de soporte, como la logística de una papelera, permite mejorar la eficiencia, reducir costos y, en consecuencia, contribuir al incremento de la utilidad operativa de la empresa.

Wijaya y Singgih [41] buscaron mejorar la calidad del corrugating medium paper en una empresa papelera, reduciendo la tasa de defectos que generaba desperdicio y pérdidas económicas. Usando la metodología Six Sigma con fases DMAIC, analizaron datos de defectos y DPMO, aplicando herramientas como Pareto, causa-efecto y p-charts. El nivel sigma del proceso pasó de 3,35 (45 600 DPMO) a 3,68 (25 566 DPMO), reduciendo significativamente la proporción de productos no conformes. Esta disminución de desperdicio implica menores costos por reprocesos y mayor aprovechamiento de materia prima, contribuyendo al incremento de las utilidades de la línea.

Rahayu et al. [42] analizaron el proceso de producción de cartón base (core board) en PT Papertech Indonesia con el objetivo de reducir roturas de hoja que ocasionaban paradas frecuentes y pérdidas de producción. Mediante el enfoque Six Sigma y la estructura DMAIC, complementada con AMEF, identificaron causas críticas vinculadas a condiciones de máquina, parámetros de operación y variabilidad en materiales. Los resultados mostraron un aumento de los índices de capacidad de proceso C_p de 0,34 a 1,21 y C_{pk} de 0,24 a 1,15; lo que permitió estabilizar la producción y disminuir los costos por desperdicio y tiempos muertos, mejorando así la rentabilidad de la planta.

Fachrurrozi y Deny [43] estudiaron el control de calidad de cajas de cartón en una empresa (CV. AGZ) utilizando el enfoque Six Sigma bajo la estructura DMAIC, con el objetivo de reducir defectos y costos de no calidad. A partir de 160 800 unidades producidas en seis meses,

identificaron 4303 defectos ($DPMO \approx 80\,280$) y un nivel sigma bajo, concentrando las pérdidas en defectos de pintura y cortes. Mediante Pareto, diagramas de causa–efecto y propuestas de mejora en métodos de trabajo y control de proceso, definieron acciones orientadas a disminuir estos defectos críticos. Aunque el estudio se centra en el diagnóstico y las propuestas, muestra que la aplicación de DMAIC orienta la reducción de reprocesos y desperdicio de material, mejorando la eficiencia de uso del cartón y, por ende, el resultado económico.

Nurprihatin et al. [44] integraron el indicador de Eficiencia Global de los Equipos (OEE) con la metodología Six Sigma DMAIC en una empresa de envasado de productos a base de aceite de palma, con el fin de reducir defectos en envases y tiempos de paro de máquina. En la fase Medir calcularon OEE (82 %) y sus componentes de disponibilidad, rendimiento y calidad; luego, a través de análisis de regresión y herramientas DMAIC, identificaron causas raíz de defectos y paradas. Las soluciones propuestas permitirían elevar el OEE a 85 %, con disponibilidad del 99 %, rendimiento del 86 % y calidad del 99,8 %, lo que implica más unidades buenas por hora y menor costo unitario, generando una mejora directa en la utilidad operacional.

Oliveira et al. [45] implementaron la metodología Lean Six Sigma mediante el ciclo DMAIC en una empresa de celulosa y papel de Paraná (Brasil), con el objetivo de reducir la variabilidad en la eficiencia de reducción de una caldera de recuperación, cuyo desempeño impactaba fuertemente en consumo de químicos y energía. En Medir determinaron un DPMO de 278 688,5 (nivel sigma ≈ 2) y un Cpk muy bajo (0,16), evidenciando alta probabilidad de resultados fuera de especificación. Tras aplicar acciones de mejora (procedimientos estandarizados de muestreo, nuevos checklists, tablas de aire/combustible y controles operacionales), el DPMO se redujo a 64 516,12 y el proceso alcanzó nivel 3 sigma con Cpk de 0,88, disminuyendo la tasa de error al 6,68 %. Esta reducción de variabilidad implica menor desperdicio de licor y químicos, mejor aprovechamiento energético y, por tanto, una contribución significativa al aumento de las utilidades del negocio papelerero.

Santos y Leite [46] tuvieron como objetivo reducir la tasa de pérdida de latas de aluminio en una línea de producción de una empresa de bebidas, ya que estos desperdicios incrementaban de forma directa los costos operativos. Aplicaron la metodología Six Sigma utilizando el ciclo DMAIC, apoyado en herramientas como VOC, SIPOC, diagrama de Ishikawa y análisis de datos de rechazo por etapa del proceso. Tras identificar causas críticas (problemas de ajuste, manejo y daños en la línea), se implementaron acciones correctivas orientadas al control de parámetros de proceso y estandarización de procedimientos. Como resultado, la tasa media de

pérdida de latas se redujo de 0,53 % a 0,26 %, generando un ahorro anual aproximado de 6 926 dólares. Los autores concluyen que el uso disciplinado de DMAIC permite disminuir pérdidas materiales, reducir costos operativos y, en consecuencia, mejorar el margen de utilidad de la empresa.

Amaral y Leite [47] se propusieron reducir la pérdida de azúcar en una empresa de bebidas, dado que este insumo representaba un costo relevante y su desperdicio afectaba la competitividad. Emplearon la metodología Lean Six Sigma con el ciclo DMAIC, utilizando herramientas como VOC, CTQ, SIPOC e Ishikawa para mapear el proceso de fabricación y embotellado y localizar los puntos de mayor fuga de azúcar. Con las acciones de mejora implementadas (ajuste de parámetros, control más estricto y estandarización de prácticas operativas), la tasa de pérdida de azúcar se redujo de 2,02 % a 0,07 %, lo que se tradujo en un ahorro anual cercano a 25 194 dólares. Concluyen que la integración de Lean Six Sigma y DMAIC es eficaz para reducir desperdicios de materia prima, disminuir costos de producción y fortalecer la rentabilidad y competitividad de la compañía.

Materiales y métodos

La investigación tuvo un enfoque aplicado, pues su finalidad implementar una mejora en el proceso de conversión de papel higiénico institucional de la empresa Industria Artesanal Soto E.I.R.L., con el objetivo de reducir las utilidades no percibidas asociadas a rollos sin compactar. Además, se enmarcó en el enfoque cuantitativo, ya que se recurrió a la recolección de datos numéricos del proceso productivo y de sus indicadores de calidad para su posterior análisis y cuantificación estadística [48]. El estudio se enmarca en un diseño cuasi-experimental, de tipo antes–después con un solo grupo, dado que se manipularon deliberadamente factores del proceso mediante un diseño de experimentos (DOE) dentro de la metodología DMAIC, evaluando su efecto sobre la compactación y las utilidades; y de nivel explicativo, dado que se buscó identificar las causas raíz de la no conformidad y establecer la relación entre los factores críticos del proceso (X) y la compactación de los rollos (Y) [48],[49]. En cuanto a su alcance temporal, se trató de un estudio de corte transversal, puesto que la recolección de información y el análisis de los datos se realizaron en un periodo específico del año 2024 y 2025 [49]. Todo el cálculo estadístico fue con apoyo del software Minitab.

Para el primer objetivo específico, diagnosticar el proceso de conversión de papel higiénico institucional, se utilizó la metodología DMAIC. [15] En la fase Definir se caracterizó el problema mediante el cálculo de los Costos de la Pobre Calidad (COPQ), el uso de 5W2H, la elaboración del SIPOC, el árbol CTQ y el Project Charter para delimitar alcance, equipo, plazos

y beneficios esperados. [15][50] La cuantificación y clasificación de los costos de calidad se realizó siguiendo el enfoque de costos de prevención, evaluación y fallas propuesto para los COPQ. [50] En la fase Medir se elaboró el mapa de proceso del estado actual, se aplicaron matrices de priorización, diagramas de Ishikawa y Pareto, AMEF y un estudio de MSA, complementados con estadística descriptiva básica para describir el comportamiento de las variables del proceso. Asimismo, los rangos de valores de compactación considerados como no conformes se establecieron tomando como referencia la medición de “roll firmness” (Kershaw) descrita en la patente US7204154B2; en este sentido, se clasificaron como no conformes aquellos rollos con valores superiores a 10 mm, en concordancia con los rangos típicos reportados para productos tisú ($\approx 6-10$ mm). [35] [8] La recopilación y el tratamiento de datos se apoyaron en los fundamentos de probabilidad y estadística para ingeniería, asegurando criterios adecuados de medición y representatividad. [34] En la fase Analizar se determinó el tamaño de muestra, se contrastaron pruebas de hipótesis, se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis cuando no se cumplió la normalidad y se ajustaron modelos de regresión simple, cuadrática y múltiple para identificar las variables críticas del proceso. [36]

Para el segundo objetivo específico, aplicar la metodología DMAIC para mejorar y controlar las variables críticas del proceso, se desarrollaron las fases Mejorar y Controlar siguiendo el enfoque de proyectos de mejora de calidad de Lean Six Sigma. [15] En la fase Mejorar se implementó un Diseño de Experimentos factorial para evaluar simultáneamente el efecto e interacción de las variables críticas sobre la respuesta del proceso. [51] El análisis de los resultados del experimento se realizó mediante ANOVA y verificación de supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia de los residuos antes de proponer las condiciones óptimas de operación. [34] Con base en estos resultados se definieron los niveles óptimos de los factores de proceso para reducir la variabilidad y mejorar el desempeño de la conversión de papel higiénico institucional. [51] En la fase Controlar se elaboró un plan de control apoyado en la estandarización de procedimientos, el uso de gráficos de control de Shewhart (para variables y para atributos, como gráficos p y np), el análisis de estabilidad y la evaluación de la capacidad del proceso antes y después de la mejora mediante índices como Cp y Cpk. [15] La implantación de estos mecanismos de control se alineó con los principios de gestión por procesos y mejora continua presentes en sistemas de producción de clase mundial. [37]

Para el tercer objetivo específico, determinar el impacto económico de las mejoras implementadas, se compararon los Costos de la Pobre Calidad antes y después del proyecto,

considerando fallas internas, fallas externas, evaluación y prevención para cuantificar los ahorros obtenidos. [50] Con esta información se elaboró un análisis costo–beneficio en el que se contrastaron los costos de implementación de las soluciones con los beneficios económicos derivados de la reducción de desperdicios, reprocesos y productos no conformes. [35] La evaluación económica del proyecto se estructuró siguiendo criterios de gestión de proyectos, integrando los costos y beneficios en un horizonte temporal definido. [32] Finalmente, se construyó un flujo de caja del proyecto de mejora para estimar indicadores financieros como el retorno de la inversión y el periodo de recuperación, evidenciando el aporte de la mejora del proceso a la rentabilidad de la empresa.

Resultados y discusión

Diagnóstico del proceso de conversión de papel higiénico institucional.

El diagnóstico inicial integró condiciones operativas de la línea de conversión y antecedentes del problema; se cuantificaron los COPQ, y, posteriormente, SIPOC y 5W2H precisaron la declaración del problema. Asimismo, el Business Case y el CTQ Tree definieron los requerimientos críticos; finalmente, el Project Charter y el diagrama de Gantt estructuraron la planificación. En suma, este objetivo corresponde a *Definir* en DMAIC.

La empresa estudiada, ubicada en José Leonardo Ortiz (Chiclayo, Lambayeque, Perú), opera desde 2019 bajo la marca Pacasa; su portafolio prioriza papel higiénico institucional y, complementariamente, gelatina en polvo, servilletas y velas artesanales, cumpliendo la normativa sanitaria vigente. Dentro de la línea institucional, el 45 % se destina a paquetes para distribuidores y mayoristas, y el portafolio Pacasa Negro, Pacasa Azul y Pacasa Económico cubre distintos segmentos. Actualmente, la organización está en crecimiento pre-madurez, con una única línea operativa; el alcance del proyecto se presenta en el SIPOC.

Desde enero de 2024 persisten reclamos por rollos sin compactar, bajo volumen, empaque dañado, entre otros, con un promedio de 5,3 quejas mensuales durante 13 meses, sin mostrar tendencia decreciente (ver anexo 03). El diagrama de Pareto utilizado para identificar las causas de estos reclamos evidencia que la no conformidad de mayor impacto corresponde a la RSC, con un 65%; este defecto, de causas aparentes desconocidas, se establece como la variable crítica de calidad (ver anexo 04). Ello implica S/ 34 782 en utilidades no percibidas (anexo 05), que sintetizan las ventas frustradas (asociadas a reclamos por RSC), el costo de bolsas por reproceso, la utilidad no percibida por venta a menor precio (descarte) y el costo de devolución (costo logístico). Las utilidades no percibidas del año 2024 se detallan en la tabla 01, mientras

que los costos asociados a fallas externas e internas se muestran en la tabla 02. Así mismo se precisa que el 73.4% de la utilidad no percibida se debe a fallas externas (Ver anexo 05)

Tabla 01: Utilidades no percibidas asociada a rollos sin compactar, año 2024.

Mes	Paquetes con RSC (und.)	Paquetes buenos para la venta (und.)	Lote total asociado a RSC (und.)	% de paquetes con RSC en lote	Utilidades no percibidas asociada a RSC
Ene	6	119	125	4,8%	S/ 500,00
Feb	6	374	380	1,6%	S/ 1 520,00
Mar	10	484	494	2,0%	S/ 1 976,00
Abr	77	245	322	23,9%	S/ 1 288,00
May	66	599	665	9,9%	S/ 2 660,00
Jun	20	123	143	14,0%	S/ 572,00
Jul	56	186	242	23,1%	S/ 968,00
Ago	30	267	297	10,1%	S/ 1 188,00
Set	61	704	765	8,0%	S/ 3 060,00
Oct	72	574	646	11,1%	S/ 2 584,00
Nov	74	731	805	9,2%	S/ 3 220,00
Dic	4	278	282	1,4%	S/ 1 128,00
Total	482	4684	5166	1	S/ 20 664,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 02: Costo de fallas internas y externas asociadas a RSC, año 2024.

Mes	Cantidad de paquetes con RSC (devolución - falla externa)	Cantidad de rollos sin compactar (falla interna)	Costo de bolsas por reproceso	Costo de venta a menor precio	Costo de devolución/logístico
Ene	6	256	S/ 65,60	S/ 316,33	S/ 118,29
Feb	6	276	S/ 69,60	S/ 338,00	S/ 359,60
Mar	10	232	S/ 70,40	S/ 316,33	S/ 467,48
Abr	77	405	S/ 265,80	S/ 939,25	S/ 304,71
May	66	425	S/ 243,40	S/ 889,42	S/ 629,30
Jun	20	368	S/ 121,60	S/ 528,67	S/ 135,32
Jul	56	250	S/ 184,40	S/ 634,83	S/ 229,01
Ago	30	359	S/ 143,80	S/ 583,92	S/ 281,05
Set	61	341	S/ 214,60	S/ 765,92	S/ 723,93
Oct	72	358	S/ 244,40	S/ 855,83	S/ 611,32
Nov	74	381	S/ 253,80	S/ 893,75	S/ 761,78
Dic	4	198	S/ 49,20	S/ 240,50	S/ 266,86
Total	482	3849	S/ 1 926,60	S/ 7 302,75	S/ 4 888,63

Fuente: Elaboración propia

En síntesis, las acciones correctivas aplicadas (ajustes puntuales de tensión en sistema de transmisión, capacitaciones esporádicas y mantenimientos correctivos) solo generaron mejoras temporales; cada vez que cambian las condiciones de producción (nueva bobina madre, desgaste de cuchillas o turnos menos experimentados) la tasa de reclamos retorna a su nivel previo, lo que evidencia variabilidad sistémica en factores críticos y no incidentes aislados.

Consecuentemente, la persistencia de no conformidades deteriora la percepción de calidad, debilita la fidelización de distribuidores y compromete la rentabilidad por devoluciones y retrabajos, amenazando los planes de crecimiento. Por ello, se justifica un proyecto Six Sigma/DMAIC para identificar y controlar causas raíz que originan reclamos y utilidades no percibidas.

Finalmente, el COPQ anual de la línea asciende a S/ 96 382, distribuido en S/ 60 800 de costos de prevención, S/ 800 de costos de evaluación, S/ 9 229 de fallas internas y S/ 25 553 de fallas externas. Los costos de fallas internas y externas se presentan en las Tablas 1 y 2, mientras que los costos de prevención se detallan en la Tabla 03. Dentro de los costos de evaluación solo se ha considerado la compra de balanzas para la medición del peso de los paquetes. Este análisis se toma como línea base para estimar el retorno esperado de las acciones de mejora.

La variable financiera crítica es la Utilidad No Percibida, estimada en S/ 34 782 (falla interna + externa atribuible a rollos sin compactar), que constituye el principal objetivo a reducir en las fases siguientes del DMAIC (ver anexo 05). En cuanto a los costos de prevención, el concepto “conocer las necesidades del cliente” incluye visitas a clientes potenciales, seguimiento mediante llamadas y entrega de regalos promocionales para mantener y fortalecer las relaciones comerciales (ver anexo 06). El rubro “diseño y desarrollo de nuevas presentaciones” comprende el arte del empaque, la compra de clichés para impresión y el diseño de catálogos virtuales orientados a concretar ventas (ver anexo 07); estos esfuerzos se ven afectados cuando se generan reclamos. Asimismo, la “gestión de la relación con proveedores” considera las visitas a planta, así como reuniones virtuales para coordinar despachos, precios y plazos de entrega; dichos costos se asumen con el propósito de asegurar la calidad del producto terminado y, cuando no se cumplen las expectativas del cliente, se registran como costo de pobre calidad (ver anexo 08). De igual manera, los conceptos de mejoras y mantenimiento preventivo de la línea de papel higiénico se ejecutan para garantizar productos que cumplan con los estándares del cliente, pero se convierten en costos de mala calidad cuando se presentan fallas en el proceso (ver Anexos 09 y 10).

Tabla 03: Análisis de Costos de Pobre Calidad (COPQ)

Categoría	Concepto	Costo anual (S/)
Prevención	Conocer necesidades del cliente	S/ 12 000
	Diseño y desarrollo de nuevas presentaciones	S/ 4 800
	Gestión de la relación con proveedores	S/ 2 000
	Mejoras en el proceso operativo de fabricación	S/ 24 000
	Mantenimiento preventivo de la línea de papel higiénico	S/ 18 000
Subtotal		S/ 60 800
Prevención		
Evaluación	Compra de balanzas y herramientas para evaluación de calidad	S/ 800
Subtotal		S/ 800
Evaluación		
Falla interna	Costo de bolsas por reproceso	S/ 1 926
	Venta a menor precio	S/ 7 302
Subtotal	Falla interna	S/ 9 229
Falla externa	Pérdida de participación de mercado (utilidades)	S/ 20 665
	Devolución de paquetes no conformes	S/ 4 888
Subtotal	Falla externa	S/ 25 553
Total COQ		S/ 96 382

Fuente: Elaboración propia

La metodología 5W+2H permite formular la problemática de la empresa de manera estructurada, delimitando el alcance del estudio e identificando de forma preliminar las posibles causas. No obstante, la confirmación de la causa raíz se realizará en la fase Analizar mediante pruebas de hipótesis, donde se evaluará estadísticamente la influencia de los factores críticos seleccionados (ver tabla 09). En la formulación de la problemática se evidencia el despacho de rollos de papel higiénico institucional sin la compactación requerida en su empaque final; esta

condición se asocia a la variabilidad de parámetros como la velocidad de rebobinado, la viscosidad de la goma, el nivel de presión de los rodillos de goma, el diámetro de las poleas del sistema de transmisión y la velocidad de corte de rollos, entre otros. El defecto se presenta en la línea de papel higiénico institucional ubicada en el distrito de José Leonardo Ortiz (Chiclayo), afecta a distribuidores, mayoristas y detallistas, se encuentra documentado desde enero de 2024 y, durante el periodo de estudio, se manifiesta mediante 46 reclamos (5,3 al mes) con devoluciones, descuentos y cancelaciones de pedidos. El costo de mala calidad acumulado asciende a S/ 34 782 en utilidades no percibidas; esta cuantificación sirve como línea base para priorizar las acciones del DMAIC y dimensionar el impacto potencial de las mejoras.

Tabla 04: Metodología 5W y 2H

Elemento	Formulación mejorada
What	Se están despachando rollos de papel higiénico institucional sin la compactación requerida en su empaque final, abarcando todas las presentaciones comercializadas.
Why	El rollo tiene que mostrar buena compactación que garantice buen uso en dispensadores y estabilidad en almacenamiento del empaque, sin embargo, por factores como: velocidades de rebobinado, viscosidad de goma, nivel de presión de rodillos de goma, diámetros de poleas en sistema de transmisión, velocidad de corte, entre otros. No se logra obtener la compactación requerida.
Where	El defecto se origina en la línea de producción de papel higiénico institucional de la planta ubicada en José Leonardo Ortiz, Chiclayo, Perú.
Who	Afecta a clientes mayoristas, distribuidores y tiendas detallistas; involucra internamente a Producción, Calidad y Mantenimiento.
When	Inicio del problema documentado: enero 2024. Situación vigente sin fecha de cierre.
How	El producto no conforme llega al cliente; este genera un reporte de reclamo que deriva en devoluciones, descuentos o cancelación de pedidos.
How Much	El costo de mala calidad (COPQ) acumulado se estima en S/ 34 782 de utilidades no percibidas, además del riesgo de pérdida de clientes y deterioro de imagen de marca.

Fuente: Elaboración propia

El presente caso de negocio expone la situación crítica de la línea de papel higiénico institucional en la planta de Lambayeque, donde la entrega de rollos sin la compactación adecuada ha generado un aumento sostenido de reclamos, devoluciones y pérdidas de utilidades. Con el propósito de restablecer la satisfacción del cliente, proteger la reputación de la marca y asegurar la rentabilidad de largo plazo, se propone implementar un proyecto de mejora continua bajo la metodología DMAIC. A continuación, se presenta la justificación financiera y operativa de la iniciativa, así como el plan de acción proyectado y los beneficios esperados.

Tabla 05: Caso de Negocio: Reducción de Utilidades no Percibidas por Rollos sin Compactar – Línea de Papel Higiénico Institucional (Planta Lambayeque)

Sección	Contenido		
Situación	Desde el primer trimestre de 2024 se han registrado 46 reclamos por rollos sin compactar en las presentaciones Pacasa Negro, Pacasa Azul y Pacasa Económico. Los reclamos ocasionan devoluciones, descuentos y cancelaciones, generando Utilidades No Percibidas estimadas de S/ 34 782 y afectando la imagen de marca.		
Objetivo del caso de negocio	Disminuir ≥ 70 % el COPQ asociado a rollos sin compactar durante el primer año del proyecto, lo que equivale a un ahorro mínimo de S/ 24 347.		
Beneficios esperados	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del COPQ y Utilidades No Percibidas • Menor número de reclamos y devoluciones • Ahorro económico directo • Mejora de la percepción de calidad e imagen de marca • Incremento de la eficiencia operativa 		
	<ul style="list-style-type: none"> • Definir con precisión el problema de rollos sin compactar • Medir el desempeño actual (reclamos/mes, % NC, COPQ) • Analizar las causas raíz con herramientas estadísticas • Implementar soluciones técnicas y de gestión. • Controlar y monitorear para asegurar la sostenibilidad de las mejoras 		
Tipo de inversión	CAPEX estimado	Presupuesto asignado	Payback
Capital	S/ 25 000	S/ 25 000	9 meses

Fuente: Elaboración propia

El SIPOC delimita el alcance del proyecto DMAIC desde la recepción de bobinas madre hasta la liberación de stock terminado para ventas, incluyendo rebobinado, compactación y corte, y excluyendo empaque terciario, logística y ventas; esta definición evita desvíos, optimiza recursos y enfoca métricas en los factores que inciden en la compactación y la satisfacción del cliente. (Anexo 11)

El CTQ Tree traduce la Voz del Cliente, reducir rollos sin compactar, en factores críticos medibles: velocidad de rebobinadora, presiones de limpieza y gofrado, goma aplicada, experiencia del operador y número de vueltas, con sus respectivas especificaciones operativas. (Anexo 12).

La estructura del equipo DMAIC asegura compromiso directivo, coordinación operativa y soporte técnico: Sponsor/Gerente General, Project Leader/Jefe de Producción, Process Owner/Técnico Supervisor y Team Member, con funciones de dirección, remoción de obstáculos, liderazgo del proceso y participación técnica según cada fase. (Anexo 13).

La planificación preliminar y el Project Charter. Formaliza la iniciativa DMAIC para eliminar pérdidas por reclamos de rollos sin compactar; precisa contexto, problema (46 reclamos 2024, S/ 34 782 en utilidades no percibidas), alcance en la línea de conversión, actores clave, objetivos, entregables e indicadores para conducción DMAIC y beneficios sostenibles. (Anexo 14 y 15)

Fase Medir

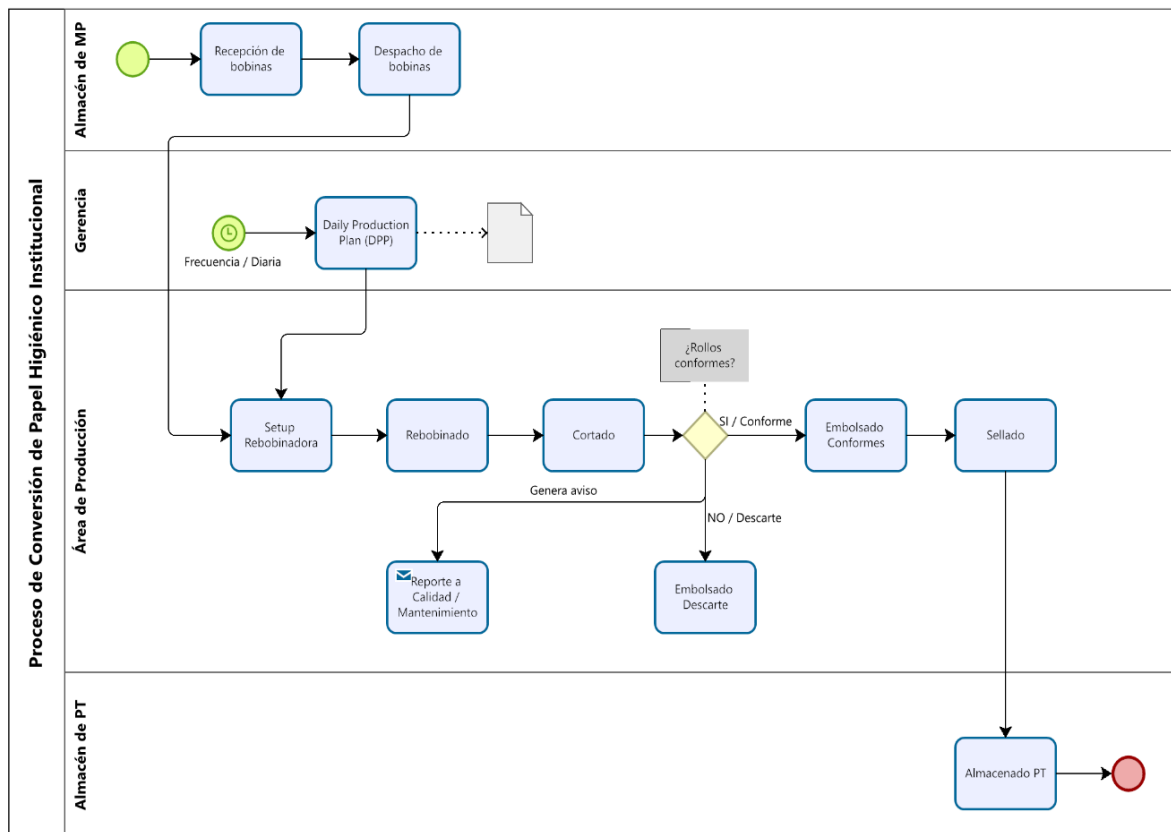
El mapa del proceso del estado actual (BPMN 2.0 en Bizagi Modeler) registra, de forma clara y verificable, el flujo desde ingreso de bobinas en Almacén de MP hasta salida de producto en Almacén de PT; su inclusión en Medir deja una “fotografía” confiable del desempeño previo a cualquier intervención. El esquema utiliza swimlanes para Almacén de MP, Gerencia, Producción y Almacén de PT, lo que permite identificar traspasos de responsabilidad y posibles cuellos de botella; el flujo principal va de evento de inicio a evento de fin, con tareas como Recepción de bobinas, Rebobinado, Corte y Sellado.

En el núcleo del flujo, un gateway “¿Rollo conformes?” aplica la medición crítica de compactación (Diferencia de diámetros, MSA validado): si cumple, pasa a Embolsado Conformes; si no, a Embolsado Descarte y se notifica a Calidad y Mantenimiento para acciones correctivas, visibilizando el desperdicio de no conformes y habilitando su cuantificación en Analizar.

La construcción del mapa siguió un procedimiento breve y trazable: entrevistas a operarios y supervisores, revisión de procedimientos, definición de límites y actores, secuenciación de

actividades con controles de calidad y documentos de soporte (p. ej., DPP), y validación conjunta en taller antes de exportar el diagrama para el informe.

Diagrama 01: Mapa de proceso estado actual conversión de papel higiénico institucional



Fuente: Elaboración propia

Para focalizar la toma de datos y focalizar los recursos, se elaboró la Matriz de Priorización I, que clasificó once procesos según su influencia en el CTQ “% de rollos sin compactar”, los cuales fueron evaluados por parte de los expertos del equipo Project Charter, (Edwin:7, Maycol:7, Nobeldo:10, Robert:5) en escala 1–10. El cálculo de la importancia de la actividad resultó en: Rebobinado = 263, Setup de la rebobinadora = 233 y Cortado = 186 resultaron los más críticos, por lo que concentraron la recolección inicial de información de las causas en estos procesos (anexo 16).

Seguidamente, se construyeron diagramas causa-efecto (6M) para dichas actividades resultado del juicio de los integrantes del equipo DMAIC (ver anexo 18), estructurando factores de Mano de Obra, Maquinaria, Materiales, Medición, Medioambiente y Método (p. ej., experiencia del operador, presiones/alineaciones, gramaje y diámetro, calibraciones y exactitud de instrumentos, iluminación/voltaje, tiempos de set-up y cumplimiento de SOP), conectándolos con el CTQ para guiar verificaciones de campo y el estudio MSA.

Asimismo, la Matriz X-Y (Priorización II) recomendada por Pande, Neuman y Cavanagh [41] ponderó el CTQ con pesos de expertos (Edwin 7, Maycol 7, Nobeldo 10, Robert 3) y calificó cada X (1–10), generando una lista cuantificada y jerarquizada de Xs críticas (véase Anexo 07). En total, se identificaron 28 Xs; las primeras 17 concentraron el 78 % del impacto sobre el CTQ. A partir de la X 18, cada variable aportó <4% adicional, pero exigió un esfuerzo de instrumentación y control similar; con solo cuatro semanas para Medir, resultó inviable levantar datos confiables para las 28 Xs. Por ello, se priorizaron 17 variables clave, justo antes del punto de inflexión de Pareto (ver anexo 20), en línea con el umbral 60–70 % (*vital few*) y con criterios de medibilidad, posibilidad de intervención operativa y relación directa con la compactación del producto (ver Anexo 17).

Con base en esas 17 Xs (ver anexo 21), se elaboró un AMEF de proceso (ver anexo 19), valorando Severidad (SEV), Ocurrencia (OCC) y Detección (DET) para obtener el NPR y orientar acciones preventivas. Los mayores NPR recayeron en Rebobinado (NPR = 320), Setup de rebobinadora (144) y Cortado (112), coherentes con la priorización previa; las causas potenciales se asociaron a falta de estandarización, ausencia de controles operativos y condiciones técnicas inestables. Las acciones del AMEF (checklists de arranque, estandarización de parámetros de setup, análisis Six Sigma focalizados) se incorporaron de inmediato al plan de trabajo de Medir.

Finalmente, en la Tabla 06 se presentan los factores seleccionados a partir de la Priorización II, codificados y validados mediante el AMEF, con el propósito de concentrar los esfuerzos de mejora en aquellos que generan mayor impacto. Las demás variables se abordarán mediante herramientas Lean orientadas a acciones rápidas, mientras que las variables cuantificables se evaluarán mediante diseño de experimentos, según se detalla en el Anexo 22. De este modo, se podrá estimar el efecto de cada factor sobre el porcentaje de rollos sin compactar y preparar la intervención correspondiente en la fase Mejorar.

Tabla 06: Codificación para cada variable X's resultado de Matriz II y AMEF

Factores seleccionados para el proyecto	
Causa Principales	Codificación de causas principales
Humedad del ambiente	% de Humedad en el ambiente
Velocidad promedio corte	Velocidad promedio corte
Velocidad promedio rebobinado	Velocidad promedio rebobinado
Diámetro polea reguladora – hijas	Diámetro polea reguladora bobina hija
Presión rodillos goma	Nivel de presión de rodillos de goma
Viscosidad goma papel	Nivel de Viscosidad de goma en papel
Ancho cuchilla sierra cinta	Ancho cuchilla sierra cinta
Gramaje hoja de papel – rebobinado	Gramaje hoja de hoja papel rebobinado
Presión rodillos gofrado	Nivel de presión de rodillos gofrado
Diámetro polea reguladora – madre	Diámetro polea reguladora madre

Fuente: Elaboración propia

Se ejecutó un MSA sobre la Diferencia de diámetros (ovalidad/compactación) con calibrador Vernier 0,1 mm y tolerancia 25,4 mm, validando en Minitab su idoneidad para decisiones de calidad (ver anexo 23). Se midieron 10 rollos \times 3 operadores \times 3 réplicas = 90 lecturas en planta (23 ± 2 °C; HR \leq 60 %), tras capacitación estandarizada. El ANOVA mostró efecto Parte altamente significativo ($p < 0,001$), Operador significativo pero mínimo ($p = 0,030$), e interacción no significativa ($p = 0,492$). El Gage R&R total = 8,91 % (repetibilidad 8,46 %; reproducibilidad 2,77 %), por debajo del umbral de 10 %; la variación Parte a parte = 99,6 % confirmó que la medición captó diferencias reales del proceso. Los gráficos (anexo 24) evidenciaron estabilidad por operador, sin patrones de sesgo ni interacción relevante. En síntesis, el sistema de medición fue adecuado y confiable para cuantificar compactación y sustentar la fase Medir del DMAIC.

Se hace la estimación de la estadística básica para la variable dependiente (% de rollos sin compactar) con N=1000 unidades (100 subgrupos de $n=10$), resultando $p=2.80\%$ con IC95%: 1.87–4.02% mediante método exacto. En consecuencia, el proceso mostró estabilidad general con eventos esporádicos de causa especial en los gráficos P y NP (ver anexo 27), lo que sugiere vigilancia focalizada por periodos y lotes. Esta base cuantitativa fija la línea de referencia para contrastes posteriores y delimita el efecto mínimo detectable al dimensionar muestras en

pruebas de mejora. Además, se precisa que se trata de una muestra inicial para estimar el tamaño muestral definitivo; en esta etapa solo se reportan estadísticas básicas de las variables, a fin de preparar el análisis siguiente con 95% de confianza y métodos acordes con la naturaleza de cada variable.

En paralelo, las Xs priorizadas mostraron rangos operativos definidos y medibilidad suficiente para ser utilizadas en el análisis estadístico. La humedad relativa del ambiente se controló cada 2 horas durante las 24 horas del día mediante un higrómetro calibrado, obteniéndose un valor medio cercano al 77 % y una variabilidad acotada (ver tabla 07). La velocidad promedio de rebobinado se registró directamente en el variador de frecuencia de la máquina, con una mediana de 29,3 Hz y un rango entre 18,6 y 40,7 Hz (tabla 07), mientras que la velocidad de corte se codificó en tres categorías de desempeño del operador (baja, media y alta) en función de los paquetes por minuto producidos, lo que permite su tratamiento como factor discreto (Tabla 07).

Asimismo en la tabla 07, se levantó información de los diámetros de las poleas reguladoras madre e hija, con valores promedio de aproximadamente 25,0 cm y 15,9 cm respectivamente; del nivel de presión de rodillos de goma y de gofrado, ambos expresados en vueltas del mecanismo de ajuste y agrupados en cuatro niveles operativos; de la viscosidad de la goma, determinada siguiendo la norma ASTM D2196-18 y estratificada en cuatro categorías entre 1000 y 2000 cP; del ancho de cuchilla sierra cinta, cuyos valores oscilaron entre 10 y 50 mm; y del gramaje de la hoja de papel, informado por el proveedor y comprendido entre 18 y 24 g/m². En conjunto, este levantamiento de datos permitió construir un perfil estadístico coherente de cada variable independiente, que respalda la selección de factores para el DOE, la estratificación por turno y lote, el establecimiento de controles operativos en aquellos puntos donde el impacto potencial sobre la variable de respuesta Y es mayor y el cálculo del tamaño de muestra.

Tabla 07: Estadística básica para cada variable

Variable	Tipo	N / Diseño	Media / DE	p	Mín	Mediana	Máx	Notas clave
% de Rollos sin Compactar (p)	Proporción (Y)	1000 (100×n=10)	0.028	—	—	—	—	IC95% [0.0187; 0.0402]
% HR ambiente	Continua	100	76.728	2.506	71.500	76.700	84.300	Higrómetro, cada 2 h
Velocidad de corte (cat.)	Categoría (1–3)	72	2.0000	0.7119	1.0000	2.0000	—	1=baja, 2=media, 3=alta
Velocidad de rebobinado (Hz)	Continua	100	29.008	4.567	18.600	29.300	40.700	Variador 0–60 Hz
Ø polea reguladora hija (cm)	Continua	100	15.869	— (Var=0.521)	14.000	15.950	17.300	Paso variable 14–18
Presión rodillos de goma (vueltas)	Categoría (1–4)	40	3.0000	0.2265	2.0000	3.0000	4.0000	Inversa a transferencia de goma
Viscosidad de goma (nivel)	Categoría (1–4)	42	1.2381	0.5323	—	—	—	4=1000, 3=1200, 2=1600, 1=2000 cP
Ancho de cuchilla (mm)	Continua	100	31.34	11.88	10.00	32.44	50.05	Desgaste progresivo
Gramaje hoja (g/m ²)	Continua (por lote/día)	100	19.415	1.644	18.100	19.000	24.000	Proveedor (18–24)
Presión rodillos gofrado (vueltas)	Categoría (≈2–3)	100	2.9750	0.3572	2.0000	3.0000	4.0000	1.5–3 vueltas
Ø polea reguladora madre (cm)	Continua	100	25.007	0.388	24.000	25.000	25.900	Control tensión bobina madre

Fuente: Elaboración propia

Fase Analizar

En esta fase se analizaron únicamente las variables de carácter estadístico (detalladas en anexo 22), debido a que su comportamiento cuantitativo permite realizar contrastes de hipótesis y modelado de regresión lineal. Las variables orientadas a la filosofía Lean se incluyen dentro del plan de acción, pero no forman parte del alcance inferencial de este estudio, ya que su tratamiento se centra en la estandarización de procesos, controles visuales y buenas prácticas operativas. De este modo, la fase Analizar se enfoca en las Xs cuantificables que pueden comprobarse mediante evidencia estadística y que, por su naturaleza, son candidatas a integrarse posteriormente en el diseño de experimentos (DOE), las cuales serán las causas raíz del problema.

La selección de variables se efectuó a partir del cruce del Diagrama de Pareto y el AMEF, priorizando aquellas causas con mayor NPR y factibilidad de control. A partir de este análisis se diferenciaron las variables y se definieron las herramientas estadísticas a emplear: pruebas de normalidad, pruebas de hipótesis, gráficos de control, análisis de capacidad de proceso, diagramas de dispersión, modelos de regresión lineal, considerando siempre el valor de *p-value* y el coeficiente de determinación (R^2) como criterios de significancia y ajuste del modelo (tabla 08).

Asimismo, se elaboró un plan de colecta de datos que contempla mediciones cada 2 horas y el uso de formatos específicos por variable, con el fin de garantizar trazabilidad y consistencia en los registros. A partir de estudios previos y de la variabilidad observada, se calcularon los tamaños de muestra para cada variable, diferenciando entre poblaciones finitas e infinitas y utilizando las fórmulas correspondientes para proporciones o medias, según se tratara de variables discretas o continuas. Estos cálculos, resumidos en la tabla 07, permitieron justificar el número de observaciones finalmente recopiladas y asegurar que el análisis estadístico cuente con la potencia necesaria para detectar efectos significativos de las Xs sobre la variable de respuesta % de rollos sin compactar. Con ello, la fase Analizar deja establecidos los fundamentos estadísticos que servirán de base para la posterior fase Mejorar.

Tabla 08: Tipo de Variables y tamaño de muestra con fórmula aplicada

Variable	Tipo de variable	Niveles / escala	Población asumida	Fórmula empleada para n	Tamaño de muestra (n)
% de rollos sin compactar (Y)	Proporción luego tratada como continua (%)	Continua en [0,100]	Finita	$n = \frac{Z^2 p q N}{E^2(N-1) + Z^2 p q}$	51
% de humedad en el ambiente	Continua	Continua	Infinita	$n = \frac{Z^2 \sigma^2}{E^2}$	100
Velocidad promedio de corte	Discreta (bajo / medio / alto)	3 niveles	Finita	$n = \frac{Z^2 p q N}{E^2(N-1) + Z^2 p q}$	131
Velocidad promedio de rebobinado	Continua (m/min)	Continua	Infinita	$n = \frac{Z^2 \sigma^2}{E^2}$	384
Diámetro de polea reguladora bobina hija	Continua (mm)	Continua	Infinita	$n = \frac{Z^2 \sigma^2}{E^2}$	386
Nivel de presión de rodillos de goma	Catégorica ordinal (bajo / medio / normal / alto)	4 niveles	Finita	$n = \frac{Z^2 p q N}{E^2(N-1) + Z^2 p q}$	54
Viscosidad de goma en papel	Continua (cps) medida por lote	4 rangos operativos en planta	Infinita	$n = \frac{Z^2 \sigma^2}{E^2}$	162
Ancho de cuchilla en sierra cinta	Continua (mm)	Continua	Infinita	$n = \frac{Z^2 \sigma^2}{E^2}$	383
Gramaje de hoja de papel en rebobinado	Continua (g/m ²)	Continua	Finita	$n = \frac{Z^2 p q N}{E^2(N-1) + Z^2 p q}$	383
Nivel de presión de rodillos de gofrado	Catégorica ordinal (1,2,3,4 vueltas)	4 niveles	Infinita	$n = \frac{Z^2 p(1-p)}{E^2}$	99
Diámetro de polea reguladora madre	Continua (mm)	Continua	Infinita	$n = \frac{Z^2 \sigma^2}{E^2}$	384

Fuente: Elaboración propia

Tabla 09: Prueba de Hipótesis para cada variable y con las significativas juntas. (Del anexo 28 al 37)

Variable independiente (X)	Método estadístico	Fórmula de hipótesis	Valor p	Decisión	Conclusión
% Humedad relativa en el ambiente	Regresión lineal simple	$H_0: \beta_1 = 0$ vs $H_a: \beta_1 \neq 0$	0.725	No rechaza H_0	No influye significativamente en Y
Velocidad promedio de corte	Kruskal–Wallis (3 niv.)	H_0 : medianas iguales vs H_a : al menos una \neq	0.255	No rechaza H_0	No hay diferencias entre niveles
Velocidad promedio de rebobinado	Regresión cuadrática	$H_0: \beta_1 = 0$ vs $H_a: \beta_1 \neq 0$	< 0.00001	Rechaza H_0	Influye significativamente en Y
Diámetro de polea reguladora hija	Regresión cuadrática (Box-Cox)	$H_0: \beta_1 = 0$ vs $H_a: \beta_1 \neq 0$	< 0.001	Rechaza H_0	Influencia moderada significativa
Presión de rodillos de goma	Kruskal–Wallis (4 niv.)	H_0 : medianas iguales vs H_a : al menos una \neq	1×10^{-24}	Rechaza H_0	Influye fuertemente en Y
Viscosidad de goma	Kruskal–Wallis (4 niv.)	H_0 : medianas iguales vs H_a : al menos una \neq	< 1×10^{-30}	Rechaza H_0	Influye significativamente en Y
Ancho de cuchilla de corte	Regresión lineal simple	$H_0: \beta_1 = 0$ vs $H_a: \beta_1 \neq 0$	0.328	No rechaza H_0	No influye en Y
Gramaje de hoja de papel	Kruskal–Wallis (5 niv.)	H_0 : medianas iguales vs H_a : al menos una \neq	0.093	No rechaza H_0	Sin diferencias significativas
Presión de rodillos de gofrado	Kruskal–Wallis (4 niv.)	H_0 : medianas iguales vs H_a : al menos una \neq	0.441	No rechaza H_0	No influye en Y
Diámetro de polea reguladora madre	Regresión lineal simple	$H_0: \beta_1 = 0$ vs $H_a: \beta_1 \neq 0$	0.578	No rechaza H_0	No influye en Y
Modelo conjunto (X₃–X₆) Método Stepwise	Regresión múltiple	$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$ vs H_a: al menos una $\neq 0$	< 0.001	Rechaza H_0 global	Las variables X₃–X₆ explican \approx 85 % de Y

Fuente: Elaboración propio

El conjunto de pruebas de hipótesis aplicadas y el cálculo del valor p se detalla desde el anexo 28 al 37. Permitiendo identificar qué factores del proceso tienen una influencia estadísticamente significativa sobre la variable de respuesta % de rollos sin compactar, parámetro crítico de calidad dentro de la conversión de papel institucional. De las once variables estudiadas, cuatro mostraron un efecto significativo ($p < 0.05$): la velocidad promedio de rebobinado, el diámetro de la polea reguladora de la bobina hija, el nivel de presión de rodillos de goma y la viscosidad de la goma. Estos factores presentaron valores-p extremadamente bajos, lo que respalda su inclusión dentro del modelo predictivo y su tratamiento como variables críticas de control (X's vitales).

En contraste, las variables humedad ambiental, velocidad promedio de corte, ancho de cuchilla, gramaje del papel, nivel de presión de gofrado y diámetro de polea madre no evidenciaron relación significativa con la respuesta, descartándose como factores relevantes dentro del comportamiento de compactación.

Además, como validación complementaria, se aplicó el método de regresión por pasos (**Stepwise**), con la finalidad que nos de las variables con mayor aporte explicativo sobre la variable de respuesta. El desarrollo confirmó la permanencia de las variables velocidad de rebobinado, presión de rodillos de goma, diámetro de polea reguladora de bobina hija y viscosidad de goma, debido a que presentaron significancia estadística ($R^2 = 85,36\%$) y contribuyeron al ajuste del modelo. Por tanto, se ratifica que dichas variables constituyen las X's críticas del proceso.

En conclusión, del primer objetivo se determinó que las variables que son la causa raíz del problema del crítico de calidad fueron cuatro (la velocidad promedio de rebobinado, el diámetro de la polea reguladora de la bobina hija, el nivel de presión de rodillos de goma y la viscosidad de la goma), las cuales fueron evaluadas mediante la prueba estadística mediante la metodología de regresión múltiple la cual arrojó un coeficiente de determinación de 85,36% lo que significa que las variables independientes explican más del 85,36% de la variación total de la variable de respuesta Y (ver anexo 38). El valor ajustado de 84,34% indica estabilidad estadística del modelo, mientras que el R^2 predictivo (83.11%) demuestra buena capacidad de predicción fuera de la muestra, confirmando la validez del modelo para propósitos de control y mejora de procesos.

Aplicar la metodología DMAIC para mejorar y controlar las variables críticas del proceso.

Fase Mejorar

Durante la fase Mejorar, se aplicó un Diseño Factorial Completo $2 \times 2 \times 4 \times 4$ considerando los cuatro factores críticos ya identificados: velocidad de rebobinado (A), presión del rodillo de goma (B), diámetro de polea hija (C) y viscosidad de la goma (D), con un total de 128 corridas experimentales y dos réplicas (anexo 49). El objetivo fue identificar la combinación óptima de variables operativas que maximice el porcentaje de rollos compactados (%RC). (ver anexo 38)

El análisis del diseño factorial completo se realizó mediante ANOVA, evidenciándose que el modelo experimental fue estadísticamente significativo ($p < 0,001$). Asimismo, el modelo explicó el 95,61 % de la variabilidad total de la variable respuesta (R^2), con un R^2 ajustado de 91,29 % y un R^2 predicho de 82,43 %, lo que demuestra una adecuada capacidad explicativa y predictiva. Adicionalmente, se realizó la validación del modelo factorial comparando los valores reales obtenidos experimentalmente frente a los valores estimados por el modelo, considerando un nivel de significancia del 10 %, equivalente a un intervalo de confianza del 90 %. Como resultado, se verificó el cumplimiento de los valores experimentales dentro del intervalo establecido, tal como se muestra en el Anexo 40.

Entre los efectos principales, la viscosidad de la goma (D) fue el factor con mayor contribución (46.16 % de la varianza total), seguido por la presión de rodillo (B) (10.67 %) y la velocidad de rebobinado (A) (2.94 %). El diámetro de polea hija (C) no fue significativo de forma aislada ($p = 0.230$), pero sí relevante en interacciones.

Las interacciones $B \times D$, $A \times B$ y $A \times D$ resultaron determinantes (anexo 41). La combinación de alta presión, baja velocidad y alta viscosidad produjo el mejor desempeño del proceso. Se observó que la presión elevada compensa los efectos negativos de viscosidades bajas, y que trabajar con velocidades reducidas mejora la compactación incluso en condiciones desfavorables.

Las pruebas de verificación de supuestos (anexo 42) mostraron que los residuos cumplen normalidad, homogeneidad e independencia, validando el modelo estadístico. En síntesis, el DOE permitió identificar las condiciones óptimas (anexo 43) para incrementar la eficiencia del rebobinado, recomendando operar con presión alta (4 vueltas), velocidad < 40 Hz y viscosidad superior a 2000 cps. Estos indicadores

proporcionan una base sólida para estandarizar el proceso y garantizar una compactación uniforme del papel institucional.

La optimización de Minitab (anexo 43), con meta “máximo” y límite superior de 1 para el %RC, identifica como solución óptima la combinación A1–B4–C2–D2, es decir, baja velocidad (<40 Hz), presión alta (4 vueltas), diámetro de polea ≥ 15.7 cm y viscosidad entre 1600 y 1999 cps. Bajo esta configuración, el ajuste predicho es 1.0000, con error estándar 0.0258 y un intervalo de confianza del 95% para la media de (0.9485; 1.0515). El intervalo de predicción del 95% para una corrida nueva es (0.9108; 1.0892); dado que el %RC está acotado en 100%, en planta se espera un desempeño $\approx 91\%$ –100% por efecto de la variabilidad natural. La elección de D2 (1600–1999 cps) como óptimo no contradice que, al observar el efecto principal, D1 (≥ 2000 cps) presente la media más alta: sucede que, con A1–B4–C2, tanto D1 como D2 llevan el %RC al tope (100%) y, al existir una cota superior de 1 en la función de deseabilidad, no hay ganancia adicional por subir a D1. Por parquedad y robustez el algoritmo selecciona D2. *En términos operativos, la regla válida es: mantener la viscosidad por encima de 1600 cps (D2 o D1), evitando rangos inferiores (D3–D4)*; dentro de esa ventana, la preferencia práctica puede ser D2 por equilibrio entre desempeño y manejabilidad del adhesivo, reservando D1 solo si se demanda mayor holgura frente a variaciones de velocidad o presión.

Fase Controlar

En esta fase busca asegurar la estabilidad de los procesos garantizando mantener los niveles de calidad deseados y la reducción de costos de la planta de conversión papelera. El propósito es estandarizar los parámetros operativos definidos en la etapa de mejora y establecer mecanismos de vigilancia que mantengan la variabilidad bajo control estadístico, de modo que la calidad se preserve aun con cambios de turno, lote o operador. La variable crítica de calidad se mantiene como el porcentaje de rollos conformes y su traducción económica en utilidad no percibida, mientras que las variables de proceso a controlar son la velocidad de rebobinado, la presión del rodillo de goma, el diámetro de la polea reguladora de la bobina hija y la viscosidad de la goma, todas ellas con unidades y rangos operativos previamente validados.

En el anexo 44, se muestra un gráfico comparativo de la variable de proceso velocidad de rebobinado, que tiene como límite superior a 40 Hz según nuestra optimización logrado por Minitab, adicionalmente hemos adicionado un límite inferior de 30 Hz con el fin que no afecte a la productividad y sea considerado en el entorno real.

Antes de la mejora, la gráfica \bar{X} -R evidenciaba variabilidad elevada y presencia de señales de causa especial, con subgrupos cercanos y/o excediendo los límites de control y un rango inestable entre muestreos consecutivos. Estas condiciones explican la dificultad para mantener la velocidad alrededor del valor objetivo y la mayor probabilidad de generar productos fuera de especificación.

Después de la mejora, el proceso se estabiliza: la carta de medias se centra en 35.02 Hz, con límites de control aproximados de 29.86 Hz y 41.07 Hz; en la carta de rangos, \bar{R} es 3.22 Hz y todos los subgrupos quedan por debajo del límite superior de 10.52 Hz, sin puntos fuera de control ni patrones no aleatorios. Bajo este comportamiento, la operación dentro de la banda 30–40 Hz resulta sustentable, facilitando el cumplimiento de especificaciones y la vigilancia rutinaria por turno.

Para la segunda variable presión de rodillo de goma (anexo 46), se ha establecido por criterio de operatividad que el ajuste de la presión tiene que ser mayor a 3.5 vueltas, es decir para poder tener un control hemos tenido que ofrecer un rango de 0.5 vueltas ya que como indica el optimizador Minitab el mejor resultado para obtener los rollos compactados es que este factor sea 4, el criterio de control iría de 3,5 – 4,5, superior a ello ya no se conseguiría la adhesión deseada en el papel doble hoja.

En la tercera variable diámetro de polea reguladora hija (anexo 45), lo que nos menciona la fase de mejorar es que tiene que estar por encima de 15.7 para poder tener un impacto positivo en el porcentaje de rollos compactados, en tal caso las gráficas de control de antes y después quedarían de la siguiente forma.

En el caso de la última variable viscosidad de goma (anexo 47) como ya se mencionó lo ideal es que este en el nivel 1, debido a que proporciona mejores resultados en la compactación de los rollos. Para este caso nuestros límites de control será todo valor menor o igual al nivel 2, teniendo hasta el nivel 1 como rango operativo óptimo.

Adicionalmente se ha tomado como referencia el control

Luego de ello se desarrolló el Plan de Control de Proceso (ver anexo 48) establece de forma sistemática las condiciones operativas, los métodos de medición y las acciones de reacción necesarias para garantizar la estabilidad del proceso y la conformidad del producto final durante la conversión de rollos de papel higiénico institucional. Cada variable se documenta individualmente, diferenciando las entradas críticas del proceso y las salidas de calidad, con sus respectivos instrumentos, frecuencias, responsables y planes de reacción ante desviaciones.

En la etapa de rebobinado, se controlan las variables de mayor impacto en la compactación: velocidad de rebobinado, presión de rodillos de goma, diámetro de polea reguladora hija y viscosidad de la goma. Estas se supervisan mediante gráficos \bar{X} -R, registros operativos y alertas visuales, aplicando muestreos sistemáticos de cinco observaciones por turno. Las acciones correctivas contemplan la detención inmediata del equipo, ajuste del parámetro fuera de control y registro trazable del evento por el operador o analista de calidad.

En la etapa de empaquetado, se verifica la compactación final de los rollos mediante inspección visual planificada y muestreo aleatorio de productos terminados. Ante no conformidades, se aplica paro temporal, reproceso del material afectado y validación de corrección antes de reanudar la producción.

El análisis de capacidad de proceso de la variable dependiente % de rollos sin compactar (Y) permitió comparar el desempeño del proceso antes y después de la mejora (anexo 49). Inicialmente, la compactación se evaluó mediante un enfoque binomial (defectuoso/no defectuoso), utilizando gráficas P e informe de capacidad, empleando como referencia el criterio de firmeza/compactación del rollo basado en “roll firmness” descrito para productos tisú en la patente US7204154B2 [54]. Los resultados previos mostraron una proporción promedio de defectuosos de 3.70 % (IC95 %: 2.62–5.06 %), equivalente a 37 000 PPM, con un $Z = 1.7866$ (IC95 %: 1.6387–1.9401) y $Cpk \approx 0.60$, reflejando un proceso inestable y alejado del objetivo de cero defectos. Las gráficas evidenciaron múltiples puntos fuera de control y variabilidad significativa.

Tras la implementación de las mejoras derivadas del DOE, el proceso experimentó una reducción sustancial en la tasa de defectos (anexo 49), alcanzando una proporción promedio de 0.20 % (IC95 %: 0.02–0.72 %), equivalente a 2 000 PPM, lo que representa una disminución relativa del 94.6 %. El Z del proceso aumentó a 2.8782 (IC95 %: 2.4468–3.4891) y el $Cpk \approx 0.96$, valores que indican un proceso estable, predecible y bajo control estadístico.

Las gráficas P posteriores mostraron solo dos señales iniciales fuera de control (anexo 48), manteniéndose luego las muestras dentro de los límites ($LCS = 0.044$). El histograma concentró la frecuencia en 0 % y la curva acumulada de defectuosos descendió por debajo de 0.3 %, confirmando la efectividad de las acciones de mejora aplicadas sobre la compactación de rollos, logrando un proceso robusto, consistente y alineado con los estándares Six Sigma.

Resultado del impacto económico de las mejoras implementadas

El análisis de los Costos de la Mala Calidad (COPQ) antes y después de la mejora evidencia una reducción significativa del gasto total, pasando de S/ 96 382 (ver tabla 03) a S/ 41 824 (tabla 10), lo que representa un ahorro anual de S/ 54 558. Los costos de prevención aumentaron ligeramente por la incorporación de nuevos conceptos: S/ 17 330 mano de obra para el control de variables críticas (ver anexo 50) y S/ 5 310 de mantenimiento correctivo de los rodillos de goma (ver anexo 51), este último derivado de fallas en el proceso de vulcanizado del proveedor. Dichos incrementos son estratégicos, pues fortalecen la confiabilidad del proceso y previenen reincidencias. Los restantes siguen siendo los mismo detallados en anexo 06, 07, 08, 09 y 10.

Con respecto al cálculo del incremento de utilidades con respecto a la mejora implementada, se tomó el periodo de setiembre 2025 para su proyección en el cual se evidenció un incremento de S/ 4 766,50 con respecto al año anterior, este monto anualizado da S/ 57 198. (Ver anexo 53 y 54)

En las fallas internas, se registró una reducción sustancial en reprocesos y venta a menor precio por RSC, alcanzando S/ 57 (ver anexo 52), resultado directo de la estabilización del proceso demostrada en la fase Mejorar. Las fallas externas mostraron el mayor beneficio económico: se recuperaron las utilidades no percibidas y se superaron las ventas del año anterior en S/ 57 198 (anexo 54), reflejando un incremento sostenido de la rentabilidad.

En conjunto, la reducción global de los COPQ confirma el impacto financiero positivo de la metodología DMAIC, mejorando la eficiencia operativa, la calidad del producto y la liquidez empresarial para futuras inversiones y proyectos de mejora continua.

Finalmente, en el anexo 55 se muestra el incremento de las utilidades validado por el área contable de la empresa objeto de estudio, correspondiente al periodo de setiembre de 2025 de S/ 14 685, en contraste con el mismo periodo del año anterior da una diferencia de S/ 4 766,50 (anexo 53). Este valor fue proyectado a doce meses y se presenta en la tabla correspondiente (detalle anexo 54).

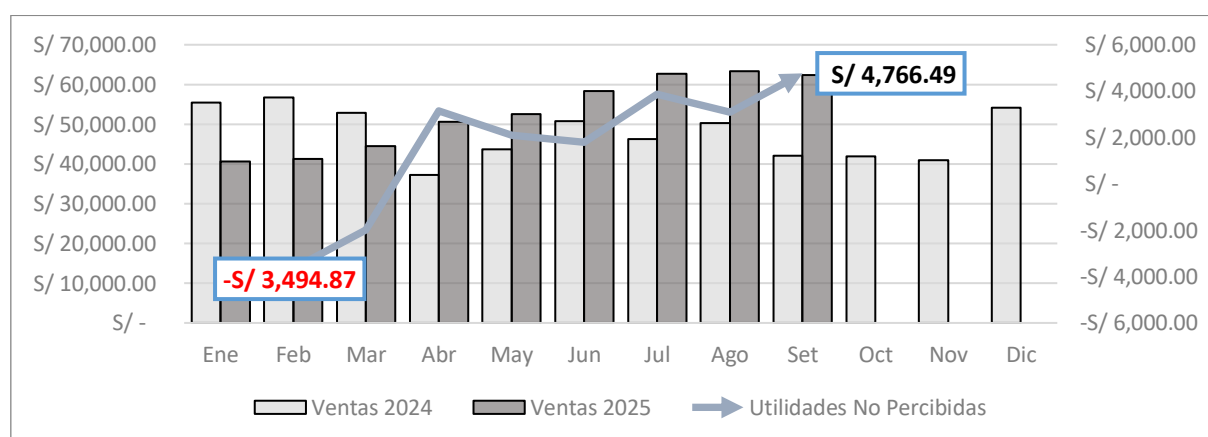
Tabla 10: Análisis comparativo de los COPQ antes y después de la mejora.

Categoría	Concepto	Antes	Después
Prevención	Conocer necesidades del cliente	S/ 12 000	S/ 12 000
	Diseño y desarrollo de nuevas presentaciones	S/ 4 800	S/ 4 800
	Costo de Analista de Control de Calidad	-	S/ 17 330
	Gestión de la relación con proveedores	S/ 2 000	S/ 2 000
	Mejoras en el proceso operativo de fabricación	S/ 24 000	S/ 24 000
	Costo de Mantenimiento Correctivo (Laminado de Rodillos de Goma)	-	S/ 5 310
	Mantenimiento preventivo de la línea de papel higiénico	S/ 18 000	S/ 18 000
Subtotal Prevención		S/ 60 800	S/ 83 440
Evaluación	Compra de balanzas y herramientas para evaluación de calidad	S/ 800	S/ 800
	Compra de dispositivo de medición de compactación/firmeza (Anexo 72)	-	S/ 14 725
Subtotal Evaluación		S/ 800	S/ 15 525
Falla interna	Costo de bolsa por reproceso (anexo 52)	S/ 1 968	S/ 48
	Venta a menor precio (anexo 52)	S/ 4 920	S/ 9
Subtotal Falla interna		S/ 6 888	S/ 57
Falla externa	Pérdida de participación de mercado (utilidades no percibidas) (anexo 53 y 54)	S/ 20 657	-S/ 57 198
	Devolución de paquetes no conformes	S/ 7 230	S/ 0
Subtotal Falla externa		S/ 27 887	-S/ 57 198
Total COQ		S/ 96 375	S/ 41 824

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, en el Gráfico 01 se ilustra el comportamiento de las ventas del año 2025 en comparación con las del año anterior, observándose un incremento sostenido durante el periodo de ejecución de la mejora. Como indicador financiero complementario, se incorporó la utilidad no percibida por pérdida de mercado, la cual se calculó mediante la diferencia de ventas del mismo periodo multiplicada por el margen de contribución. Este cálculo arroja una utilidad no percibida equivalente a S/ 4 766,49 en el mes de Setiembre (anexo 53), lo que significa que no solo se recuperó la totalidad de la utilidad perdida, sino que además se generó un excedente económico equivalente a dicho monto. Proyectando este valor a doce meses, se obtiene un total anualizado de S/ 57 198 (anexo 54) lo que evidencia una recuperación sólida y un crecimiento sostenido del margen operativo posterior a la implementación de las acciones de mejora.

Gráfico 01: Ventas 2024 vs Ventas 2025 vs Utilidades No Percibidas



Fuente: Elaboración propia (ver anexo 53)

En el segundo análisis se aplicó la metodología costo-beneficio, ampliamente utilizada en proyectos de mejora continua, con el objetivo de determinar la rentabilidad de las acciones implementadas bajo el enfoque DMAIC. Se identificaron diversos conceptos de inversión que reflejan los gastos efectuados durante la ejecución del proyecto, tales como el mantenimiento correctivo de los rodillos de goma, la asesoría técnica para optimizar el proceso de conversión, la contratación de personal especializado en control de calidad y las capacitaciones en estadística inferencial, diseño de experimentos, MSA y cartas de control. Estas acciones fortalecieron las capacidades técnicas del personal y establecieron las bases estadísticas necesarias para la estabilidad del proceso.

Algunos de estos costos se vinculan directamente con los Costos de la Mala Calidad (COPQ), particularmente aquellos relacionados con las mejoras en el proceso operativo, las asesorías y la capacitación en herramientas Six Sigma. Otros, como el mantenimiento correctivo y la mano de obra del analista de calidad, se clasificaron dentro de los costos de prevención, lo que permitió estructurar de manera clara el análisis económico del proyecto y evitar duplicidad en los registros.

El estudio evidenció una inversión anual total de S/ 40 776 destinada a la implementación del proyecto DMAIC (tabla 11), las cuales se conceptualiza en .mantenimiento correctivo de rodillos de goma S/ 5 310 (anexo 51), asesoría técnica en proceso de conversión de papel por EMAHSA SAC de S/ 5 500 (anexo 56), costo de mano de obra de analista de calidad de S/ 16 863,60 (anexo 50), capacitación en estadística inferencial y DOE de S/ 8 424, y capacitación en MSA y cartas de control de S/ 4 212 (ambos detallados en anexo 57). A su vez, los beneficios económicos derivados alcanzaron una utilidad operativa anual de S/ 71 259,37 (anexo 58), provenientes del incremento en las ventas, la reducción de reprocesos, la disminución de costo de venta a menor precio y la eliminación de devoluciones por no conformidades.

Los indicadores financieros confirman la rentabilidad del proyecto, con una relación beneficio–costo (B/C) de 1,75, un retorno sobre la inversión (ROI) del 74% y un periodo de recuperación (Payback) de 6.8 meses. Estos resultados demuestran que la aplicación del enfoque DMAIC fue económicamente viable y operativamente efectiva, consolidando su valor como herramienta estratégica para mejorar la productividad y fortalecer la sostenibilidad financiera de la empresa.

Tabla 11: Análisis Costo – Beneficio del proyecto DMAIC

Concepto / Indicador	Costo Unitario (S/)	Frecuencia Anual	Costo Beneficio Anual (S/)	Clasificación
Inversión inicial del proyecto (Costos de implementación)				
Mantenimiento correctivo en rodillos de goma	5 310,00	1	5 310,00	Prevención
Asesoría técnica de proceso de conversión	5 500,00	1	5 500,00	Mejora operativa
Costo de analista de control de calidad	1 441,10	12	17 330,00	Prevención
Capacitación en estadística inferencial y DOE	8 424	1	8 424	Formación técnica
Capacitación en MSA y cartas de control	4 212	1	4 212	Formación técnica
Total inversión anual	—	—	40 776	—
Beneficios económicos obtenidos (anuales)				
Utilidad por pedidos atendidos	4 766,49	12	57 197,93	Utilidad operativa
Reducción de costo de reproceso	1 917,79	1	1 917,79	COPQ interno
Reducción de costo de venta a menor precio	7 255,02	1	7 255,02	COPQ interno
Reducción de costo por devoluciones NC	4 888,63	1	4 888,63	COPQ externo
Total beneficio anual	—	—	71 259,37	—

Indicadores económicos del proyecto					
Relación Costo (B/C) =	Beneficio	—	—	1,75	Rentabilidad
$71\,259 \div 40\,776$					
Retorno inversión (ROI) =	sobre la inversión	—	—	74,75 %	Eficiencia financiera
$(71\,259 - 40\,776) \div 40\,776 \times 100$					
Periodo de recuperación (Payback) =		—	—	6,86 meses	Recuperación de inversión
$40\,776 \div (71\,259 \div 12)$					

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 12 se presenta el flujo de caja económico, en el cual se calculan los indicadores económicos más exigentes para evaluar la viabilidad del proyecto. En este flujo se consideran gastos que se pagan mensualmente, como el costo del personal de control de calidad, las capacitaciones y los mantenimientos preventivos; razón por la cual el B/C obtenido es de 1,39; valor que evidencia que los beneficios superan ampliamente los costos. Es preciso indicar que los ingresos proyectados se han estimado con base en el promedio del incremento de utilidad obtenido con la mejora durante los tres meses de implementación; en este caso, se tomaron los meses definidos en el diagrama de Gantt (ver Anexo 14), correspondientes a julio, agosto y setiembre del año 2025. En cuanto a la depreciación mensual, esta se estimó en S/ 245,4 (ver Anexo 61), considerando la compra del dispositivo de medición de compactación/firmeza en S/ 14 725 (ver Anexo 72). Asimismo, los gastos administrativos y de ventas se determinaron de acuerdo con el sueldo fijo del nuevo analista de control de calidad (ver Anexo 50); por su parte, para el concepto de egresos se consideraron el mantenimiento correctivo de rodillos de goma, la asesoría técnica del proceso de conversión y las capacitaciones detalladas en la Tabla 11.

El porcentaje de impuesto se consideró en 10 % debido al régimen ReMyPe de la empresa; de igual manera, la TMAR de 1,20 % mensual se obtuvo mediante la fórmula $TMAR = f + r + fr$, considerando una inflación mensual de 0,20 % equivalente a una inflación anual proyectada de 2,4 % según el BCRP, y una prima de riesgo medio de 1 % mensual asociada a la incertidumbre moderada del proyecto [52], [53].

Tabla 12: Flujo de caja económico

Mes 2025	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	36
Ingresos		S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766
Egresos		S/ 5 310	S/ 0	S/ 5 500	S/ 0	S/ 0	S/ 8 424	S/ 0	S/ 0	S/ 0	S/ 4 212	S/ 0	S/ 0	S/ 0
Depreciación		S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245
GAV		S/ 1 444	S/ 1 444	S/ 1 444	S/ 1 444	S/ 1 444	S/ 1 444	S/ 1 444	S/ 1 444	S/ 1 444	S/ 1 444	S/ 1 444	S/ 1 444	S/ 1 444
Utilidad antes de impuestos	S/ 0.0	-S/ 2 233	S/ 3 077	-S/ 2 423	S/ 3 077	S/ 3 077	-S/ 5 347	S/ 3 077	S/ 3 077	S/ 3 077	-S/ 1 135	S/ 3 077	S/ 3 077	S/ 3 077
Impuestos (10%)	S/ 0.0	-S/ 223	S/ 308	-S/ 242	S/ 308	S/ 308	-S/ 535	S/ 308	S/ 308	S/ 308	-S/ 114	S/ 308	S/ 308	S/ 308
Utilidad después de impuestos	S/ 0.0	-S/ 2 010	S/ 2 769	-S/ 2 181	S/ 2 769	S/ 2 769	-S/ 4 812	S/ 2 769	S/ 2 769	S/ 2 769	-S/ 1 022	S/ 2 769	S/ 2 769	S/ 2 769
Flujo de Caja														
Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	36
Utilidad después de impuestos	S/ 0	-S/ 2 010	S/ 2 769	-S/ 2 181	S/ 2 769	S/ 2 769	-S/ 4 812	S/ 2 769	S/ 2 769	S/ 2 769	-S/ 1 022	S/ 2 769	S/ 2 769	S/ 2 769
Depreciación	S/ 0	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245	S/ 245
Inversión	S/ 14 725													
Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	36
FNE	-S/ 14 725	-S/ 1 764	S/ 3 015	-S/ 1 935	S/ 3 015	S/ 3 015	-S/ 4 567	S/ 3 015	S/ 3 015	S/ 3 015	-S/ 776	S/ 3 015	S/ 3 015	S/ 3 015
Flujo acumulado	-S/ 14 725	-S/16 490	-S/ 13 475	-S/15 411	-S/12 396	-S/ 9 381	-S/13 948	-S/10 934	-S/ 7 919	-S/ 4 904	-S/ 5 680	-S/ 2 666	S/ 349	S/ 72 700
VAN	S/40 648													
TIR mensual	10%													
TMAR mensual	1,2%													
PRI	11,88													
Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	36
Ingresos	S/ 0	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766	S/ 4 766
Egresos	S/ 14 725	S/ 7 000	S/ 1 690	S/ 7 190	S/ 1 690	S/ 1 690	S/ 10 114	S/ 1 690	S/ 1 690	S/ 1 690	S/ 5 902	S/ 1 690	S/ 1 690	S/ 1 690
VAN Ingresos	S/ 142 086													
VAN Egresos	S/ 101 794													
B/C	1,396													

Fuente: Elaboración propia

Discusión

En el presente informe se tuvo como objetivo principal reducir las utilidades no percibidas producto de la pérdida de clientes/ventas mediante la metodología DMAIC, específicamente para los rollos sin compactar. En el desarrollo del primer objetivo se halló que la empresa presenta en promedio 5,3 quejas mensuales asociadas al crítico de calidad, lo que representa pérdidas por un monto de S/ 34 782 (ver Anexo 05); en contraste, el autor [39] evidenció rechazos de entre 5,5 % y 7,1 %, mientras que [45] reporta un incumplimiento del 30,9 %. Se aplicó el mapa de proceso del estado actual para entender el proceso de conversión de papel; en contraste, el autor [38] aplicó un análisis VSM para comprender el proceso de producción, de igual manera [41] empleó un análisis SIPOC para diagnosticar el proceso de producción de papel marrón y [44] también utilizó SIPOC. En la presente investigación también se utilizó SIPOC, complementado con el mapa de procesos. En este objetivo, a través de la matriz de priorización I y II, el diagrama de Ishikawa y el AMEF, se definieron 11 variables a analizar, de las cuales, mediante pruebas de hipótesis, se evidenció estadísticamente que solo cuatro influyen en la variable Y; en contraste, el autor [46] identificó 10 variables relacionadas con el crítico de calidad.

Para el segundo objetivo, se desarrolló un diseño factorial completo $2 \times 2 \times 4 \times 4$, a partir del cual se lograron establecer niveles para cada variable, obteniéndose un coeficiente de correlación del modelo de 95,61 %. Además, al calcular los indicadores para el crítico de calidad, este disminuyó de 37 000 PPM a 2 000 PPM, logrando reducir la proporción de defectos de 3,7 % a 0,2 %. En contraste, el autor [41] redujo los DPMO de 45 600 a 25 566; asimismo, [45] encontró la solución para disminuir los defectos por millón de oportunidades de 278 688 a 64 816, y el autor [46] pudo reducir la tasa de pérdidas en un 0,27 %.

En el desarrollo del último objetivo, se evaluó el impacto económico de la mejora a través de la reducción de los COPQ en S/ 54 558; en contraste, el autor [46] reportó un ahorro aproximado de \$ 6 926. Además, se elaboró el flujo de caja económico, el cual arrojó un VAN de S/ 40 648, una TIR mensual de 10 %, un B/C de 1,396 y un periodo de recuperación de 11,88 meses; en contraste, el autor [38] obtuvo un beneficio de Rs. 1,82,988 con un periodo de recuperación de 18,9 meses, y [47] reportó un ahorro anual de \$ 46 554 con su proyecto, demostrando así la consistencia financiera y sostenibilidad lograda mediante la propuesta aplicada.

Conclusiones

La aplicación de la metodología DMAIC en la empresa papelera demostró que su implementación en una organización del régimen MYPE en el Perú es altamente efectiva. Se logró reducir de forma comprobada las utilidades no percibidas, lo que se tradujo en un aumento de S/ 71 259 en las utilidades percibidas, debido a que el porcentaje de rollos sin compactar disminuyó de 3,70 % a 0,20 %, con el respaldo del diseño factorial completo, cuyo modelo experimental resultó estadísticamente significativo ($p < 0,001$), explicó el 95,61 % de la variación de la respuesta y permitió validar la combinación óptima de las variables críticas del proceso.

En el primer objetivo se efectuó un diagnóstico integral que permitió identificar como principal problema crítico de calidad las utilidades perdidas por pérdida de mercado, valorizadas en S/ 34 782 y asociadas a un promedio de 5,3 reclamos mensuales. Mediante un modelo de regresión múltiple por pasos Stepwise, se determinó que las variables críticas del proceso fueron la presión de rodillos de goma (X2), viscosidad de goma (X4), velocidad de rebobinado (X1) y diámetro de polea reguladora de bobina hija (X3), siendo todas estadísticamente significativas. El modelo explicó el 85,36 % de la variación del porcentaje de rollos sin compactar, permitiendo establecer la causa raíz del problema.

En el segundo objetivo se aplicaron las herramientas correspondientes a las fases Mejorar y Controlar de DMAIC, logrando reducir la variabilidad de la variable crítica “porcentaje de rollos sin compactar” de 3,7 % a 0,2 %. En términos de desempeño del proceso, el nivel Z aumentó de 1,7 a 2,8 y el índice Cpk de 0,60 a 0,96, valores que evidencian una mayor estabilidad y capacidad del proceso.

Finalmente, en el tercer objetivo, la evaluación económica confirmó la factibilidad y sostenibilidad del proyecto para la empresa, a partir de la validación de la rentabilidad mediante los indicadores del flujo económico, obteniéndose una relación B/C de 1,396, una TIR mensual de 10 %, un periodo de recuperación de 11,88 meses y un valor actual neto (VAN) de S/ 40 648. En consecuencia, se ratifica que el proyecto fue económicamente viable.

Recomendaciones

Durante el análisis de todas las variables consideradas dentro de las matrices de priorización I y II, se comprendió que el alcance del estudio se centraría en el análisis estadístico de variables medibles, lo que permitió establecer relaciones cuantificables entre los factores críticos del proceso y la variable de respuesta. Sin embargo, se identificó que las mejoras de enfoque Lean no fueron documentadas de manera formal dentro del desarrollo del proyecto. Por tal motivo, se recomienda profundizar en la integración del enfoque Lean con la metodología DMAIC, de manera que ambas herramientas se complementen para generar un sistema de mejora continua más robusto y sostenible.

Es importante resaltar que las herramientas Lean, tales como el VSM (Value Stream Mapping), el 5S, el Kaizen y el Poka-Yoke, pueden proporcionar una visión más amplia del flujo de valor del proceso, ayudando a eliminar desperdicios, optimizar tiempos de ciclo y reducir actividades que no agregan valor al cliente. La incorporación de estas prácticas fortalecería los resultados obtenidos, permitiendo no solo controlar la variabilidad del proceso, sino también mejorar la eficiencia operativa global.

Asimismo, se recomienda que en futuros estudios se contemple un registro documental de las acciones Lean aplicadas, detallando su impacto cualitativo y cuantitativo sobre los indicadores de productividad, calidad y costos. Este registro no solo permitirá realizar una trazabilidad de las mejoras, sino que también facilitará la replicabilidad del modelo en otras líneas o plantas productivas.

Referencias

- [1] Informes de Expertos, *Mercado Latinoamericano de Papel Higiénico*, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-latinoamericano-de-papel-higienico>. [Accedido: 23-feb-2025].
- [2] Cognitive Market Research, "Toilet Paper Market Report 2025 (Global Edition)," 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.cognitivemarketresearch.com/toilet-paper-market-report>
- [3] Global Market Insights, "Mercado de papel higiénico: por tipo, por fuente, por precio, por aplicación, por canal de ventas, pronóstico 2024-2032," September 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3Dd8GzV> [Accedido: 23-feb-2025].
- [4] Mintec Global, "Pulp Prices Reach All-Time High in April 2024, Boosting EU Paper Prices," *Mintec Global*, 15 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4cKfX7D>
- [5] ResearchGate, "Perceived Vs Recorded Quality of Tissue Paper: A Thematic Analysis of Online Customer Reviews," 2022. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/43jHQjE>
- [6] F. Mollinedo Quispe, "Productos Higiénicos de Papel: Evolución del Mercado Internacional y Nacional," CIEN-ADEX, 24 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4bxFP5S>. [Accedido: 23-feb-2025].
- [7] INDECOPI, "Resolución N.º 010-2017/CLC-INDECOPI sobre prácticas anticompetitivas en el mercado de papel higiénico y productos tissue", 2017. [En línea]. Disponible en: <http://bit.ly/441U7dj>
- [8] "Roll firmness measuring system and process," Google Patents, US7204154B2. [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/US7204154B2>. Accessed: Mar. 3, 2026.
- [9] Valmet. Importance and Limits of Hardness in Wound Roll Quality. Artículo técnico sobre calidad de bobinas, 2021.
- [10] Cabarcas Reyes, J. C.; Daza Escorcía, J. M. "Diseño de un sistema de control de materiales en una planta de conversión de papeles suaves". *Revista Digital Educación en Ingeniería*, vol. 5, n.º 10, pp. 99–109, 2010.
- [11] Bonilla Chiluisa, F. E. Estudio de la tensión de papel tissue en la empresa Familia Sancela S.A. planta Lasso y su incidencia en la compactación del papel higiénico. Tesis de Ingeniería Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2015.
- [12] Vieira, J. C.; Mendes, A. de O.; Ribeiro, M. L.; et al. "Embossing Pressure Effect on Mechanical and Softness Properties of Industrial Base Tissue Papers with Finite Element Method Validation". *Materials*, 15(12):4324, 2022.

- [13] PSFpro. "¿Cómo saber si el papel que elijo contiene los metros exactos?". Entrada de blog corporativo sobre metraje certificado y compactación óptima de rollos de papel higiénico, 16 noviembre 2022.
- [14] Mintec Global, "Pulp Prices Reach All-Time High in April 2024, Boosting EU Paper Prices," Mintec Global, 15 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/4cKfX7D>
- [15] P. S. Pande, R. P. Neuman, and R. R. Cavanagh, *The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and Other Top Companies are Honing Their Performance*, McGraw-Hill Education, 2000.
- [16] "History of Toilet Paper," Wikipedia. [Online]. Available: <https://bit.ly/4UtkpU> [Accedido: 29-Abr-2025].
- [17] R. W. J. McKinney, "Pulp and Paper Manufacture: Volume 1: Wood Raw Material and Preparation," 3rd ed., TAPPI Press, 1995.
- [18] J. C. Roberts, "Paper Chemistry," 2nd ed., Blackie Academic & Professional, 1996.
- [19] "Toilet Paper Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast, 2023-2031," Transparency Market Research. [Online]. Available: <https://www.transparencymarketresearch.com/tissue-paper-market.html> [Accedido: 29-Abr-2025].
- [20] "The Environmental Impact of Toilet Paper," WWF. [Online]. Available: <https://bit.ly/4junTfz> [Accedido: 29-Abr-2025].
- [21] Smurfit Kappa, "Paper and Board Reel Handling." [Online]. Available: <https://alier.com/wp-content/uploads/2024/04/GUIDE-FOR-THE-STORAGE-AND-HANDLING-OF-PAPER-REELS-compressed.pdf> [Accedido: 29-Abr-2025].
- [22] U.S. Patent 4,144,977, "Method of and apparatus for perforating webs," Mar. 20, 1979. <https://patents.google.com/patent/JP7386605B2/en>
- [23] P. Fellows, "Food Processing Technology: Principles and Practice," 3rd ed., Woodhead Publishing, 2010, pp. 815-838.
- [24] Cleany, "Papel higiénico institucional: importancia y diferencias con el hogar," Cleany, 2023. Enlace
- [25] Mimosito el Panda, "Impacto del papel higiénico tradicional en el medioambiente," Mimosito el Panda, 2023. Enlace
- [26] Kimberly-Clark, "Informe de sostenibilidad 2022 - Kimberly-Clark," Kimberly-Clark, 2023. Enlace

- [27] C. P. Lamingo Chingo, Mejora de las características funcionales del papel higiénico triple hoja en el proceso de rebobinado a través de la metodología DMAIC, Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29561>
- [28] Smurfit Kappa, "Paper and Board Reel Handling." [Online]. Available: <https://alier.com/wp-content/uploads/2024/04/GUIDE-FOR-THE-STORAGE-AND-HANDLING-OF-PAPER-REELS-compressed.pdf> [Accedido: 29-Abr-2025].
- [29] J. E. Jarrett, "An Analysis of Lost Sales", Management Science & Finance, julio 2015. <https://www.researchgate.net/publication/284280233>
- [30] A. D. Martinez and J. A. Salinas, "La gestión de quejas y reclamos como estrategia de mejora continua en la industria manufacturera," Revista Universidad & Empresa, vol. 21, no. 37, pp. 1–20, 2022. [Online]. Available: <https://revistas.urosario.edu.co/index.php/empresa/article/view/11039>
- [31] C. P. Lamingo Chingo, *Mejora de las características funcionales del papel higiénico triple hoja en el proceso de rebobinado a través de la metodología DMAIC*, Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29561>
- [32] T. Kloppenborg, Contemporary Project Management, 4th ed. Boston, MA: Cengage Learning, 2018. <https://tec.vitalsource.com/books/9781337670500>
- [33] J. P. Womack y D. T. Jones, Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, Free Press, 1996.
- [34] D. C. Montgomery, Introduction to Statistical Quality Control, 8th ed., Wiley, 2020.
- [35] M. George, J. Maxey, and D. Rowlands, The Lean Six Sigma Pocket Toolbook: A Quick Reference Guide to Nearly 100 Tools for Improving Quality and Speed, McGraw-Hill Education, 2004.
- [36] R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers, and K. Ye, Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias, Pearson Education, 2012.
- [37] J. K. Liker, The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer, McGraw-Hill, 2004.
- [38] A. Adeodu, M. G. Kanakana-Katumba y R. Maladzi, "Implementation of Lean Six Sigma for Production Process Optimization in a Paper Production Company," Journal of

Industrial Engineering and Management, vol. 14, no. 3, pp. 661–680, 2021.
<https://doi.org/10.3926/jiem.3479>

[39] A. Mittal, P. Gupta, V. Kumar, A. Al Owad, S. Mahlawat, and S. Singh, "The performance improvement analysis using Six Sigma DMAIC methodology: A case study on Indian manufacturing company," *Heliyon*, vol. 9, no. 4, p. e14625, 2023.

[40] M. L. Linares, E. da Silva Christo y K. A. Costa, "Lean Six Sigma in the Logistics of the Loading Process of a Paper Mill," *Exacta*, vol. 17, n.º 3, pp. 191–200, 2019.
<https://doi.org/10.5585/exactaep.v17n3.8520>

[41] G. E. Wijaya y M. L. Singgih, "Quality Improvement of Corrugating Medium Paper Using Six Sigma in Paper Manufacturing Company," en *Proc. 3rd International Conference on Management of Technology, Innovation, and Project (MOTIP 2022)*, Estambul, Turquía, 2022.

[42] A. D. I. Rahayu, A. Azzam, H. Susilo, R. Alditama y F. T. Rusli, "Production Process Analysis Using Six Sigma Approach and Failure Mode Effect Analysis to Reduce Sheet Break on Core Board Paper Products PT. Indonesian Papertech, Subang," *AIP Conference Proceedings*, vol. 2828, art. 050007, 2023.
<https://doi.org/10.1063/5.0164103>

[43] M. Fachrurrozi y Deny, "Quality Control Analysis of Cardboard Products Using Six Sigma Method in CV. AGZ," *Jurnal Teknovasi*, vol. 9, n.º 1, pp. 19–26, 2022.
<https://doi.org/10.55445/jt.v9i01.34>

[44] F. Nurprihatin, G. D. Rembulan, J. F. Andry, M. Lubis, I. T. B. Widiwati y A. Vaezi, "Integration of Overall Equipment Effectiveness and Six Sigma Approach to Minimize Product Defect and Machine Downtime," *Management and Production Engineering Review*, vol. 14, n.º 4, pp. 71–89 aprox., 2023.
<https://doi.org/10.24425/mper.2023.147205>



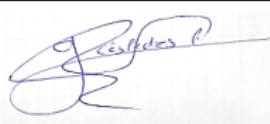

[45] G. K. de Oliveira, V. H. dos Santos Filho y P. V. S. Santos, "Implantação da Metodologia Lean Six Sigma em uma Empresa de Celulose e Papel: Um Estudo de Caso no Paraná," *Revista Produção Online*, vol. 24, n.º 1, e5199, 2024.
<https://doi.org/10.14488/1676-1901.v24i1.5199>

[46] J. F. S. dos Santos y J. C. Leite, "Application of the Six Sigma methodology and use of the DMAIC method to reduce the loss rate of aluminium cans in a beverage industry to reduce operational costs: Case study: Latax Refrigerantes Ltda," *International Journal of Development Research*, vol. 12, 2022. <https://doi.org/10.37118/ijdr.25633.10.2022>

- [47] K. F. de Amaral y J. C. Leite, “Reduction of Sugar Loss Using Lean Six Sigma Tools and DMAIC Method to Increase Competitiveness and Reduce Costs in a Soft Drink Company,” *International Journal of Development Research*, vol. 12, 2022. DOI: 10.37118/ijdr.25660.10.2022
- [48] R. Hernández-Sampieri y C. Mendoza, *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*, 6.^a ed. Ciudad de México: McGraw-Hill, 2018.
- [49] C. A. Bernal, *Metodología de la investigación*, 4.^a ed. Bogotá: Pearson Educación, 2016.
- [50] J. Campanella, *Principles of Quality Costs: Principles, Implementation, and Use*, 3rd ed. Milwaukee, WI, USA: ASQ Quality Press, 1999.
- [51] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 10th ed., Wiley, 2020.
- [52]BCRP, *Reporte de Inflación*, Lima, Perú, 2026.
- [53] MEF, *Parámetros de Evaluación Social*, Lima, Perú, 2026.

Anexos

Anexo 01: Fichas Técnicas de Bobinas de Papel

		MAQUINA PPX - 6										
ESPECIFICACIONES TECNICAS / TECHNICAL SPECIFICATIONS												
Av. Garcia Gastañeta S/N Zona Industrial Los Chalets Paramonga Teléfono (51) (1) 2360351 / 2360226		<table border="1"> <tr> <td>Nº</td> <td>6-073</td> </tr> <tr> <td>Fecha</td> <td>14-01-22</td> </tr> <tr> <td>Versión</td> <td>01</td> </tr> <tr> <td>Material</td> <td>004-021946</td> </tr> </table>			Nº	6-073	Fecha	14-01-22	Versión	01	Material	004-021946
Nº	6-073											
Fecha	14-01-22											
Versión	01											
Material	004-021946											
PAPEL HIGIENICO BLANCO ECONOMICO 024 GR												
Clientes: Local - Varios												
Medidas: 212.5 cm Diámetro : 117												
CARACTERISTICAS FISICAS	UNIDADES S.I.	LIMITES DE DESPACHO										
		Min.	STD.	MAX.								
GRAMAJE	g/m ²	22.0	24.0	26.0								
CALIBRE	um	120	135	150								
HUMEDAD	%	4.0	5.0	6.0								
TENSION DM	kN/m	0.24	0.30	0.36								
TENSION DC	kN/m	0.20	0.26	0.32								
RELACION DE RESISTENCIAS	-	-	-	-								
ESTIRADO DM	%	21	23	25								
BLANCURA ISO	%	82.0	84.0	86.0								
*b	-	-5.5	-6.5	-7.5								
TENSION EN HUMEDO DM	kN/m	-	-	-								
DIAMETRO BOBINA	cm.	112	117	122								
EMPALMES	Nº	-	-	2								
CONTAMINACION	mm ² /m ²	-	-	120								
HOYOS	mm ² /m ²	-	-	300								
HOYITOS	mm ² /m ²	-	-	300								
ANCHO DE BOBINA		± 1 cm.										
NOTA:		RECETA										
- Tonalidad según muestra patrón. - Excepcionalmente bobinas con diámetro mín: 100 cm.												
Elaborado por :	Revisado por :	Aprobado por :										
												
Jefe de Control de Calidad Papelería Nacional S.A. - Paramonga	Jefe Línea Absorbentes Papelería Nacional S.A. - Paramonga	Gerente de Producción Papelería Nacional S.A. - Paramonga										



Servilleta Celulósica 17 gr. Hoja Técnica

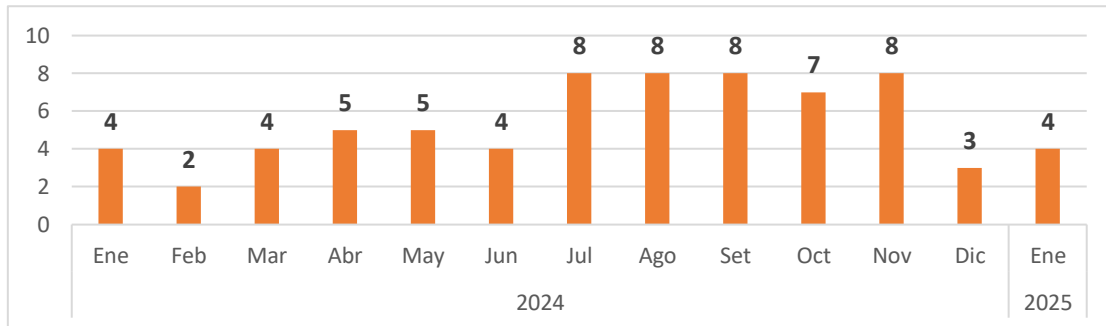
CARACTERISTICAS	UNIDAD	RANGO	PAPEL SERVILLETA CELULÓSICA 17 gr.
GRAMAJE	gr/m ²	Minimo	17.0
		Estándar	17.5
		Máximo	18.0
CALIBRE	mm	Minimo	0.15
		Estándar	0.16
		Máximo	0.17
RESISTENCIA LONGITUDINAL	gf(1 hoja 50 mm.)	Minimo	700
		Estándar	750
		Máximo	800
RESISTENCIA TRANSVERSAL	gf(1 hoja 50 mm.)	Minimo	600
		Estándar	650
		Máximo	700
RT HUMEDO	gf(1 hoja 50 mm.)	Minimo	300
		Estándar	350
		Máximo	400
ELONGACION	%	Minimo	33
		Estándar	34
		Máximo	35
HUMEDAD	%	Minimo	5.0
		Estándar	6.0
		Máximo	7.0
BLANCURA	%	Minimo	82
		Estándar	84
DIAMETRO	m.	Máximo	1.3
ANCHO	m.	Máximo	2.32
RELACIÓN DE RESISTENCIAS		Estándar	1.2
OBSERVACIONES			
Medición de Blancura en 8 hojas			
Calibre promedio de 10 hojas			
Resistencias probeta 01 hoja de 50 mm.			

Rev. 02
Enero 2024

MINERÍA - INDUSTRIA - LABORATORIO - POLÍMEROS

Jr. Santorín N° 243, Urb. El Vivero - Monterrico, Lima 15023, Perú
Central Telefónica: (+511) 618-1616 E-mail: ventas@mercantil.com.pe www.mercantil.com.pe

Anexo 02: Gráfica de histórico de reclamos en papel higiénico institucional desde enero 2024



Fuente: Elaboración propia

Anexo 03: Gráfica Pareto de causas de reclamos en papel higiénico institucional

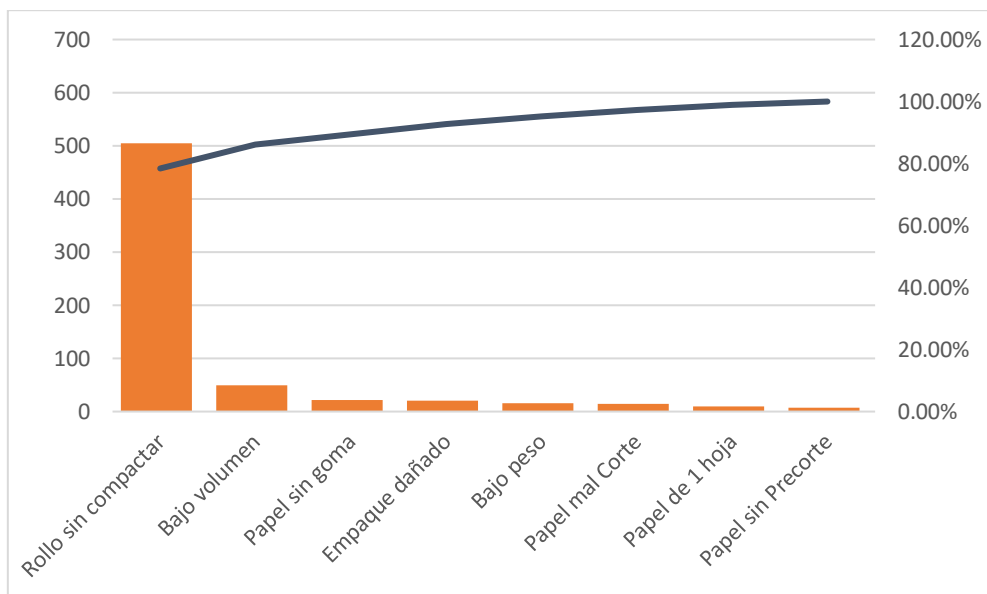


Tabla de Pareto Frecuencias Acumuladas

No conformidad	Cantidad de Paq. NC	Acumulado	% Acumulado
Rollo sin compactar	505	505	78.42%
Bajo volumen	49	554	86.02%
Papel sin goma	22	576	89.44%
Empaque dañado	21	597	92.70%
Bajo peso	16	613	95.19%
Papel mal Corte	14	627	97.36%
Papel de 1 hoja	10	637	98.91%
Papel sin Precorte	7	644	100.00%
Total general	644		

Fuente: Elaboración propia

Anexo 04: Utilidades no percibidas por rollos sin compactar en papel higiénico institucional, año 2024

Mes	Cantidad de Paquetes con RSC (Devolución - Falla externa)	Cantidad de Rollos Sin Compactar (Falla Interna)	Costo de bolsas por reproceso	Costo de venta a menor precio	Cantidad de Paquetes buenos para la venta	Lote de perdido por reclamo de RSC	Flete promedio por paquete	Costo de devolución/logístico	Utilidades no percibidas por ventas frustadas por RSC
Ene	6	256	S/ 65.60	S/ 316.33	119	125	S/ 0.95	S/ 118.29	S/ 500.00
Feb	6	276	S/ 69.60	S/ 338.00	374	380	S/ 0.95	S/ 359.60	S/ 1,520.00
Mar	10	232	S/ 70.40	S/ 316.33	484	494	S/ 0.95	S/ 467.48	S/ 1,976.00
Abr	77	405	S/ 265.80	S/ 939.25	245	322	S/ 0.95	S/ 304.71	S/ 1,288.00
May	66	425	S/ 243.40	S/ 889.42	599	665	S/ 0.95	S/ 629.30	S/ 2,660.00
Jun	20	368	S/ 121.60	S/ 528.67	123	143	S/ 0.95	S/ 135.32	S/ 572.00
Jul	56	250	S/ 184.40	S/ 634.83	186	242	S/ 0.95	S/ 229.01	S/ 968.00
Ago	30	359	S/ 143.80	S/ 583.92	267	297	S/ 0.95	S/ 281.05	S/ 1,188.00
Set	61	341	S/ 214.60	S/ 765.92	704	765	S/ 0.95	S/ 723.93	S/ 3,060.00
Oct	72	358	S/ 244.40	S/ 855.83	574	646	S/ 0.95	S/ 611.32	S/ 2,584.00
Nov	74	381	S/ 253.80	S/ 893.75	731	805	S/ 0.95	S/ 761.78	S/ 3,220.00
Dic	4	198	S/ 49.20	S/ 240.50	278	282	S/ 0.95	S/ 266.86	S/ 1,128.00
Total	482	3849	S/ 1,926.60	S/ 7,302.75	4684	5166		S/ 4,888.63	S/ 20,664.00

Fuente: Elaboración propia

Anexo 05: Costos/Utilidades de calidad (COPQ) asociados a la compactación de rollos, año 2024.

Tipo de costo	Clasificación	Monto anual (S/)	% del costo total asociado a RSC
Costo de bolsas por reproceso	Falla interna	S/ 1,926.60	5.54%
Venta a menor precio	Falla interna	S/ 7,302.75	21.00%
Subtotal fallas internas	Falla interna	S/ 9,229.35	26.53%
Devolución / logístico	Falla externa	S/ 4,888.63	14.06%
Utilidades no percibidas por RSC	Falla externa	S/ 20,664.00	59.41%
Subtotal fallas externas	Falla externa	S/ 25,552.63	73.47%
Total COPQ asociado a RSC (2024)	—	S/ 34,781.98	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Anexo 06: Costo de prevención, concepto conocer necesidades del cliente

Actividad	Frecuencia	Eventos por año	Horas por evento	Horas-hombre/año	Costo MO anual (S/)	Otros costos anuales (S/)	Costo total anual (S/)
Llamadas Telefónicas, mensajes WhatsApp	Mensual	12	4 h	48 h	S/ 2 900	S/ 700	S/ 3 600
Visitas presenciales a clientes clave	Mensual	12	6 h	72 h	S/ 4 900	S/ 1 700	S/ 6 600
Regalos promocionales y material de fidelización	Trimestral	4	3 h	12 h	S/ 900	S/ 900	S/ 1 800
Total anual				132 h			S/ 12 000

Fuente: Elaboración propia**Anexo 07: Costo de prevención, concepto diseño y desarrollo de nuevas presentaciones**

Actividad	Eventos por año	Horas por evento	Horas-hombre/año	Costo MO anual (S/)	Otros costos anuales (S/)	Costo total anual (S/)
Diseño gráfico de etiquetas y empaques (licencias INDECOPI)	2	20 h	40 h	S/ 1 400	S/ 600	S/ 2 000
Compra y actualización de clichés de impresión (fabricación de clichés)	2	4 h	8 h	S/ 350	S/ 1 550	S/ 1 900
Creación de catálogo	1	16 h	16 h	S/ 650	S/ 250	S/ 900
Total anual			64 h			S/ 4 800

Fuente: Elaboración propia

Anexo 08: Costo de prevención, concepto gestión de la relación con proveedores

Actividad	Frecuencia	Eventos por año	Horas por evento	Horas- hombre/año	Costo MO anual (S/)	Otros costos anuales (S/)	Costo total anual (S/)
Visitas estratégicas a planta de proveedores clave para conseguir mejor apalancamiento	Semestral	2	10 h	20 h	S/ 700	S/ 600	S/ 1 300
Reuniones virtuales de seguimiento de precios, plazos de entrega.	Mensual	12	1.5 h	18 h	S/ 450	S/ 250	S/ 700
Total anual				38 h			S/ 2 000

Fuente: Elaboración propia

Anexo 09: Costo de prevención, concepto de mejorar en el proceso operativo de fabricación

Actividad	Eventos/año	Horas por evento	Horas-hombre/año	Costo MO anual (S/)	Inversión / materiales anuales (S/)	Costo total anual (S/)
Inversión en motores, reductores y ejes para planta	2	20 h	40 h	S/ 1 500	S/ 11 700	S/ 13 200
Instalación de variadores de frecuencia y mejoras en tableros de control	1	24 h	24 h	S/ 700	S/ 2 800	S/ 3 500
Renovación de poleas, piñones y sistemas de transmisión	1	32 h	32 h	S/ 900	S/ 2 900	S/ 3 800
Implementación de protecciones de seguridad	1	20 h	20 h	S/ 500	S/ 1 200	S/ 1 700
Capacitación en temas de mejora del proceso	2	20 h	40 h	S/ 1 000	S/ 800	S/ 1 800
Total anual			156 h			S/ 24 000

Fuente: Elaboración propia

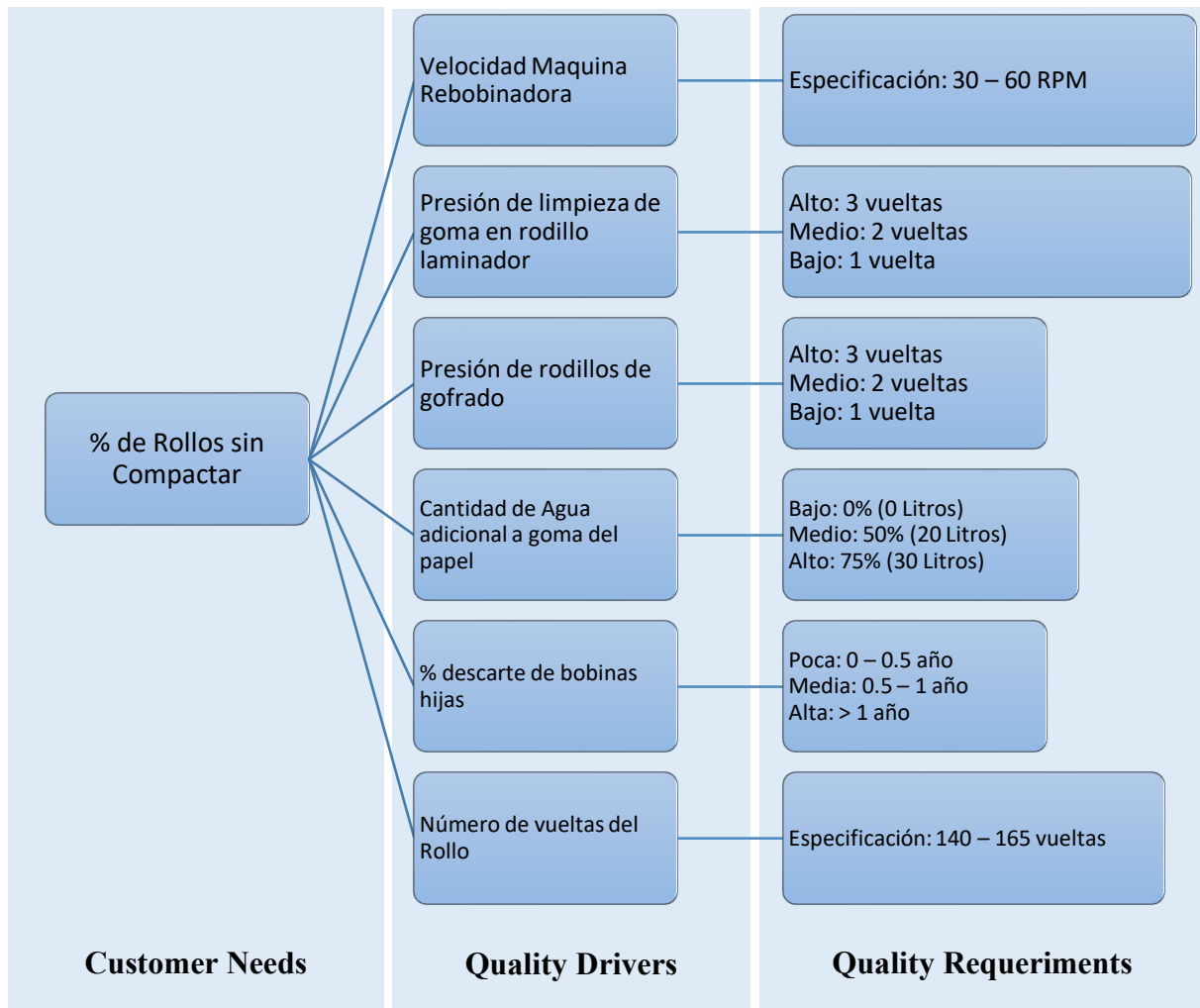
Anexo 10: Costo de prevención, concepto mantenimiento preventivo de la línea de papel higiénico

<i>Actividad</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Eventos/año</i>	<i>Horas por evento</i>	<i>Horas-hombre/año</i>	<i>Costo MO anual (S/)</i>	<i>Repuestos / servicios anuales (S/)</i>	<i>Costo total anual (S/)</i>
<i>Rutina semanal de engrase y lubricación de rodillos, chumaceras, cadenas y transmisión</i>	Semanal	52	3 h	156 h	S/ 5 400	S/ 1 800	S/ 7 200
<i>Inspecciones mecánicas mensuales</i>	Mensual	12	4 h	48 h	S/ 1 650	S/ 1 350	S/ 3 000
<i>Mantenimiento mayor trimestral de rodillos y rodamientos</i>	Trimestral	4	8 h	32 h	S/ 1 300	S/ 2 300	S/ 3 600
<i>Mantenimiento eléctrico preventivo de tableros</i>	Bimestral	6	4.5 h	27 h	S/ 1 050	S/ 1 650	S/ 2 700
<i>Rebobinado y reparación de motores críticos</i>	Anual	2	8 h	16 h	S/ 450	S/ 1 050	S/ 1 500
<i>Total anual</i>				279 h			S/ 18 000

Anexo 11: SIPOC de producción de papel higiénico institucional Pacasa

Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes
Proveedor de Bobinas	Bobinas madres	Recepción de Bobinas	Registro de Nota de Ingreso, Factura, Guía de Remisión	Almacen, Administración, Producción
Ventas, Almacén, Mantenimiento	Pedidos de clientes, Niveles de inventario de insumos y de PT, Calendario de Mntto	Daily Production Plan (DPP)	Plan de Producción Diario (Firmado), Planificación del Personal, Lista de Requerimiento de Materiales	Producción, Almacen de MP, Ventas, Mantenimiento
Producción	Orden de trabajo	Setup de rebobinadora	Rollos conformes (muestras), Maquina en estado "Lista".	Producción, Mantenimiento.
Producción, Mantenimiento.	Mano de obra calificado, Hojas de Control, Tubos de carton, Goma para papel higiénico	Rebobinado	Bobina hija o bobina tronco, datos de producción	Producción, Mantenimiento.
Rebobinado	Troncos "logs" listos, Sierra cinta, Hoja de control de corte	Corte	Rollos institucionales, Recorte de borde (merma), Rollos no conforme (descarte), Registro de tiempo de corte.	Empaque
Corte, Almacén	Rollos institucionales cortados, Bolsas impresas, Pistolas de calor, Selladora.	Empaque	Reporte de producción, Paquetes conformes, Paquetes descartes.	Almacén, Ventas.
Empaque	Paquetes conformes, Paquetes descartes.	Almacenado	Stock disponible	Ventas

Anexo 12: CTQ Tree Rollos sin compactar



Fuente: Elaboración propia

Anexo 13: Equipo de Proyecto

Nombre	Rol	Función
Edwin Soto	Sponsor /Gerente General	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo y compromiso al proyecto • Eliminación de obstáculos
Maycol Soto	Project Leader/Jefe de Producción	<ul style="list-style-type: none"> • Responsable de dirigir y coordinar todas las actividades relacionadas con la implementación del proyecto.
Noveldo Olaya	Process Owner/Técnico Supervisor	<ul style="list-style-type: none"> • El Líder del Proceso es responsable de liderar y supervisar la mejora continua del proceso en cuestión.
Robert Campos	Team Member	<ul style="list-style-type: none"> • Participación, colaboración y aporte en todas las fases de la metodología DMAIC

Fuente: Elaboración propia

Anexo 14: Gantt del Proyecto DMAIC



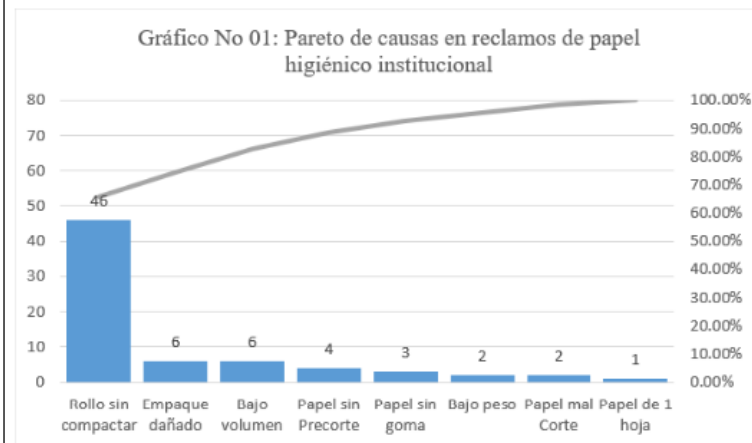
Anexo 15: Project Charter

PROJECT CHARTER

Título del proyecto:		Reducción de utilidades no percibidas por rollos sin compactar en empresa papelera en Lambayeque		
Autorizaciones				
	Nombre	Función/puesto	Fecha de autorización	Firma
A.	Edwin Soto	Sponsor /Gerente General	29-04-2024	
B.	Maycol Soto	Project Leader/Jefe de Aseguramiento de Calidad	29-04-2024	
C.	Noveldo Olaya	Process owner/Jefe de Producción Planta Galletas	29-04-2024	
D.	Robert Campos	Team Member	29-04-2024	
Contexto del proyecto				
<p>En Lambayeque – Perú, en el distrito de José Leonardo Ortiz se encuentra ubicada la empresa papelera marca Pacasa, con razón social Industria Artesanal Soto E.I.R.L. Que lleva operando bajo la misma denominación desde el 2019, teniendo como principal producto de su portafolio el papel higiénico institucional, además de ellos también produce gelatina en polvo en diferentes presentaciones, servilleta, velas artesanales dedicadas exclusivamente para época de velaciones. Empresa que cumple con todos los registros necesarios para su operatividad, incluido los registros sanitarios en el caso producto de consumo masivo. Horario Laboral 7:00 am – 6:00 pm, solo posee un solo turno.</p>				
Máquina Rebobinadora		Máquina de Corte		Mesa de Empaque.
				
<p>En la línea de papel higiénico institucional, el 45% de su producción está dedicada a elaboración de Productos de Papel Higiénico para distribuidores y tiendas mayoristas, quienes son nuestros principales clientes. El portafolio de productos en la línea de papel higiénico es: Pacasa Negro, Pacasa Azul, Pacasa Económico.</p>				
				

Descripción del problema

En la empresa papelera es recurrente el problema de los reclamos por defectos en los paquetes de papel higiénico institucional, cuya evolución se muestra en el siguiente gráfico, abarcando desde 2024 hasta la actualidad. Este problema es **especialmente crítico**, ya que la empresa recibe en promedio 5.3 reclamos por mes, sin haber logrado una reducción efectiva hasta el momento. Además del impacto en la calidad y la percepción del cliente, esta no conformidad representa una pérdida financiera directa, expresada en el indicador de **utilidades no percibidas (S/34'775.00)**, el cual refleja las ventas no concretadas a causa de la insatisfacción del cliente y el consecuente debilitamiento de la fidelización comercial.



Alcance del proyecto

5. El alcance de este proyecto está definido para la galleta tipo sánduche Coronita en la línea E. Las etapas del proceso que se trabajaran en este proyecto son desde el amasado hasta el empaque del producto. En este proyecto participarán las áreas de: Producción, Mantenimiento y Calidad.



Beneficios de negocio esperados (indicadores clave, \$)

6. Reducir las utilidades no percibidas por parte de reclamos de rollos sin compactar (S/34'775.00 ANUAL)

Objetivos del proyecto

7. Reducción del 15 % de Rollos sin Compactar por Lote en la línea de papel higiénico en Planta Lambayeque en un año

Entregables / resultados clave





Entregable 1: Fase 1. Fecha de entrega: 28 de Febrero

Entregable 2: Fase 2. Fecha de entrega: 30 de Mayo

Entregable 3: Fase 3. Fecha de entrega: 30 de Junio

Criterios de evaluación del éxito

Reducción del 50% anual de los costos asociados a la insatisfacción del cliente.

Limitaciones, riesgos, supuestos							
-							
Agenda			Métricos				
Etapa	Fecha de término		Métrico (Y)	Nivel actual	Meta	% mejora	Unidades
Definir	28/02/2025		% de Rollos sin Compactar por Lote	16%	Reducción en un 15% de paquetes incompletos	15%	% Rollos Sin Compactar
Medir	30/05/2025						
Analizar							
Mejorar							
Controlar							
Recursos Disponibles							
Económicos: -							
Equipos y materiales: -							
Miembros del equipo							
Nombre		Rol /Puesto		Firma			
Edwin Soto		Sponsor /Gerente General					
Maycol Soto		Project Leader/Jefe de Producción					
Noveldo Olaya		Process owner/ Técnico Supervisor					
Robert Campos		Team Member					

Anexo 16: Matriz de priorización I para metodología DMAIC

Matriz de Priorización I

CTQ: % de rollos sin compactar

Proceso	Edwin	Maycol	Nobeldo	Robert	Cálculo de importancia
Peso	7	7	10	3	
Rebobinado	9	10	10	10	263
Setup Rebobinadora	8	9	9	8	233
Cortado	7	7	7	6	186
DPP	5	4	3	4	105
Reporte a Calidad / Mant.	4	5	3	3	102
Embolsado Conformes	4	3	3	3	88
Embolsado Descarte	4	3	3	3	88
Recepción de bobinas	3	2	3	2	71
Sellado	3	3	2	2	68
Despacho de bobinas	2	2	2	2	54
Almacenado PT	2	2	1	1	41

Fuente: Elaboración propia

Anexo 17: Matriz de priorización II para metodología DMAIC

X - Y Matrix Table

Process:	Conversión de papel institucional
Date:	30/06/2025

ID	Input Variable (Xs)	Outputs Variable (Ys)				Ranking	
		Description	Edwin	Maycol	Noveldo		Robert
		Weight	7	7	10	3	
17	Presión rodillos goma		10	10	10	10	270
18	Humedad ambiente – corte		10	10	10	10	270
69	Nivel de filo sierra cinta		10	10	10	9	267
25	Velocidad promedio corte		10	9	10	9	260
77	Velocidad promedio rebobinado		9	10	10	9	260
71	Frecuencia control de calidad – corte		9	9	10	10	256
46	Diámetro polea reguladora – hijas		10	10	9	7	251
72	Secuencia correcta proceso – rebobinado		9	9	9	10	246
21	Alineación / tensión de correas		7	10	10	7	240
24	Limpieza de piedras afilado		10	7	10	7	240
35	Viscosidad goma papel		8	8	10	7	233
42	Frecuencia control de calidad – rebobinado		7	8	10	8	229
30	Ancho cuchilla sierra cinta		8	10	7	8	220
33	Almacenamiento bobinas madre		9	7	7	10	212
81	Presión rodillos gofrado		9	7	7	7	203
57	Diámetro polea reguladora – madre		7	7	7	9	195
31	Gramaje hoja de papel – rebobinado		7	7	7	7	189
75	Checklist arranque/paro – rebobinado		7	7	7	7	189
19	Checklist arranque/paro – corte		7	7	7	7	189
16	Condiciones de Ventilación – rebobinado		7	7	5	2	154
1	Años de experiencia del operador – rebobinado		3	3	3	3	81
6	Tasa de ausentismo – rebobinado		3	3	3	1	75
22	Cumplimiento mantto. preventivo – corte		2	3	3	3	74
54	Contaminantes aire – rebobinado		2	3	3	2	71
2	Horas de formación teórico-práctica – rebobinado		2	3	3	1	68
53	Espacio disponible – rebobinado		3	2	3	1	68
14	Cumplimiento mantto. preventivo – rebobinado		1	3	3	3	67
55	Seguridad entorno – rebobinado		1	3	3	3	67

Anexo 18: Diagrama Ishikawa de proceso Setup y Rebobinado para CTQ Porcentaje de rollos sin compactar.

Mano de Obra	Maquinaria	Materiales	Medición	Medioambiente	Método
Años de experiencia del operador	Cumplimiento del mantenimiento preventivo	Gramaje de la hoja del papel	Frecuencia de control de calidad rollos	Lux sobre mesa de corte	Tiempo de setup de corte
Horas de formación teórico-práctico del operador	Frecuencia de paradas no programadas	Diámetro de la bobina hija	Exactitud de los instrumentos de medición	Nivel de ruido	Velocidad promedio de corte
Índice de fatiga del operador	Frecuencia de limpieza de piedras	Calidad de almacenamiento de bobinas hijas	Frecuencia de calibración de instrumentos	Condiciones de limpieza en el área	Secuencia correcta de pasos
Índice de clima laboral	Nivel de filo de sierra cinta	Gramaje de papel en tucos	% de scrap por lote	Nivel de espacio en el área	Uso de tecnología en el proceso
Tasa de ausentismo	Estado de poleas de cortadora	Humedad de papel en bobinas hijas		Presencia de contaminantes en el aire	Cumplimiento del SOP
Ergonomía del área de trabajo	Correcto ajuste de rodajes de alineación			Seguridad en el entorno de trabajo	Check list de arranque/paro completados
	Calidad de soldado de sierra cinta			Variación de energía/voltaje	
	Tensión de sierra cinta (cuchilla)			Condiciones de ventilación	
	Ancho de cuchilla sierra cinta			Temperatura del ambiente	
				Humedad del ambiente	

Fuente: Elaboración propia

Diagrama Ishikawa de proceso Corte para CTQ Porcentaje de rollos sin compactar

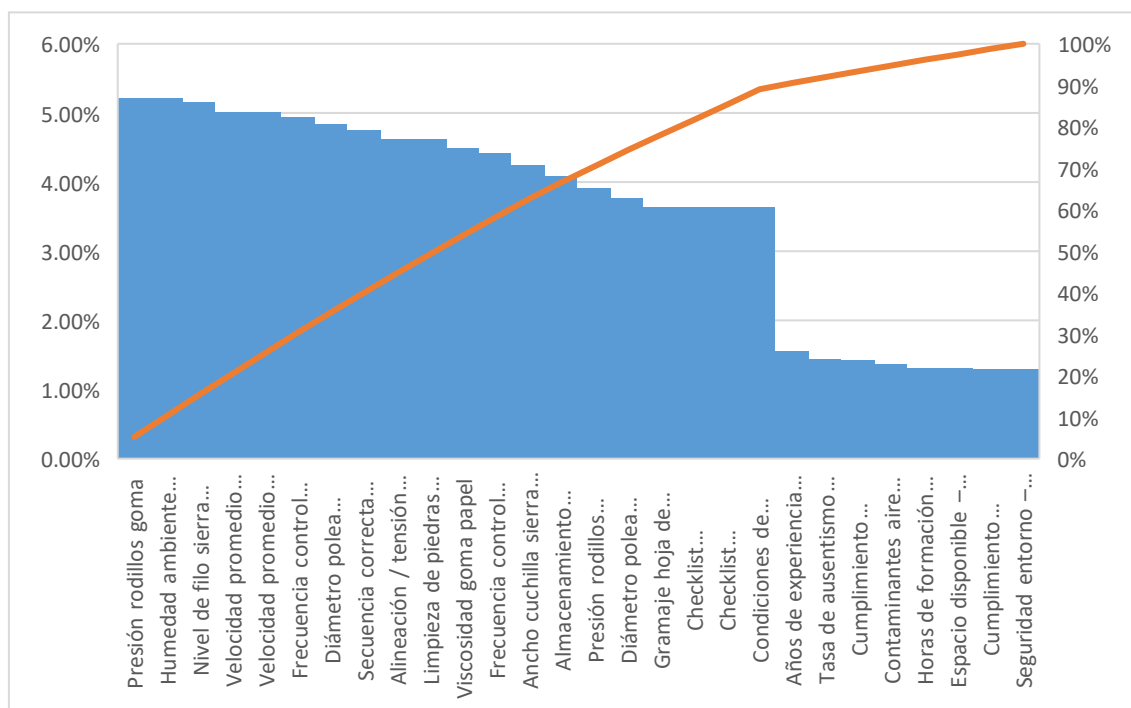
Mano de Obra	Maquinaria	Materiales	Medición	Medioambiente	Método
Años de experiencia del operador	Cumplimiento del mantenimiento preventivo	Gramaje de la hoja del papel	Frecuencia de control de calidad	Nivel de iluminación	Tiempo de Setup de rebobinado
Horas de formación teórico-práctico del operador	Frecuencia de paradas no programadas	Diámetro de la bobina madre	Exactitud de los instrumentos de medición	Nivel de ruido	Velocidad promedio de rebobinado
Operador con ayudante (SI /NO)	Presión de rodillos del gofrado	Calidad de almacenamiento de bobinas madres	Frecuencia de calibración de instrumentos	Condiciones de limpieza en el área	Secuencia correcta de proceso
Nivel de fatiga del operador	Presión de rodillos de goma	Gramaje de papel en tucos	% de scrap por lote	Nivel de espacio en el área	Uso de tecnología en el proceso
índice de clima laboral	Diámetro de polea reguladora de bobinas hijas	Viscosidad de goma del papel		Presencia de contaminantes en el aire	Cumplimiento del SOP
Tasa de ausentismo	Diámetro de polea reguladora de bobinas madre	Proveedor de bobinas		Seguridad en el entorno de trabajo	Check list de arranque/paro completados
Ergonomía del área de trabajo	Calidad de piezas de repuestos			Variación de energía/voltaje	
	Alineación/Tensión de correas			Condiciones de ventilación	
				Temperatura del ambiente	
				Humedad del ambiente	

Anexo 19: AMEF del proyecto completo

Nombre del proceso	QUE ES CRITICO DE CALIDAD EN ESTE PASO?	MODO DE FALLA (FAILURE MODE) (INPUT) ¿QUE PUEDE SALIR MAL?	EFFECTO DE FALLA (FAILURE EFFECT) (OUTPUT) ¿QUÉ EFECTO TIENE?	S E V	Causa potencial ¿QUE LO PROVOCÓ?	O C C	Controles Actuales (PREV / DETECT)	D E T	N P R	ACCION A REALIZAR	RESPONSABLE	FECHA COMPROMISO	SEV	OCC	DET	NPR	Zona Severidad: OCC/SEV	Zona Detectabilidad :DET/SEV	Priorización de Acción: 1: hacer algo, 2: Muy deseable, 3: Opcional
Recepción de bobinas (MP)	Calidad conforme de materiales	Calidad no conforme de material	Producto no conforme en rollos, retrabajo, pérdida económica.	6	Nivel de estrés de operador. No existe estandarización del proceso, Años de experiencia del operador, Nivel de motivación del personal, Desempeño del operador	1	EXISTE INSPECCIONES DE CONTROL DE CALIDAD AL INGRESO DE MATERIALES.	1	6	Capacitar con frecuencia trimestral al personal que realiza la recepción de materiales en temas operativos y de softs skills.	Coordinador de almacén	Trimestral	6	1	1	6	3	3	3
Despacho de bobinas	Correcta asignación de lote	Incorrecta asignación de lote	Producto no conforme por mal asignación de lote, sin disponibilidad de material	6	Nivel de estrés de operador, Horas de capacitación de operador, Años de experiencia del operador, Nivel de motivación del personal, Desempeño del operador, Ausentismo del operador	1	EXISTE PROCEDIMIENTO DE ASIGNACIÓN DE LOTES, EXISTE REGISTRO DE ASIGNACION DE LOTES	1	6	Capacitar con frecuencia trimestral al personal que realiza la asignación de lote de materiales en temas operativos y de softs skills.	Coordinador de almacén	Trimestral	6	1	1	6	3	3	3
Daily Production Plan (DPP)	Cumplimiento de plan por SKU, secuencia de producción, trazabilidad de cada SKU	Equivocación en cantidades, retrasos en pedidos, falta en niveles de inventario, confusión en trazabilidad	Incumplimiento de pedidos de clientes, pérdidas económicas, retrabajos, pérdida de tiempo, bajos niveles de inventario	7	Sobre carga del planificador, forecast poco confiable, No existe estandarización del proceso, Operador con poca experiencia, Nivel de motivación del personal, Desempeño del operador, Ausencia del personal, Insuficientes KPIS	1	EXISTE REGISTRO DE PLAN DIARIO DE PRODUCCIÓN	1	7	Implementar KPIS para mejorar el control de DPP, Implementar Dashboar plan vs real.	Jefe de producción	30/09/2025	7	1	1	7	3	3	3
Setup Rebobinadora	Tiempo de proceso, Velocidad de máquina, número de vueltas por SKU, Viscosidad de goma, Tipo de SKU	Incorrecta viscosidad de goma en papel, incorrecta programación de vueltas, incorrecto ajuste en presión de rodillos, falla en presión de laminador, equivocación en tubo PVC rebobinador, falla en diámetro de polea reguladora	Rollos descarte, scrap, rollos sin compactar, rollos bajo peso, rollos bajo volumen, exceso de peso en rollos, exceso de volumen.	8	Nivel de estrés de operador. No existe estandarización del proceso, Viscosidad de goma en papel, Presión de rodillos de goma (laminador), Velocidad de rebobinado, Diámetro de polea reguladora 2, Presión de rodillos de gofrado, Secuencia correcta de proceso, No cumplir Check list de arranque	3	NO EXISTE CONTROL DE SETUP DE REBOBINADO. CHECK LIST DE ARRANQUE	6	144	ESTANDARIZAR SKU'S PARA SETUP DE REBOBINADO, ROTULAR TUBOS, ACTUALIZAR CHECK LIST DE ARRANQUE	Jefe de producción	30/09/2025	8	3	6	144	2	2	2
Rebobinado	Tiempo de proceso, Velocidad de máquina, número de vueltas por SKU, Viscosidad de goma, Tipo de SKU, Diámetro de rollo	Rotura manta de papel, bobinas hijas sin goma, bobinas hijas sin compactación, Exceso de vueltas, rollos con poco peso, rollos con bajo volumen, scrap.	Rollos descarte, scrap, rollos sin compactar, rollos bajo peso, rollos bajo volumen, exceso de peso en rollos, exceso de volumen.	8	Nivel de estrés de operador. No existe estandarización del proceso, Viscosidad de goma en papel, Presión de rodillos de goma (laminador), Velocidad de rebobinado, Diámetro de polea reguladora 1, Diámetro de polea reguladora 2, Presión de rodillos de gofrado, Secuencia correcta de proceso, No cumplir Check list de arranque, Condiciones de limpieza del área	5	NO EXISTE CONTROL DE REBOBINADO	8	320	REALIZAR ANALISIS SIX SIGMA	Jefe de producción	30/09/2025	8	5	8	320	1	1	1
Cortado	Corte uniforme, velocidad de corte, scrap, rollos descarte, rollos conformes	Incorrecta calibración del corte, baja productividad, corte uniforme, descalibración de filo de cuchillas, secuencia incorrecta de pasos, accidentes laborales.	Rollos descarte, scrap, rollos sin compactar, rollos bajo peso, rollos bajo volumen, exceso de peso en rollos, exceso de volumen, tiempos muertos.	7	Horas de capacitación, Rotación de personal, Años de experiencia del operador, No de personal por turno, La maquina esta descalibrada, Velocidad de corte, Nivel de filo de sierra cinta, Ancho de sierra cinta, humedad de bobinas hija, tensión sierra cinta, limpieza de piedras de afilar	4	EXISTE CONTROL DE ROLLOS DESPUÉS DE CORTE	4	112	REALIZAR ANALISIS SIX SIGMA	Jefe de producción	Semestral	7	4	4	112	1	3	2
Embolsado	Embolsado conforme	Equivocación de bolsas (SKU), Daño en rollos por manipulación, scrap/ descarte.	Exceso en mermas, reclamos de clientes, exceso scrap/ descarte, pérdida económica, tiempos muertos	7	Horas de capacitación, Rotación de personal, Años de experiencia del operador, No de personal por turno, Filo descalibrado, Velocidad de corte, humedad de bobinas hijas, limpieza de piedras de afilar	1	NO EXISTE CONTROL DE EMBOLSADO	7	49	Capacitar al personal operativo, ESTANDARIZAR EL PROCESO.	Jefe de producción	Semestral	7	1	7	49	3	2	3
Sellado	Empaque conforme, Desempeño de sellado, Cantidad de merma (bolsas)	Empaque mal sellado, empaque dañado, Exceso volumen en empaque, empaque flojo, equivocación de empaque, baja productividad.	Exceso en mermas, reclamos de clientes, exceso scrap/ descarte, pérdida económica, tiempos muertos	8	Horas de capacitación, Rotación de personal, Años de experiencia del operador, No de personal por turno, Filo descalibrado, Velocidad de corte, humedad de bobinas hijas, limpieza de piedras de afilar	2	EXISTE CONTROL DE EMPAQUES CADA 2 HORAS	7	112	Capacitar al personal operativo en CONTROL DE MERMAS.	Jefe de producción	Semestral	8	2	7	112	3	2	3
Almacenado PT	Temperatura de almacenado, Rotación FIFO, Humedad relativa, Correcta estiba	Humedad/ Temperatura fuera de especificación,	Galletas no conformes, merma, retrabajo, bajo niveles de producción	6	Horas de capacitación, Rotación de personal, Años de experiencia del operador, No de personal por turno, La maquina esta descalibrada.	2	EXISTE REGISTRO DE VELOCIDADES DE BANDAS DE ENFRIAMIENTO	3	36	Capacitar al personal operativo cada 6 meses sobreel estándar de la velocidad de bandas de enfriamiento	Supervisor de Producción Amasado - Corporación Superior	Semestral	6	2	3	36	3	3	3

Anexo 20: Pareto acumulado de variables Xs críticas respecto al CTQ

Gráfica de Pareto acumulado de variables Xs críticas respecto al CTQ: % de rollos sin compactar



Fuente: Elaboración propia

Anexo 21: Tabla de Pareto con porcentaje acumulado de variables independientes

ID	Input Variable (Xs)	Ranking	%Rank.	Acum.
17	Presión rodillos goma	270	5.21%	5.21%
69	Humedad ambiente – corte	270	5.21%	10.43%
25	Nivel de filo sierra cinta	267	5.16%	15.58%
77	Velocidad promedio corte	260	5.02%	20.60%
71	Velocidad promedio rebobinado	260	5.02%	25.62%
46	Frecuencia control de calidad – corte	256	4.94%	30.57%
18	Diámetro polea reguladora – hijas	251	4.85%	35.41%
72	Secuencia correcta proceso – rebobinado	246	4.75%	40.16%
21	Alineación / tensión de correas	240	4.63%	44.80%
24	Limpieza de piedras afilado	240	4.63%	49.43%
35	Viscosidad goma papel	233	4.50%	53.93%
42	Frecuencia control de calidad – rebobinado	229	4.42%	58.35%
30	Ancho cuchilla sierra cinta	220	4.25%	62.60%
33	Almacenamiento bobinas madre	212	4.09%	66.69%

81	Presión rodillos gofrado	203	3.92%	70.61%
57	Diámetro polea reguladora – madre	195	3.77%	74.38%
31	Gramaje hoja de papel – rebobinado	189	3.65%	78.03%
75	Checklist arranque/paro – rebobinado	189	3.65%	81.68%
16	Checklist arranque/paro – corte	189	3.65%	85.33%
19	Condiciones de Ventilación – rebobinado	189	3.65%	88.97%
1	Años de experiencia del operador – rebobinado	81	1.56%	90.54%
6	Tasa de ausentismo – rebobinado	75	1.45%	91.99%
22	Cumplimiento mantto. preventivo – corte	74	1.43%	93.42%
54	Contaminantes aire – rebobinado	71	1.37%	94.79%
2	Horas de formación teórico-práctica – rebobinado	68	1.31%	96.10%
53	Espacio disponible – rebobinado	68	1.31%	97.41%
14	Cumplimiento mantto. preventivo – rebobinado	67	1.29%	98.71%
55	Seguridad entorno – rebobinado	67	1.29%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Anexo 22. Metodología (Lean o DOE) a aplicar para cada variable según su naturaleza

Factores seleccionados para el proyecto		Metodología a utilizar	
Causa Principales	Codificación de causas principales	Lean	DOE
Humedad del ambiente	% de Humedad en el ambiente		X
Nivel de filo sierra cinta	Nivel de filo de sierra cinta	X	
Velocidad promedio corte	Velocidad promedio corte		X
Velocidad promedio rebobinado	Velocidad promedio rebobinado		X
Diámetro polea reguladora – hijas	Diámetro polea reguladora bobina hija		X
Presión rodillos goma	Nivel de presión de rodillos de goma		X
Secuencia correcta proceso – rebobinado	Secuencia correcta proceso rebobinado	X	
Limpieza de piedras de afilar	Limpieza de piedras de afilar	X	
Alineación / tensión de correas	Alineación tensión de correas	X	
Viscosidad goma papel	Nivel de Viscosidad de goma en papel		X
Frecuencia control de calidad	Frecuencia control de control calidad	X	
Ancho cuchilla sierra cinta	Ancho cuchilla sierra cinta		X
Almacenamiento bobinas madre	Calidad de almacenamiento bobinas madre	X	
Checklist arranque/paro – corte	Checklist arranque paro arranque afilar	X	

Ventilación – rebobinado	Condiciones de ventilación	X	
Gramaje hoja de papel – rebobinado	Gramaje hoja de hoja papel rebobinado		X
Checklist arranque/paro – rebobinado	Checklist arranque /paro completados	X	
Presión rodillos gofrado	Nivel de presión de rodillos gofrado		X
Diámetro polea reguladora – madre	Diámetro polea reguladora madre		X

Anexo 23: Resultados del MSA a través de Minitab

Tabla de Instrumento de medición

Parámetro	Detalle
Instrumento	Calibrador Vernier
Resolución	0,1 mm
Fecha de calibración	30/06/25
Ubicación del estudio	Planta de Conversión
Condiciones ambientales	23 ± 2 °C, HR ≤ 60 %

Fuente: Elaboración propia

Tabla de Personal Involucrado

Operador	Nivel de experiencia
Ana Reyes	Intermedio
Ruby Miñope	Intermedio
Noveldo Olaya	Experto

Fuente: Elaboración propia

Tabla de ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Parte	9	6325.02	702.780	1265.20	0.000
Operador	2	4.75	2.377	4.28	0.030
Parte * Operador	18	10.00	0.555	0.98	0.492
Repetibilidad	60	33.95	0.566		
Total	89	6373.73			

Fuente: Elaboración propia

Tabla de Evaluación del sistema de medición

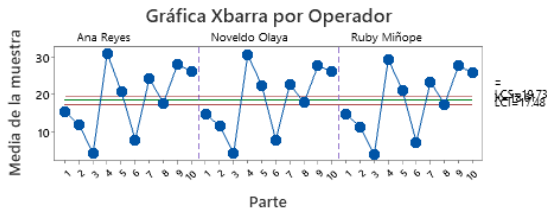
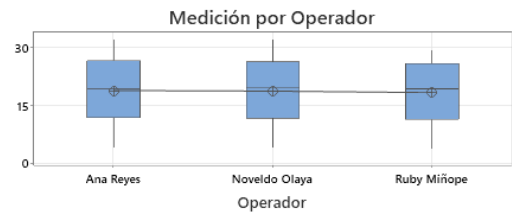
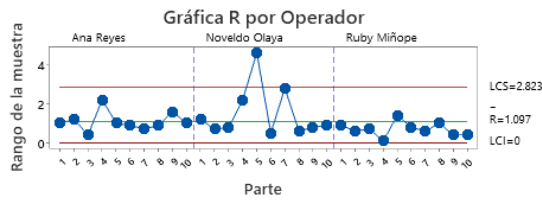
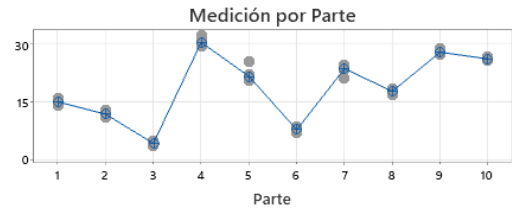
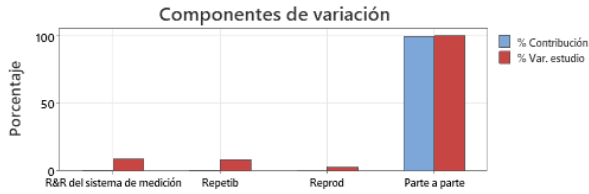
Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	0.78990	4.7394	8.91
Repetibilidad	0.75066	4.5039	8.46
Reproducibilidad	0.24590	1.4754	2.77
Operador	0.24590	1.4754	2.77
Parte a parte	8.83312	52.9987	99.60
Variación total	8.86837	53.2102	100.00

Fuente: Elaboración propia

Anexo 24: Gráficos de informe R&R del análisis MSA

Informe de R&R del sistema de medición (ANOVA) para Medición

Nombre del sistema de medición : Medición de Compactación R
 Fecha del estudio: 30 Jun 2025
 Notificado por:
 Tolerancia:
 Misc:



Anexo 26: Desarrollo de estadísticos descriptivos de Variables en Minitab

Minitab - Estadística básica de variables independientes.MPJX

Archivo Editar Datos Calc Estadísticas Gráfica Vista Ayuda Asistente Módulo de Analítica predictiva Herramientas adicionales

Navegador

- Estadísticos descriptivos: % HR
- Estadísticos descriptivos: % HR
- Estadísticos descriptivos: % HR
- Estadísticos descriptivos: % HR
- Estadísticos descriptivos: Velocida...
- Estadísticos descriptivos: Velocida...
- Estadísticos descriptivos: Velocida...
- Estadísticos descriptivos: Diámetr...
- Estadísticos descriptivos: Nivel Pre...
- Estadísticos descriptivos: Ancho C...
- Estadísticos descriptivos: Gramaje ...
- Estadísticos descriptivos: Nivel Pre...
- Estadísticos descriptivos: Diámetr...**
- Estadísticos descriptivos: Velocida...
- Cuenta de variables discretas: Vel...
- Cuenta de variables discretas: Niv...
- Estadísticos descriptivos: Viscosid...
- Prueba e IC para una proporción: ...

Estadísticos descriptivos: D... x

HOJA DE TRABAJO 1

Estadísticos descriptivos: Diámetro polea reguladora madre

Estadísticas

Variable	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Mediana	Máximo
Diámetro polea reguladora madre	25.007	0.0388	0.388	0.151	24.000	25.000	25.900

Histograma de Diámetro polea reguladora madre

Gráfico de barras que muestra la frecuencia de los diámetros de la polea reguladora madre. El eje X representa el diámetro (ranging from 24.0 to 25.8) and the eje Y represents the frequency (ranging from 0 to 16). The distribution is roughly bell-shaped but slightly skewed to the right.

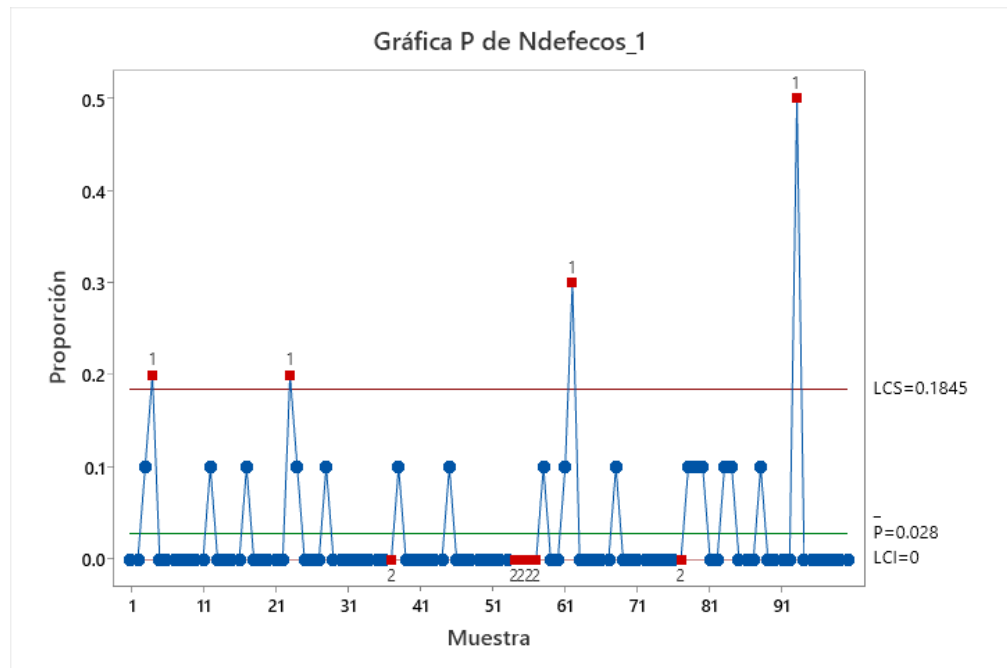
Histograma (con curva normal) de Diámetro polea reguladora madre

Gráfico de barras con una curva normal superpuesta. El eje X representa el diámetro (ranging from 24.0 to 25.8) and the eje Y represents the frequency (ranging from 0 to 16). The distribution is roughly bell-shaped but slightly skewed to the right.

Media 25.01
Desv.Est. 0.3883
N 100

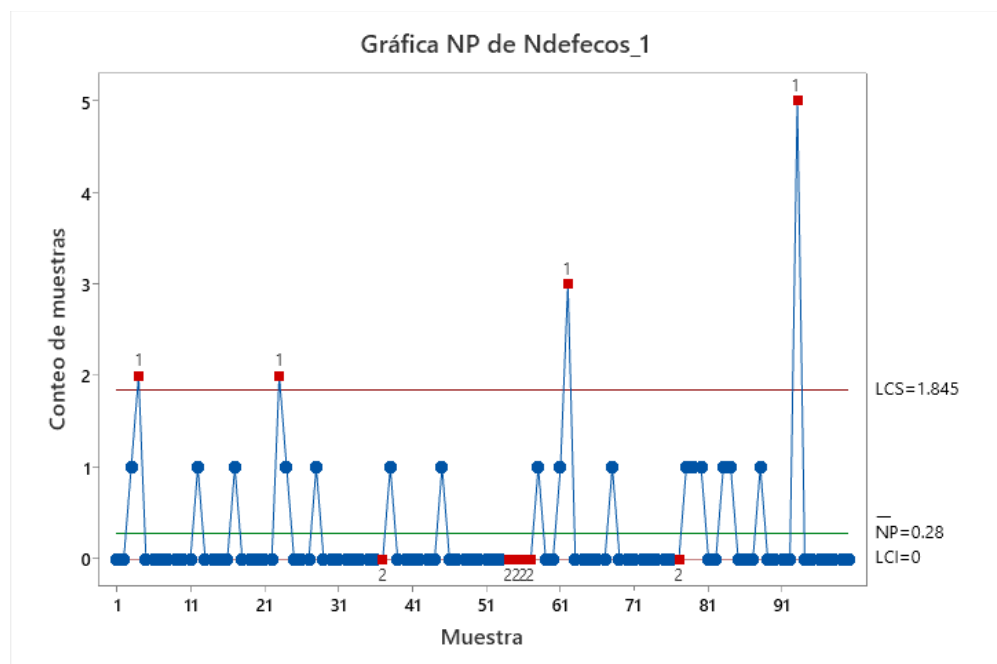
#	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
	Diámetro polea reguladora bobin	Nivel Presión Rodillo Goma	Ancho Cuchilla (mm)	Gramaje hoja de papel (g/m ²)	Nivel Presión Rodillos Gofrado	Diámetro polea reguladora madre	Viscosidad Goma			
1	16.6	3	49.93	19.1	3	25.4	1			
2	15.8	3	48.43	19.1	2	24.2	1			
3	15.9	3	46.74	19.1	3	25.2	1			
4	16.4	3	45.24	19.1	3	24.7	1			

Anexo 27: Grafico P y NP para % de Rollos Compactados (Muestra)



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 04: Gráfico de control NP para Rollos Compactados enero 2025



Fuente: Elaboración propia

Anexo 28: Pruebas de hipótesis para la variable % de humedad en el ambiente

Nombre del factor (X)	% de humedad relativa en el ambiente
Niveles del factor (X)	No se definen niveles específicos, se considera el % de humedad relativa en el ambiente como una variable continua.
Tipo de datos del factor	Variable Continua
Nombre de la respuesta (Y)	% Rollos sin compactar
Tipo de dato de la respuesta	Continua
Herramientas estadísticas y/o esbeltas usadas por variable	Regresión Lineal Simple
Tamaño de la muestra por variable	100
Prueba de hipótesis:	
H₀	$\beta_1 = 0$ El factor Porcentaje de humedad en el ambiente No Influye en el % Rollos Sin Compactar
H_a	$\beta_1 \neq 0$ El factor Porcentaje de humedad en el ambiente Si Influye en el % Rollos Sin Compactar
valor-P	0.725
Conclusión	El valor – P es de 0.725, lo cual indica que no hay evidencia estadísticamente significativa para afirmar que el porcentaje de humedad relativa en el ambiente tiene un efecto sobre el porcentaje de rollos sin compactar.
Decisión	No se rechaza la hipótesis nula (H ₀): el porcentaje de humedad relativa en el ambiente no influye significativamente en el porcentaje de rollos sin compactar.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Coeficientes del modelo de regresión lineal

Término	Coefficiente	Error estándar	Valor T	Valor-p	FIV
Constante	0.130	0.265	0.49	0.626	–
%H	-0.00120	0.00341	-0.35	0.725	1.00

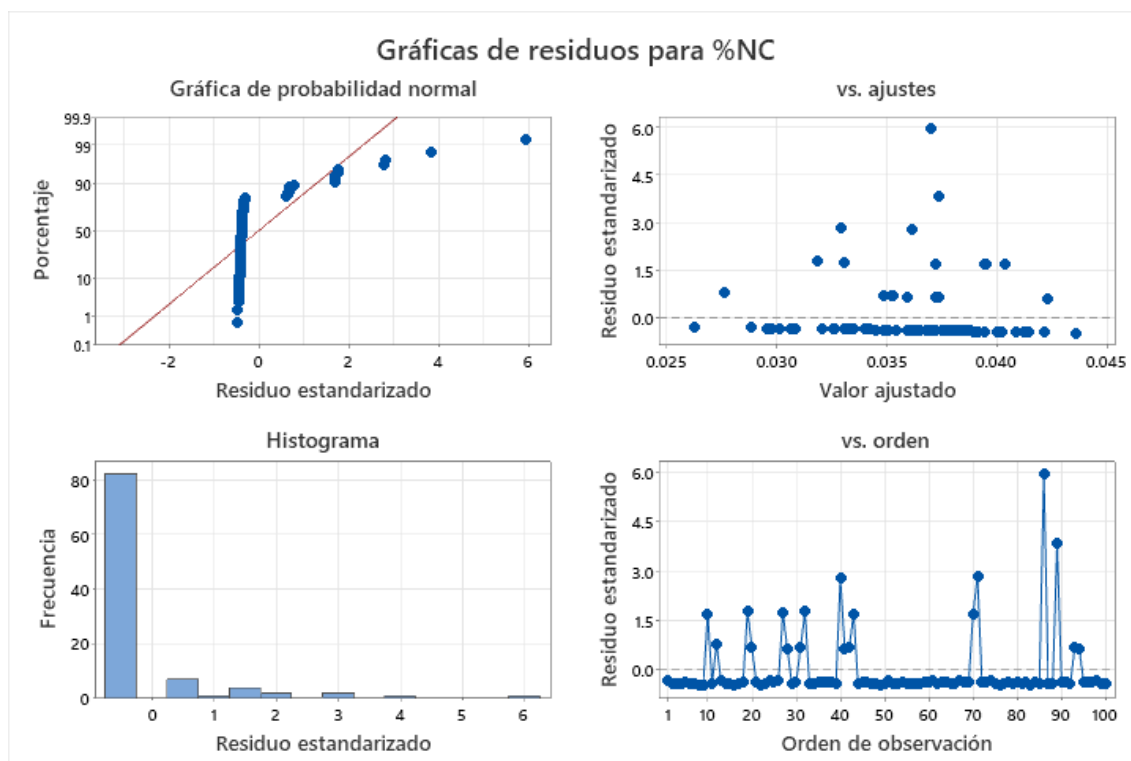
Fuente: Elaboración propia

Tabla Indicadores de ajuste del modelo

Métrica	Valor
R-cuadrado (%)	0.13%
R-cuadrado ajustado (%)	0.00%
R-cuadrado predicho (%)	0.00%
Desviación estándar (S)	0.0953

Fuente: Elaboración propia

Imagen Gráfica 4 en 1 del modelo de regresión lineal



Fuente Elaboración propia

Anexo 29: Pruebas de hipótesis para la variable % de velocidad promedio de corte

Nombre del factor (X)	Velocidad Promedio del Corte
Niveles del factor (X)	Se definen 3 niveles
Tipo de datos del factor	Variable Discreta
Nombre de la respuesta (Y)	% Rollos sin compactar
Tipo de dato de la respuesta	Continua
Herramientas estadísticas y/o	Prueba no Parametrica: Kruskal – Wallis

esbeltas usadas por variable	
Tamaño de la muestra por variable	450
Prueba de hipótesis:	
H₀	<i>Todas la medianas son iguales</i>
H_a	<i>Almenos una mediana es diferente</i>
valor-P	0.255
Conclusión	Dado que el Valor – P es 0.255 es mayor que el nivel de significancia de 0.05, Indica que no existe diferencias estadísticamente significativas.
Decisión	No se rechaza la hipótesis nula (H ₀): Las medianas del % de rollos sin compactar son estadísticamente iguales entre los distintos niveles de velocidad de corte. Esta variable independiente no influye en Y

Fuente: Elaboración propia

Tabla Estadística descriptiva por grupo de variable velocidad promedio de corte

Velo Corte	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
1	77	0	228.2	0.20
2	221	0	229.4	0.63
3	152	0	218.4	-0.82
General	450	–	225.5	–

Fuente: Elaboración propia

Tabla Prueba de Kruskal – Wallis: % RSC vs. Velocidad promedio de corte

Método	GL	Valor H	Valor-p
No ajustado para empates	2	0.68	0.711
Ajustado para empates	2	2.73	0.255

Fuente: Elaboración propia

Anexo 30: Pruebas de hipótesis para la variable velocidad promedio de rebobinado

Nombre del factor (X)	Velocidad Promedio del Corte
Niveles del factor (X)	No se definen niveles específicos, se considera la velocidad promedio de rebobinado como una variable continua.
Tipo de datos del factor	Variable Continua

Nombre de la respuesta (Y)	% Rollos sin compactar
Tipo de dato de la respuesta	Continua
Herramientas estadísticas y/o esbeltas usadas por variable	Modelo de Regresión Cuadrática
Tamaño de la muestra por variable	450
Prueba de hipótesis:	
H₀	$\beta_1 = 0$ El factor Velocidad Promedio de Rebobinado No Influye en el % Rollos Sin Compactar
H_a	$\beta_1 \neq 0$ El factor Velocidad Promedio de Rebobinado Si Influye en el % Rollos Sin Compactar
valor-P	< 0.00001
Conclusión	Dado que el Valor – P menor a 0.05, Indica que si existe diferencias estadísticamente significativas.
Decisión	Se rechaza la hipótesis nula (H ₀) y se Acepta la hipótesis alterna (H _a), el factor de velocidad promedio de rebobinado si influye en la variable Porcentaje de Rollos Sin Compactar.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Resultado del Modelo de Regresión Cuadrática

Término	Coefficiente (Coef)	Error Estándar (EE)	Valor T	Valor p	FIV
Constante	0.6431	0.0484	13.30	0.000	—
Vreb	0.02548	0.00275	9.27	0.000	36.96
Vreb²	-0.000451	0.000038	-11.82	0.000	36.96

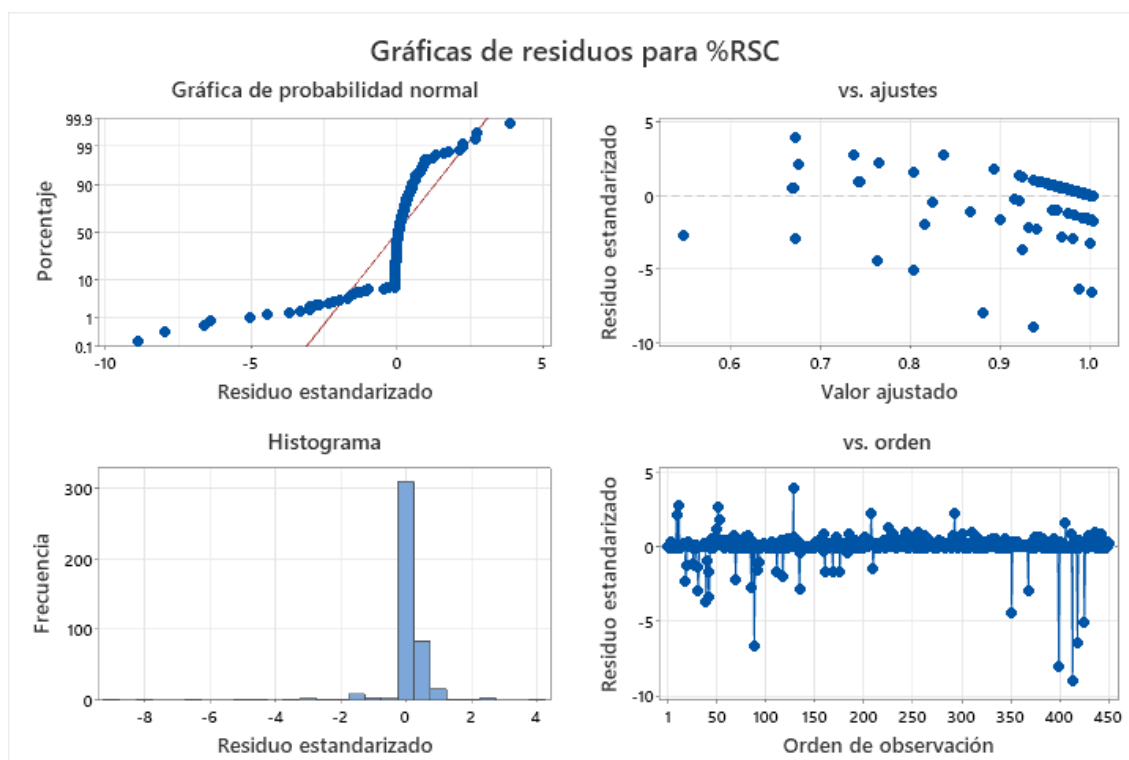
Fuente: Elaboración propia

Tabla Indicadores del modelo cuadrático

Indicador	Valor
R-cuadrado	43.91 %
R-cuadrado ajustado	43.66 %
R-cuadrado predicho	41.77 %
Desviación estándar (S)	0.0607
Valor p (modelo completo)	< 0.0001

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4 en 1 del modelo de regresión cuadrático



Fuente: Elaboración propia

Anexo 31: Pruebas de hipótesis para la variable Diámetro polea reguladora de bobina hija

Nombre del factor (X)	Diámetro de Polea Reguladora de Bobina Hija
Niveles del factor (X)	No se definen niveles específicos, se considera el diámetro de la polea reguladora de bobina hija como una variable continua.
Tipo de datos del factor	Variable Continua
Nombre de la respuesta (Y)	% Rollos sin compactar
Tipo de dato de la respuesta	Continua
Herramientas estadísticas y/o esbeltas usadas por variable	Modelo de Regresión Lineal
Tamaño de la muestra por variable	450
Prueba de hipótesis:	

H₀	$\beta_1 = 0$ El factor Diámetro de Polea Reguladora Bobina Hija No Influye en el % Rollos Sin Compactar
H_a	$\beta_1 \neq 0$ El factor Diámetro de Polea Reguladora Bobina Hija Si Influye en el % Rollos Sin Compactar
valor-P	0.00001
Conclusión	Dado que el Valor – P menor a 0.05, Indica que si existe diferencias estadísticamente significativas.
Decisión	Se rechaza la hipótesis nula (H ₀) y se Acepta la hipótesis alterna (H _a), el factor de velocidad promedio de rebobinado si influye en la variable Porcentaje de Rollos Sin Compactar.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Coeficientes para respuesta transformada

Término	Coef.	EE del coef.	Valor T	Valor P	FIV
Constante	-2.180	0.286	-7.62	1.536×10^{-15}	—
DPR_BH	0.2903	0.0363	8.00	1.10×10^{-14}	859.34
DPR_BH²	-0.00967	0.00115	-8.41	6.00×10^{-16}	859.34

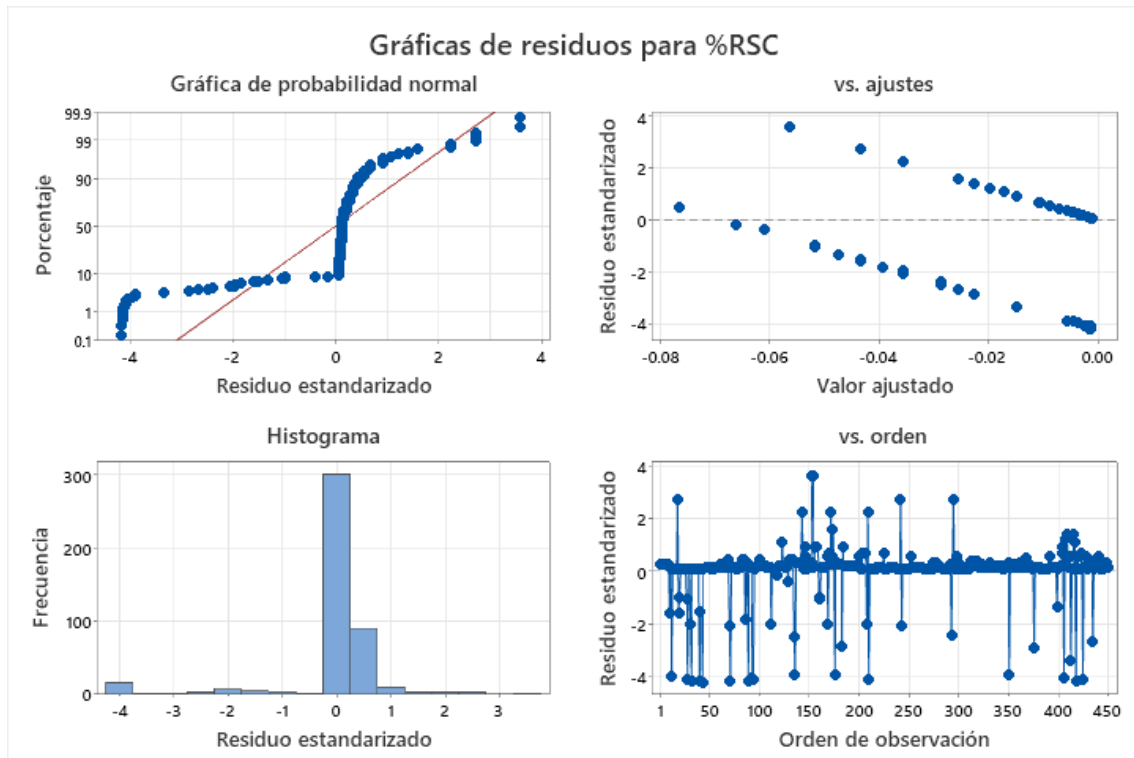
Fuente: Elaboración

Tabla Indicadores del modelo para respuesta transformada

Estadístico	Valor
S	0.0161566
R-cuadrado	32.09 %
R-cuadrado ajustado	31.79 %
R-cuadrado predicho	30.53 %

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4 en 1 del modelo de regresión cuadrático



Fuente: Elaboración propia

Anexo 32: Pruebas de hipótesis para la variable Nivel de Presión de Rodillos de Goma

Nombre del factor (X)	Nivel de Presión de Rodillos de Goma
Niveles del factor (X)	Se definen 4 niveles (baja, media, normal y alta)
Tipo de datos del factor	Variable Discreta
Nombre de la respuesta (Y)	% Rollos sin compactar
Tipo de dato de la respuesta	Continua
Herramientas estadísticas y/o esbeltas usadas por variable	Prueba no Parametrica: Kruskal – Wallis
Tamaño de la muestra por variable	450
Prueba de hipótesis:	
H_0	Todas la medianas son iguales

H_a	<i>Almenos una mediana es diferente</i>
valor-P	1.00×10^{-24}
Conclusión	Dado que el Valor – P menor a 0.05, Indica que si existe diferencias estadísticamente significativas.
Decisión	Se rechaza la hipótesis nula (H ₀) y se Acepta la hipótesis alterna (H _a), el factor nivel de presión de rodillos de goma si influye en la variable Porcentaje de Rollos Sin Compactar.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Estadística descriptiva por nivel de presión de rodillos de goma

Nivel de Presión (NPRGoma_1)	N	Mediana	Clasificación de rangos medios	Valor Z
1	9	0.5	6.6	-5.10
2	33	0.9	92.4	-6.11
3	255	1.0	239.0	2.52
4	153	1.0	244.6	2.24
Total	450	—	225.5	—

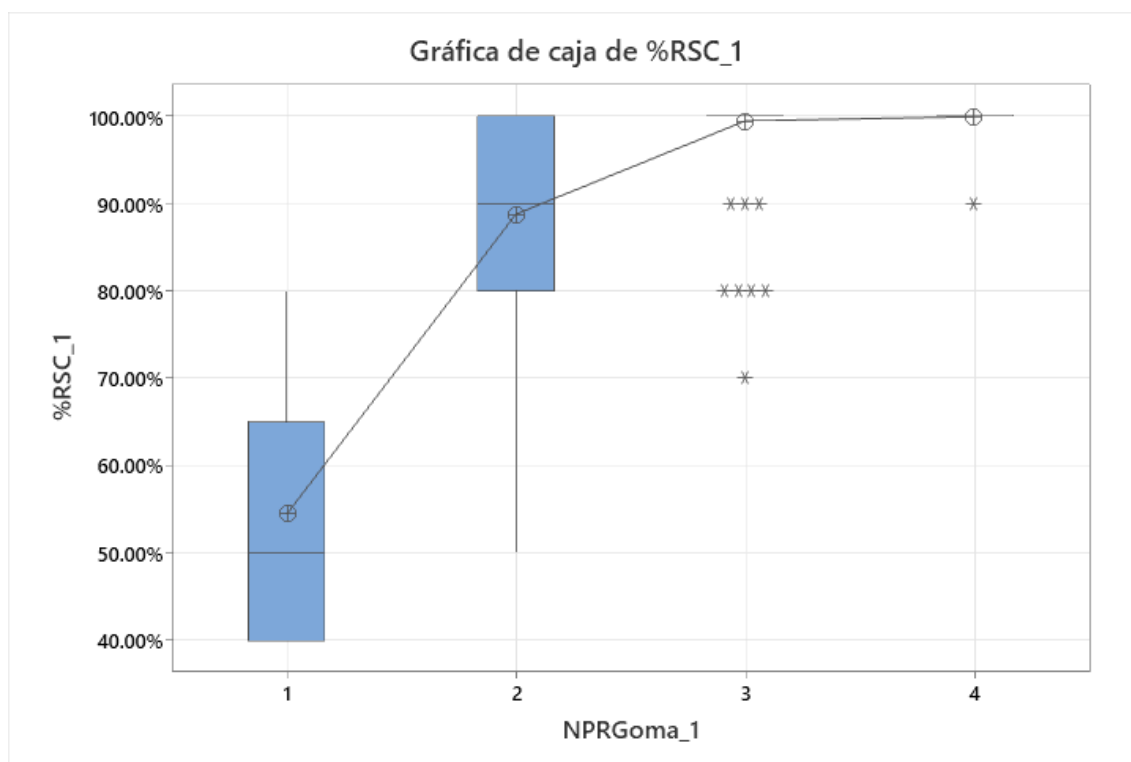
Fuente: Elaboración propia

Tabla Resultado de prueba de Kruskal – Wallis

Método	GL	Estadístico H	Valor p
No ajustado para empates	3	66.11	2.90×10^{-12}
Ajustado para empates	3	265.39	$< 1.00 \times 10^{-24}$

Fuente: Elaboración propia

Imagen Gráfico de caja de %RSC vs Presión de Rodillos de Goma



Fuente: Elaboración propia

Anexo 33: Pruebas de hipótesis para la variable Nivel de Presión de Rodillos de Goma

Nombre del factor (X)	Nivel de Viscosidad de Goma
Niveles del factor (X)	Se definen 4 niveles (baja, media, moderada y alta)
Tipo de datos del factor	Variable Discreta
Nombre de la respuesta (Y)	% Rollos sin compactar
Tipo de dato de la respuesta	Continua
Herramientas estadísticas y/o esbeltas usadas por variable	Prueba no Parametrica: Kruskal – Wallis
Tamaño de la muestra por variable	450
Prueba de hipótesis:	
H₀	<i>Todas la medianas son iguales</i>

H_a	<i>Almenos una mediana es diferente</i>
valor-P	$< 1 \times 10^{-30}$
Conclusión	Dado que el Valor – P menor a 0.05, Indica que si existe diferencias estadísticamente significativas.
Decisión	Se rechaza la hipótesis nula (H ₀) y se Acepta la hipótesis alterna (H _a), el factor nivel de viscosidad de goma si influye en la variable Porcentaje de Rollos Sin Compactar.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Estadísticas descriptiva por nivel de viscosidad

Nivel de Viscosidad (X7)	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
1 (Alta)	366	1.0	243.7	6.19
2 (Moderada)	62	1.0	192.7	-2.14
3 (Media)	12	0.8	20.8	-5.53
4 (Baja)	10	0.6	9.3	-5.32
Total	450	—	225.5	—

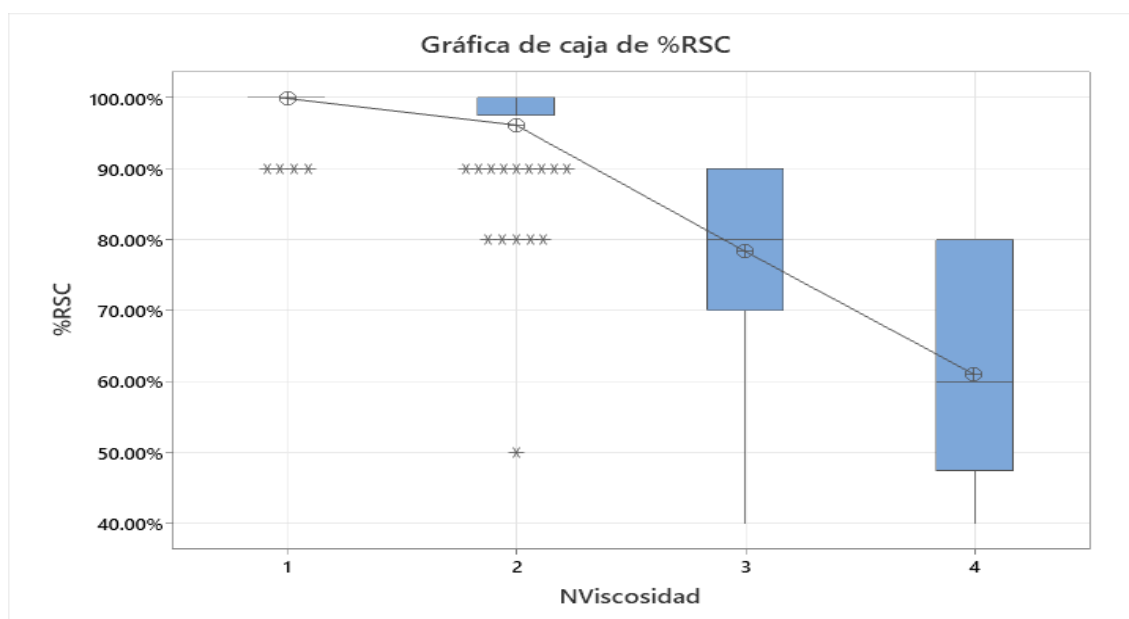
Fuente: Elaboración propia

Tabla Resultados de prueba Kruskal – Wallis

Método	GL	Valor H	Valor-P
No ajustado para empates	3	68.42	9.3×10^{-8}
Ajustado para empates	3	274.68	$< 1 \times 10^{-30}$

Fuente: Elaboración propia

Gráfico de caja de % RSC vs Nivel de viscosidad de goma



Fuente: Elaboración propia

Anexo 34: Pruebas de hipótesis para la variable Ancho de Cuchilla de Corte

Nombre del factor (X)	Ancho de Cuchilla de Corte
Niveles del factor (X)	No se definen niveles específicos, se considera el ancho de cuchilla como una variable continua.
Tipo de datos del factor	Variable Continua
Nombre de la respuesta (Y)	% Rollos sin compactar
Tipo de dato de la respuesta	Continua
Herramientas estadísticas y/o esbeltas usadas por variable	Modelo de Regresión Lineal
Tamaño de la muestra por variable	450
Prueba de hipótesis:	
H₀	$\beta_1 = 0$ El factor Ancho de Cuchilla de Corte No Influye en el % Rollos Sin Compactar
H_a	$\beta_1 \neq 0$ El factor Ancho de Cuchilla de Corte Si Influye en el % Rollos Sin Compactar
valor-P	0.328
Conclusión	Dado que el Valor – P mayor a 0.05, Indica que No existe diferencias estadísticamente significativas.
Decisión	No se rechaza la hipótesis nula (H ₀) y se Rechaza la hipótesis alterna (H _a), el factor nivel de ancho de cuchilla de corte No influye en la variable Porcentaje de Rollos Sin Compactar.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Coeficientes del modelo de regresión lineal

Término	Coefficiente	EE del Coef.	Valor T	Valor P	FIV
Constante	0.97933	0.00381	256.82	0.000	—
Cuchilla	-0.00390	0.00398	-0.98	0.328	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla resumen del modelo de regresión lineal

Estadístico	Valor
S (error estándar)	0.0808924
R-cuadrado	0.21 %
R-cuadrado ajustado	0.00 %
R-cuadrado predicho	0.00 %

Fuente: Elaboración propia

Imagen Transformación de Johnson para Ancho Cuchilla (mm)

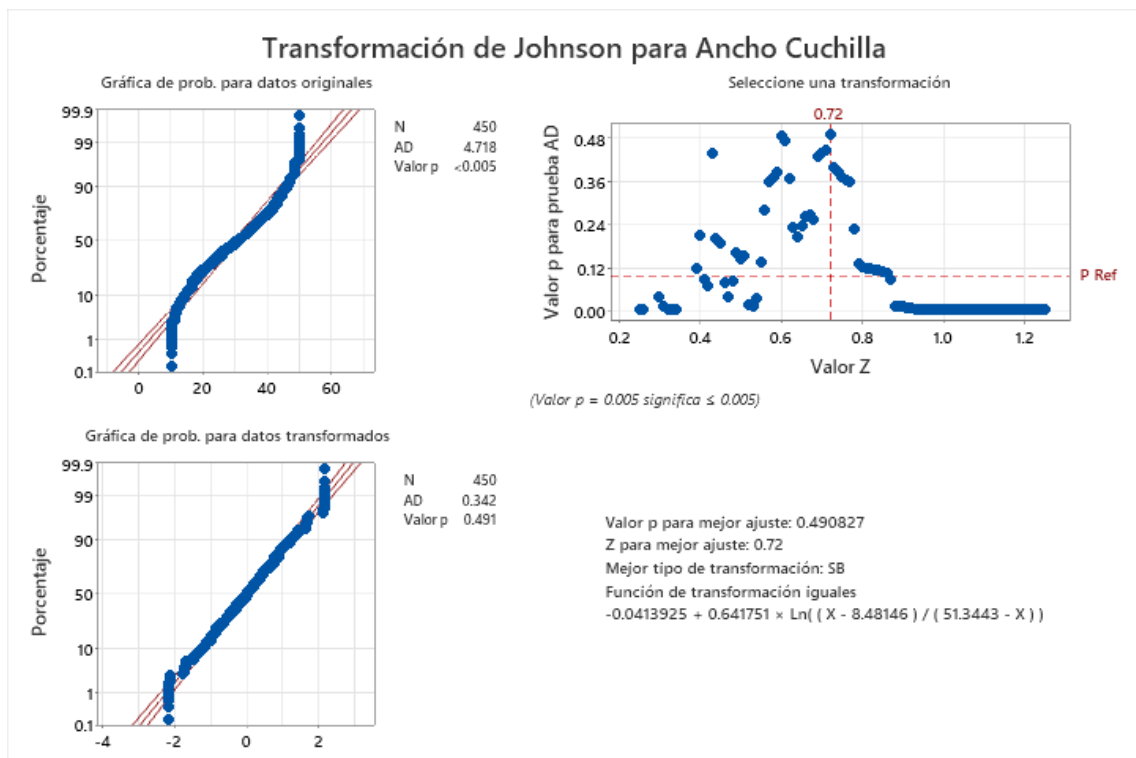
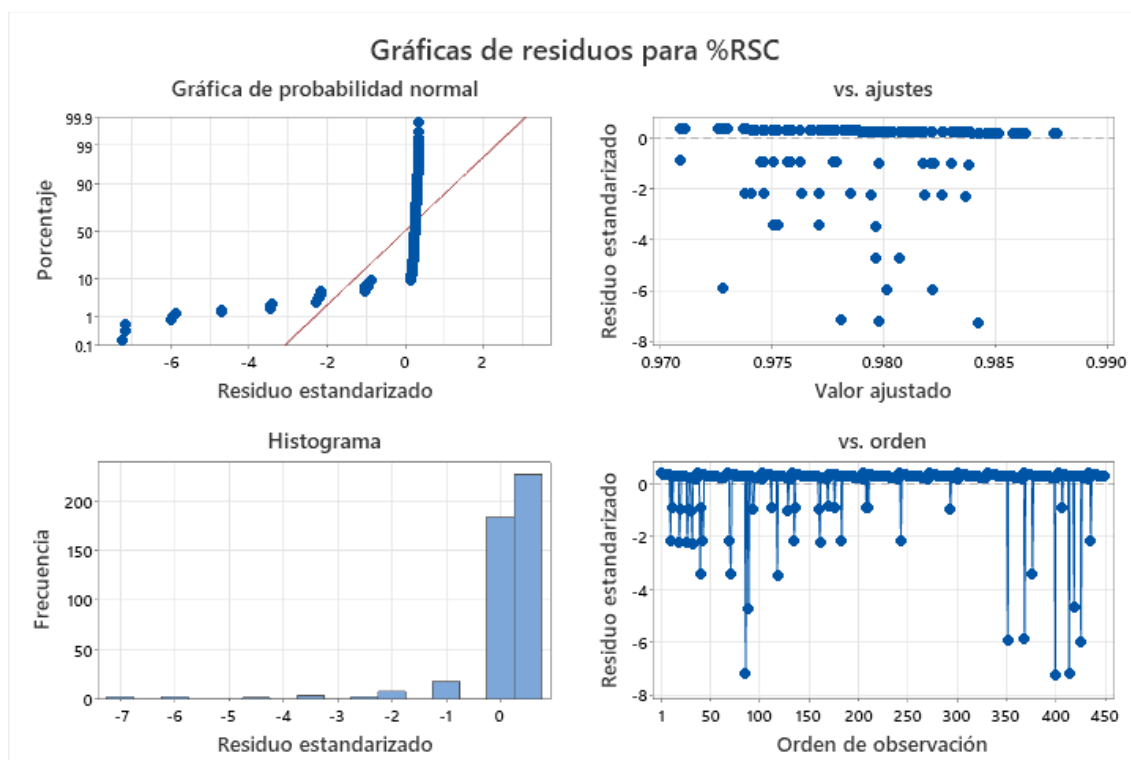


Imagen grafico de residuos para % de rollos sin compactar



Fuente: Elaboración propia

Anexo 35: Pruebas de hipótesis para la variable Gramaje de Hoja de Papel

Nombre del factor (X)	Gramaje de Hoja de Papel
Niveles del factor (X)	Se definen 5 niveles (18.1;18.7;18.8;19.7;24)
Tipo de datos del factor	Variable Discreta
Nombre de la respuesta (Y)	% Rollos sin compactar
Tipo de dato de la respuesta	Continua
Herramientas estadísticas y/o esbeltas usadas por variable	Prueba no Parametrica: Kruskal – Wallis
Tamaño de la muestra por variable	450
Prueba de hipótesis:	
H₀	<i>Todas la medianas son iguales</i>

H_a	<i>Almenos una mediana es diferente</i>
valor-P	0.093
Conclusión	Dado que el Valor – P mayor a 0.05, Indica que no existe diferencias estadísticamente significativas.
Decisión	No Se rechaza la hipótesis nula (H ₀) y se puede decir que no existe evidencia significativa para afirmar que hay diferencias entre las medianas del factor gramaje de hoja y la variable de respuesta porcentaje de rollos sin compactar.

Fuente: Elaboración propia

Tabla estadísticas descriptivas por nivel de gramaje

Gr (g/m²)	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
18.1	90	1	218.5	-0.57
18.7	126	1	231.0	0.56
18.8	126	1	233.8	0.84
19.7	84	1	211.5	-1.09
24.0	24	1	228.2	0.10
General	450		225.5	

Fuente: Elaboración propia

Tabla resultados de la prueba de Kruskal – Wallis

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado por empates	4	1.99	0.738
Ajustado por empates	4	7.97	0.093

Fuente: Elaboración

Anexo 36: Pruebas de hipótesis para la variable Nivel de Presión de Rodillos de Gofrado

Nombre del factor (X)	Gramaje de Hoja de Papel
Niveles del factor (X)	Se definen 4 niveles (bajo, medio, moderado y alto)
Tipo de datos del factor	Variable Discreta
Nombre de la respuesta (Y)	% Rollos sin compactar
Tipo de dato de la respuesta	Continua
Herramientas estadísticas y/o	Prueba no Parametrica: Kruskal – Wallis

esbeltas usadas por variable	
Tamaño de la muestra por variable	450
Prueba de hipótesis:	
H₀	<i>Todas la medianas son iguales</i>
H_a	<i>Almenos una mediana es diferente</i>
valor-P	0.441
Conclusión	Dado que el Valor – P mayor a 0.05, Indica que no existe diferencias estadísticamente significativas.
Decisión	No se rechaza la hipótesis nula (H ₀) debido a que no existe evidencia estadísticamente significativa para afirmar que hay diferencias entre el factor nivel de presión de rodillos de goma y la variable de respuesta porcentaje de rollos sin compactar.

Fuente: Elaboración propia

Tabla Estadísticas descriptivas por grupo de variable nivel de presión de rodillos de gofrado

NP_Rod_Gofr	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
2	21	1	235.8	0.37
3	418	1	225.5	0.01
4	11	1	204.9	-0.53
General	450		225.5	

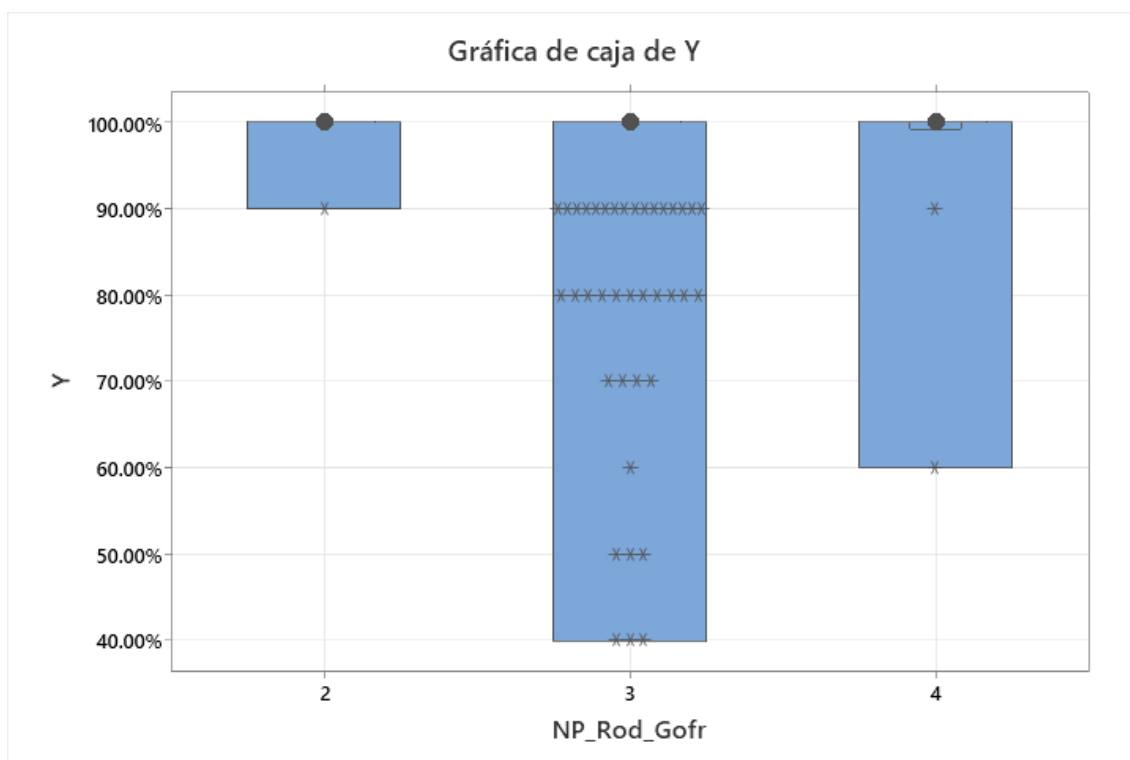
Fuente: Elaboración propia

Tabla Resultados de prueba Kruskal – Wallis

Método	GL	Valor H	Valor-P
No ajustado para empates	2	0.41	0.815
Ajustado para empates	2	1.64	0.441

Fuente: Elaboración propia

Gráfico de caja de % RSC vs Nivel de presión de rodillos de gofrado



Fuente: Elaboración propia

Anexo 37: Pruebas de hipótesis para la variable Diámetro de Polea Reguladora Madre

Nombre del factor (X)	Diámetro de Polea Reguladora Madre
Niveles del factor (X)	No se definen niveles específicos, se considera el diámetro de la polea reguladora madre como una variable continua.
Tipo de datos del factor	Variable Continua
Nombre de la respuesta (Y)	% Rollos sin compactar
Tipo de dato de la respuesta	Continua
Herramientas estadísticas y/o esbeltas usadas por variable	Modelo de Regresión Lineal
Tamaño de la muestra por variable	450
Prueba de hipótesis:	
H₀	$\beta_1 = 0$ El factor Diámetro de Polea Reguladora Madre No Influye en el % Rollos Sin Compactar

H_a	$\beta_1 \neq 0$ El factor Diámetro de Polea Reguladora Madre Si Influye en el % Rollos Sin Compactar
valor-P	0.
Conclusión	Dado que el Valor – P mayor a 0.05, Indica que No existe diferencias estadísticamente significativas.
Decisión	No se rechaza la hipótesis nula (H ₀) y se Rechaza la hipótesis alterna (H _a), el factor diámetro de polea reguladora madre No influye en la variable Porcentaje de Rollos Sin Compactar.

Fuente: Elaboración propia

Tabla coeficientes del modelo de regresión lineal

Término	Coefficiente	EE del Coef.	Valor T	Valor P	FIV
Constante	1.115	0.244	4.58	0.000	—
Cuchilla	-0.00542	0.00975	-0.56	0.578	1.00

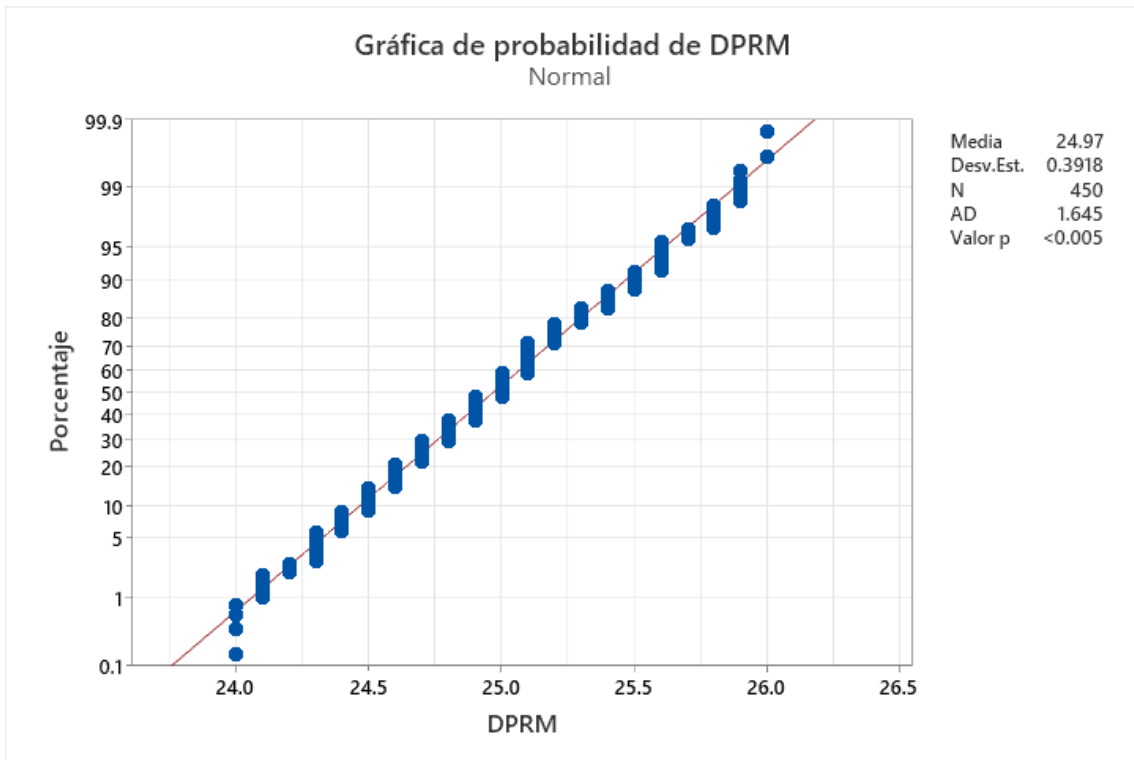
Fuente: Elaboración propia

Tabla resumen del modelo de regresión lineal

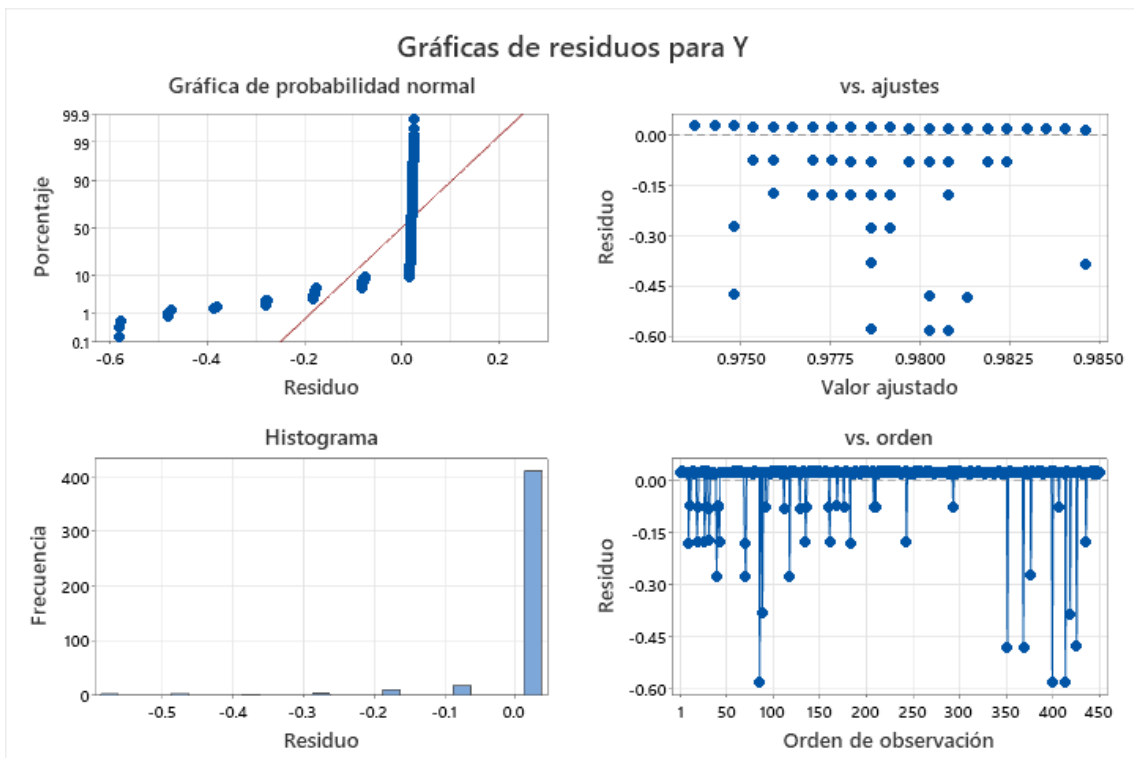
Estadístico	Valor
S (error estándar)	0.0809
R-cuadrado	0.07 %
R-cuadrado ajustado	0.00 %
R-cuadrado predicho	0.00 %

Fuente: Elaboración propia

Imagen prueba de normalidad de variable diámetro de polea reguladora madre



Fuente: Elaboración propia



Anexo 38: Pruebas de hipótesis para la variable Diámetro

Modelo de Regresión por pasos (Stepwise)

$$Y \sim x_1 + x_3 + C(x_2) + C(x_4)$$

Tabla N°: Resumen del modelo

Métrica	Valor
S (Error estándar)	0.3349
R-cuadrado	85.72%
R-cuadrado (ajustado)	85.46%
R-cuadrado (predicho)	81.88%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°: ANOVA del modelo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	8	2.97069	0.371336	330.91	0.000
X1	1	0.07679	0.076789	68.43	0.000
X3	1	0.02150	0.021500	19.16	0.000
X2	3	0.94366	0.314552	280.31	0.000
X4	3	0.37778	0.125928	112.22	0.000
Error	441	0.49487	0.001122	-	-
Falta de ajuste	419	0.49487	0.001181	*	*
Error puro	22	0.00021	0.000003	-	-
Total	449	3.46556	-	-	-

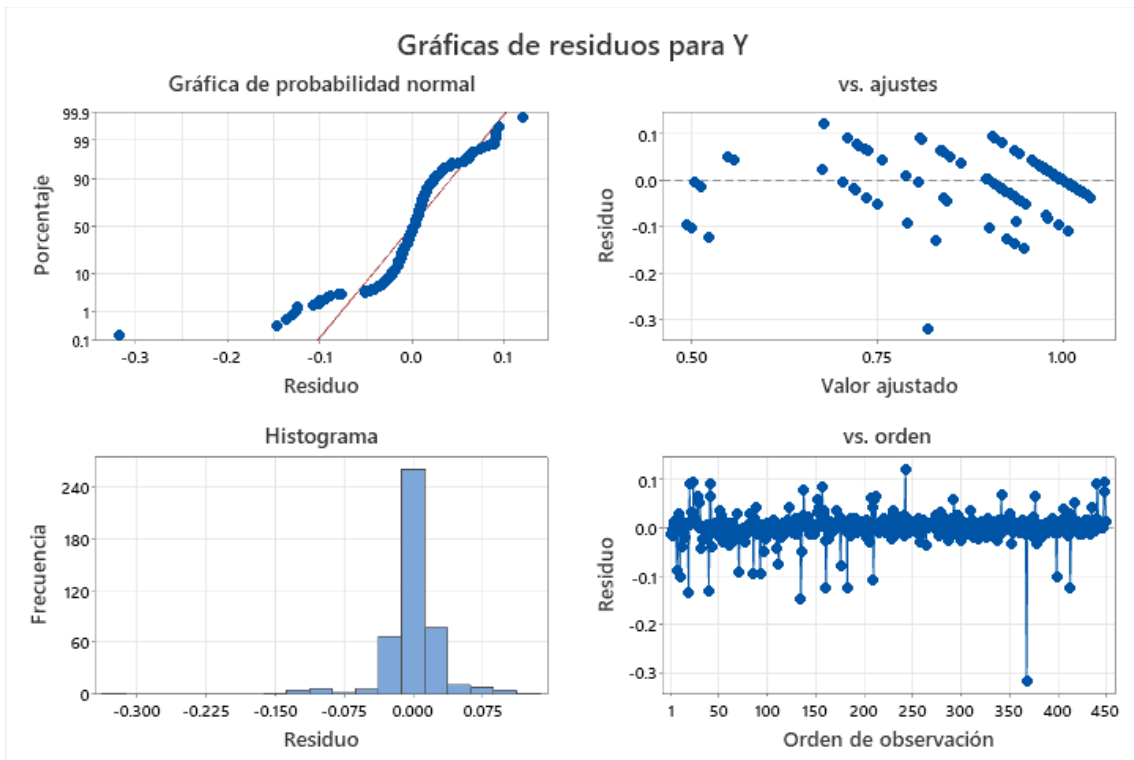
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°: Coeficiente del modelo

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	0.9915	0.0441	22.50	0.000	-
X1	-0.002278	0.000275	-8.27	0.000	1.22
X3	-0.01243	0.00284	-4.38	0.000	1.22
X2 (2)	0.1917	0.0112	17.04	0.000	2.86
X2 (3)	0.26607	0.00975	27.29	0.000	9.42
X2 (4)	0.27196	0.00994	27.35	0.000	9.03
X4 (2)	-0.01825	0.00481	-3.79	0.000	1.10
X4 (3)	-0.1494	0.0106	-14.08	0.000	1.17
X4 (4)	-0.1750	0.0127	-13.73	0.000	1.42

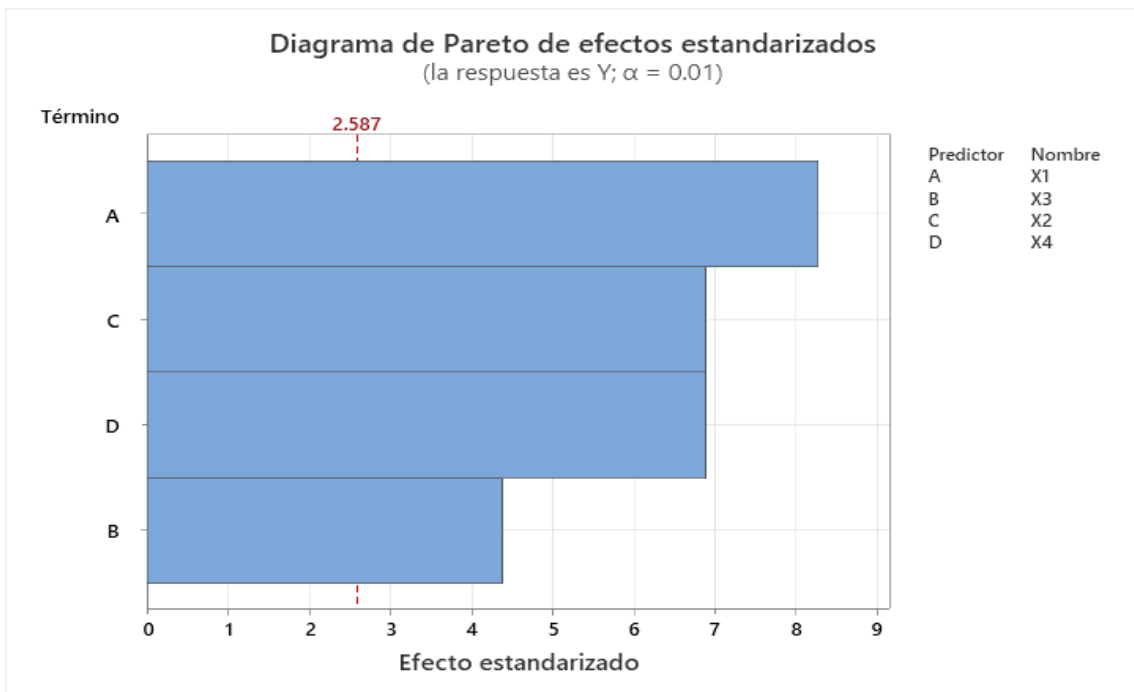
Fuente: Elaboración propia

Imagen gráfica 4 en 1 de residuos para porcentaje de rollos sin compactar



Fuente: Elaboración propia

Imagen diagrama de Pareto de efectos estandarizados



Fuente: Elaboración propia

Anexo 38: Resultados del Diseño Factorial Completo

Tabla Niveles definidos para variables de DOE 2x2x4x4

Factor predictor	Nivel (1)	Nivel (2)	Nivel (3)	Nivel (4)
A. Velocidad de Rebobinado	Bajo (20 – 39 Hz)	Alto (40 – 60Hz)	*	*
B. Presión de Rodillo de Goma	1 vuelta	2 vueltas	3 vueltas	4 vueltas
C. Diámetro de Polea Reguladora Hija	Bajo (14 – 15,9 cm)	Alto (15,7 – 17,8cm)	*	*
D. Viscosidad de Goma	2000 cps >	1600 - 1999 cps	1200 -1599 cps	1000 -1199 cps

Fuente: Elaboración propia

Tabla Resumen del diseño factorial completo

Factores:	4	Réplicas:	2
Corridas base:	64	Total de corridas:	128
Bloques base:	1	Total de bloques:	1

Fuente: Elaboración propia

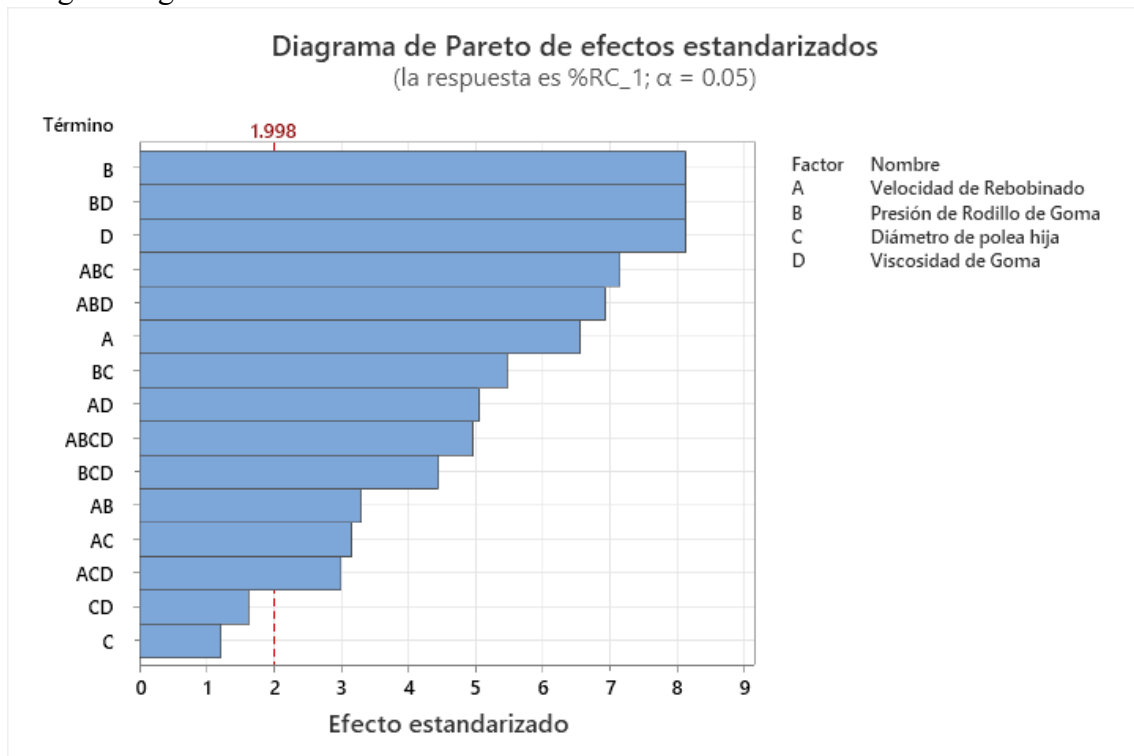
Anexo 39: ANOVA del modelo factorial general

Tabla Análisis de Varianza (ANOVA) del modelo factorial general

Fuente de variación	GL	SC Ajust.	F	P
Modelo	63	1.85055	22.12	0.000
Velocidad de rebobinado (A)	1	0.05695	42.88	0.000
Presión de rodillo de goma (B)	3	0.20648	51.82	0.000
Diámetro de polea hija (C)	1	0.00195	1.47	0.230
Viscosidad de goma (D)	3	0.89336	224.22	0.000
Interacciones de 2 términos	22	0.33734	11.55	0.000
Interacciones de 3 términos	24	0.28375	8.90	0.000
Interacción de 4 términos	9	0.07070	5.92	0.000
Error	64	0.08500	—	—
Total	127	1.93555	—	—

Fuente: Elaboración propia

Imagen Diagrama de Pareto de efectos estandarizados



Fuente: Elaboración propia

Tabla Indicadores de ajuste del modelo

Indicador	Valor
Error estándar (S)	0.0364
R-cuadrado	95.61%
R-cuadrado ajustado	91.29%
R-cuadrado predicho	82.43%

Fuente: Elaboración propia

Anexo 40: Validación del Modelo Factorial

N°	X1	X2	X3	X4	V. Exp.	IC 90%	Resultado	N°	X1	X2	X3	X4	V. Exp.	IC 90%	Resultado
1	1	4	1	4	0,900	0,856991-0,943009	Cumple	33	1	1	1	4	0,600	0,556991-0,643009	Cumple
2	2	2	2	4	0,800	0,756991-0,843009	Cumple	34	1	1	2	3	0,900	0,856991-0,943009	Cumple
3	2	1	1	4	0,500	0,456991-0,543009	Cumple	35	2	4	1	3	0,900	0,856991-0,943009	Cumple
4	2	2	2	1	0,950	0,906991-0,993009	Cumple	36	1	2	1	1	1,000	0,956991-1,04301	Cumple
5	1	3	1	1	0,950	0,906991-0,993009	Cumple	37	1	2	2	2	0,900	0,856991-0,943009	Cumple
6	1	2	2	3	0,900	0,856991-0,943009	Cumple	38	2	4	2	3	0,950	0,906991-0,993009	Cumple
7	2	2	1	3	0,900	0,856991-0,943009	Cumple	39	2	4	2	4	0,850	0,806991-0,893009	Cumple
8	1	1	2	4	0,800	0,756991-0,843009	Cumple	40	2	3	2	1	1,000	0,956991-1,04301	Cumple
9	1	1	2	2	1,000	0,956991-1,04301	Cumple	41	2	1	1	2	1,000	0,956991-1,04301	Cumple
10	2	2	1	2	0,900	0,856991-0,943009	Cumple	42	2	4	1	1	1,000	0,956991-1,04301	Cumple
11	1	3	2	4	0,850	0,806991-0,893009	Cumple	43	2	2	1	1	1,000	0,956991-1,04301	Cumple
12	1	1	1	1	0,900	0,856991-0,943009	Cumple	44	2	1	1	1	1,000	0,956991-1,04301	Cumple
13	2	2	2	2	0,900	0,856991-0,943009	Cumple	45	2	3	1	1	1,000	0,956991-1,04301	Cumple
14	2	1	2	2	1,000	0,956991-1,04301	Cumple	46	1	2	1	4	0,800	0,756991-0,843009	Cumple
15	1	1	2	1	1,000	0,956991-1,04301	Cumple	47	1	4	1	1	1,000	0,956991-1,04301	Cumple
16	1	2	2	1	1,000	0,956991-1,04301	Cumple	48	2	3	1	3	0,700	0,656991-0,743009	Cumple
17	1	4	2	2	1,000	0,956991-1,04301	Cumple	49	1	4	2	4	0,800	0,756991-0,843009	Cumple
18	2	3	2	3	0,800	0,756991-0,843009	Cumple	50	1	2	2	4	0,750	0,706991-0,793009	Cumple
19	2	1	1	3	0,800	0,756991-0,843009	Cumple	51	2	2	1	4	0,800	0,756991-0,843009	Cumple
20	2	3	2	4	0,800	0,756991-0,843009	Cumple	52	2	1	2	3	0,500	0,456991-0,543009	Cumple
21	1	3	2	3	0,900	0,856991-0,943009	Cumple	53	1	3	2	2	1,000	0,956991-1,04301	Cumple
22	2	3	2	2	0,800	0,756991-0,843009	Cumple	54	2	3	1	2	0,850	0,806991-0,893009	Cumple
23	1	1	1	2	0,800	0,756991-0,843009	Cumple	55	2	2	2	3	0,750	0,706991-0,793009	Cumple
24	2	4	2	1	1,000	0,956991-1,04301	Cumple	56	1	4	1	2	1,000	0,956991-1,04301	Cumple
25	1	2	1	2	1,000	0,956991-1,04301	Cumple	57	1	3	1	2	1,000	0,956991-1,04301	Cumple
26	2	4	2	2	0,950	0,906991-0,993009	Cumple	58	1	3	1	3	0,900	0,856991-0,943009	Cumple
27	1	4	1	3	0,950	0,906991-0,993009	Cumple	59	1	3	1	4	0,850	0,806991-0,893009	Cumple
28	1	1	1	3	0,700	0,656991-0,743009	Cumple	60	1	3	2	1	1,000	0,956991-1,04301	Cumple
29	2	1	2	4	0,650	0,606991-0,693009	Cumple	61	1	4	2	1	1,000	0,956991-1,04301	Cumple
30	2	1	2	1	1,000	0,956991-1,04301	Cumple	62	2	4	1	4	0,850	0,806991-0,893009	Cumple
31	1	2	1	3	0,900	0,856991-0,943009	Cumple	63	1	4	2	3	0,900	0,856991-0,943009	Cumple
32	2	3	1	4	0,800	0,756991-0,843009	Cumple	64	2	4	1	2	0,900	0,856991-0,943009	Cumple

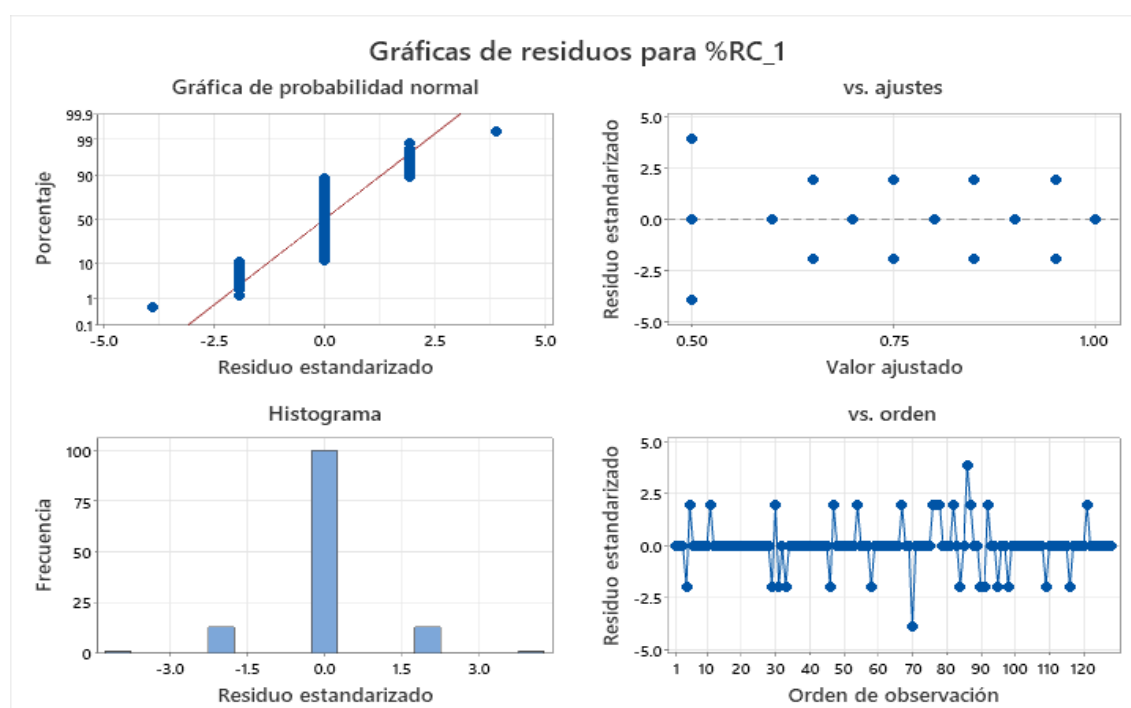
Elaboración propia

Anexo 41: Coeficientes significativos del modelo

Término	Coefficiente	Interpretación práctica
Constante	0.88359	Valor medio del proceso
A1 (velocidad baja)	+0.02109	Aumenta %RC
B4 (presión alta)	+0.05078	Maximiza compactación
D1 (viscosidad baja)	+0.10391	Mejora significativamente el %RC
D4 (viscosidad alta)	-0.10859	Reduce notablemente el %RC
A×B	—	Velocidad baja potencia efecto de presión alta
B×D	—	Interacción dominante: presión alta compensa viscosidad
A×D	—	Velocidad baja mitiga pérdida por alta viscosidad

Fuente: Elaboración propia

Anexo 42: Verificación de supuestos - Gráfica de residuos para % RC



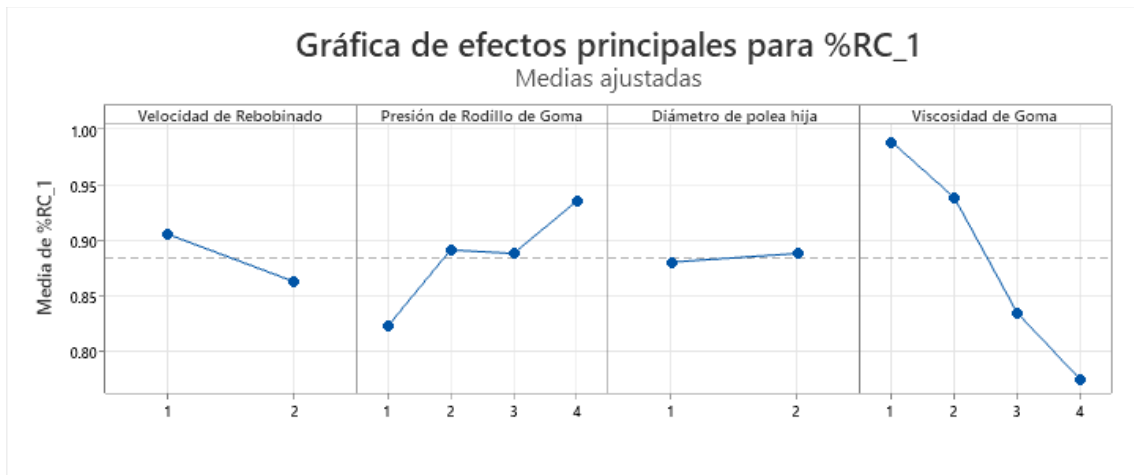
Fuente: Elaboración propia

Tabla Verificación de supuestos estadísticos del modelo factorial completo

Supuesto	Evidencia	Resultado
Normalidad de residuos	Gráfica de probabilidad normal	Cumple
Homogeneidad de varianzas	Residuos vs. valores ajustados	Cumple
Independencia	Residuos vs. orden de observación	Cumple

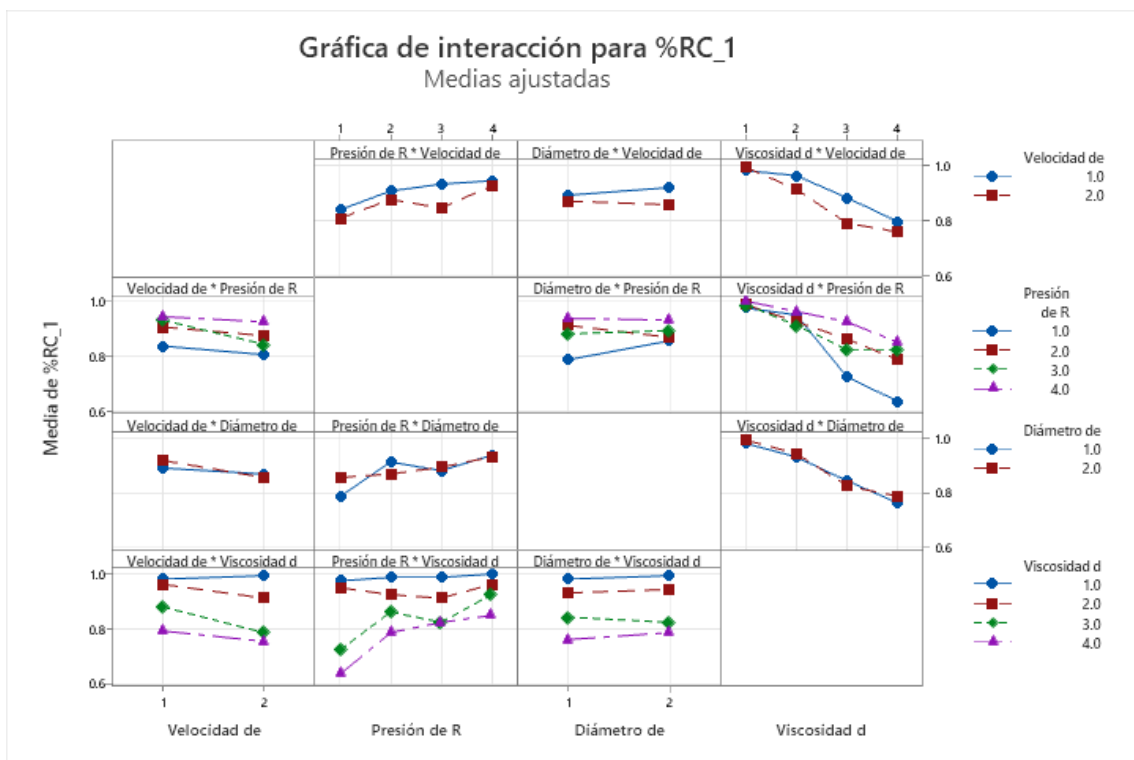
Fuente: Elaboración propia

Imagen gráfica de Efectos Principales para %RC



Fuente: Elaboración propia

Gráfica de interacción para % RC



Fuente: Elaboración propia

Anexo 43: Optimización del Modelo

Tabla Criterio de optimización configurado en Minitab

Respuesta	Meta	Límite inferior	Objetivo	Límite superior	Ponderación	Importancia
%RC_1	Máximo	0.40	1.00	1.00	1	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla Configuración óptima propuesta por la deseabilidad

Factor	Nivel (cod.)	Valor físico (según tu codificación)
Velocidad de rebobinado (A)	1	< 40 Hz
Presión de rodillo de goma (B)	4	4 vueltas
Diámetro de polea hija (C)	2	≥ 15.7 cm
Viscosidad de goma (D)	2	1600 – 1999 cps

Fuente: Elaboración propia

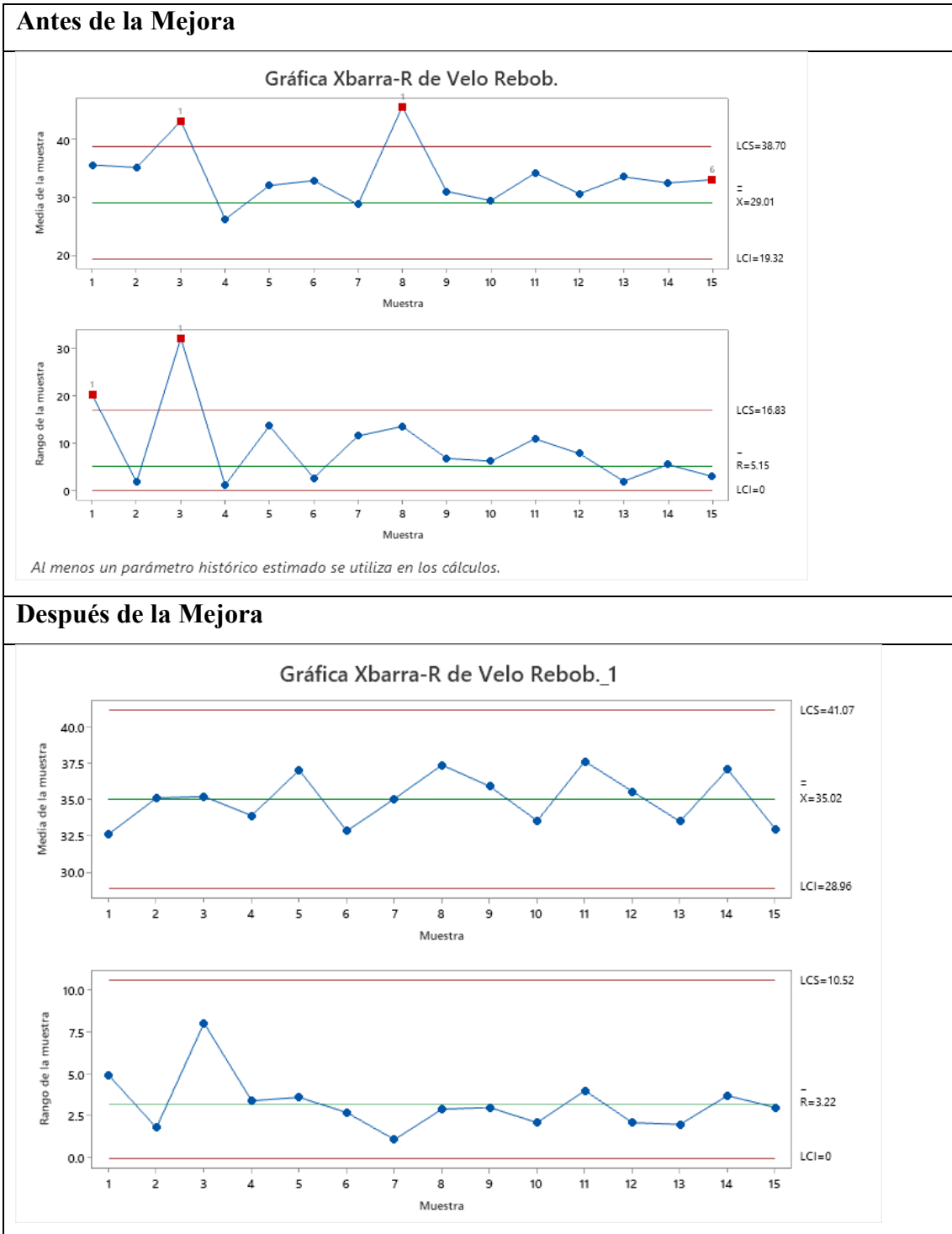
Tabla Regla operativa para la viscosidad (con A1–B4–C2)

Rango de viscosidad (cps)	Evaluación	Comentario práctico
≥ 2000 (D1)	Muy alto	Media ajustada muy alta. Con B4 y A1 también alcanza deseabilidad ≈ 1 ; sin ventaja práctica frente a D2 por límite superior de 100%.
1600 – 1999 (D2)	Óptimo operativo	Es el rango que el optimizador selecciona junto con A1–B4–C2 para lograr %RC = 1.00. Excelente compromiso desempeño/robustez.
1200 – 1599 (D3)	Riesgo	Caída marcada del %RC, aun con B4. Evitar salvo restricciones.
1000 – 1199 (D4)	No recomendado	%RC claramente por debajo del objetivo.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 44: Cartas de Control de Procesos Después de Mejora de Variables Velocidad de rebobinado

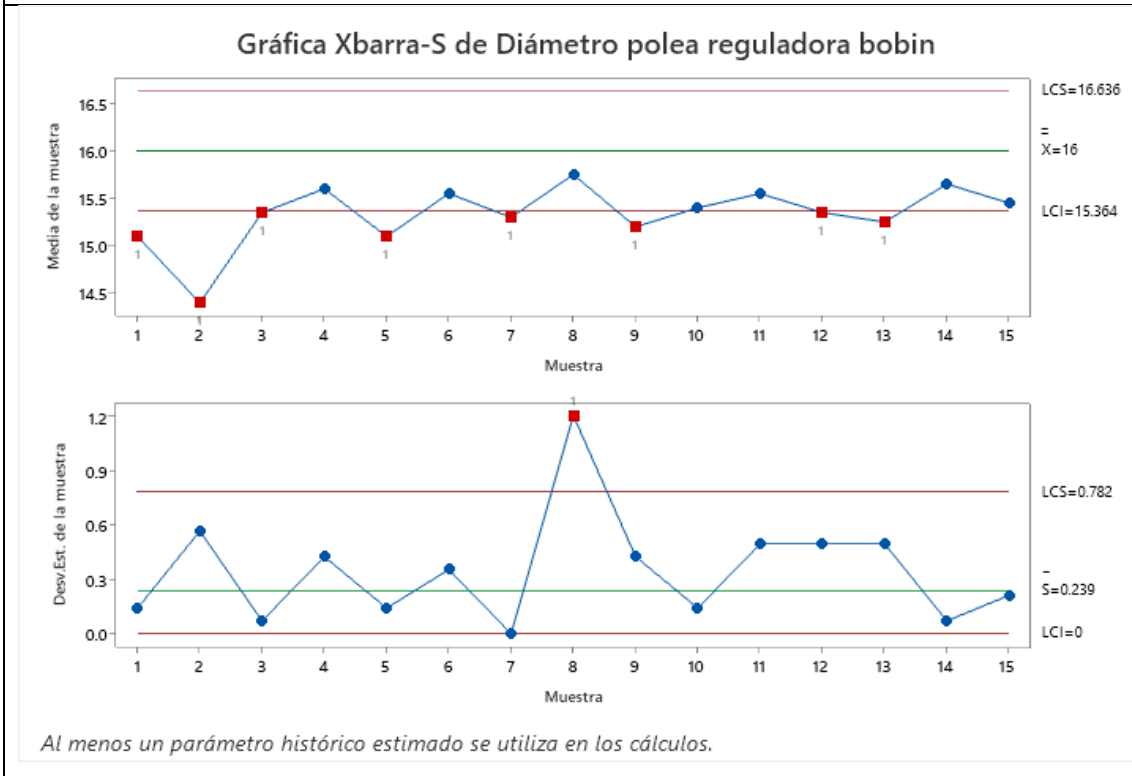
Tabla Comparativa de grafico Xbarra – R para el factor velocidad de rebobinado



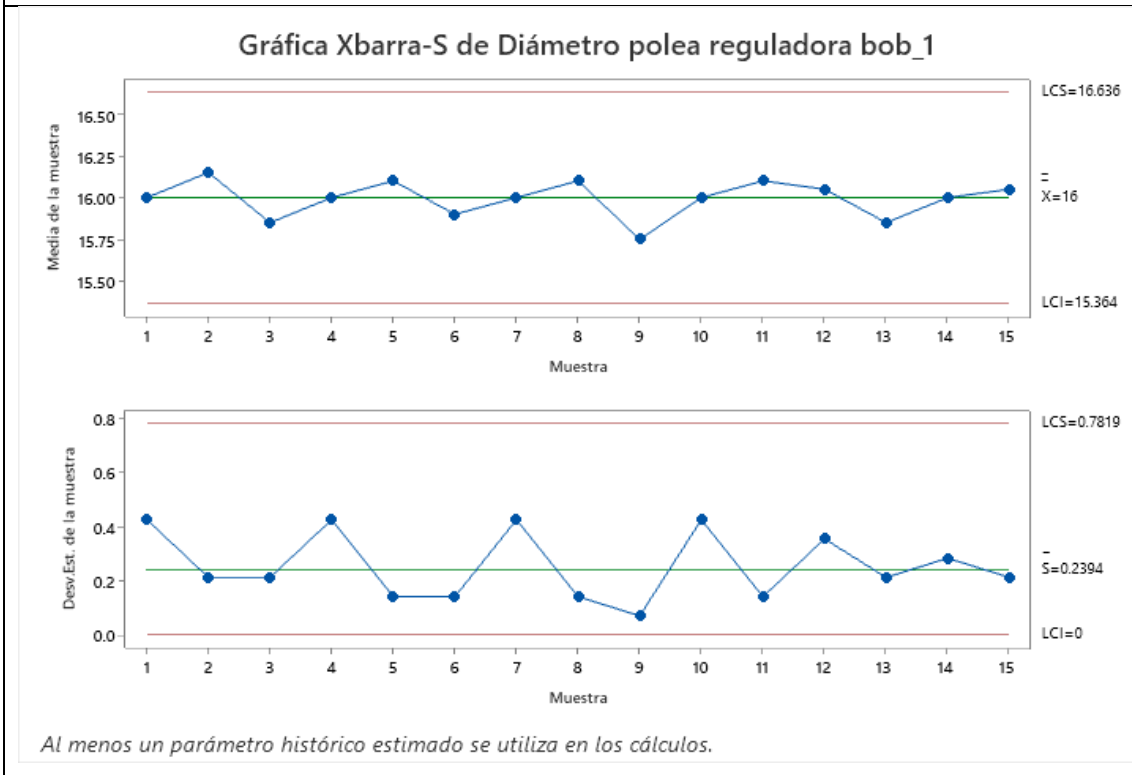
Fuente: Elaboración propia

Anexo 45: Cartas de Control de Procesos Después de Mejora de Variables diámetro de polea reguladora hija

Antes de la Mejora



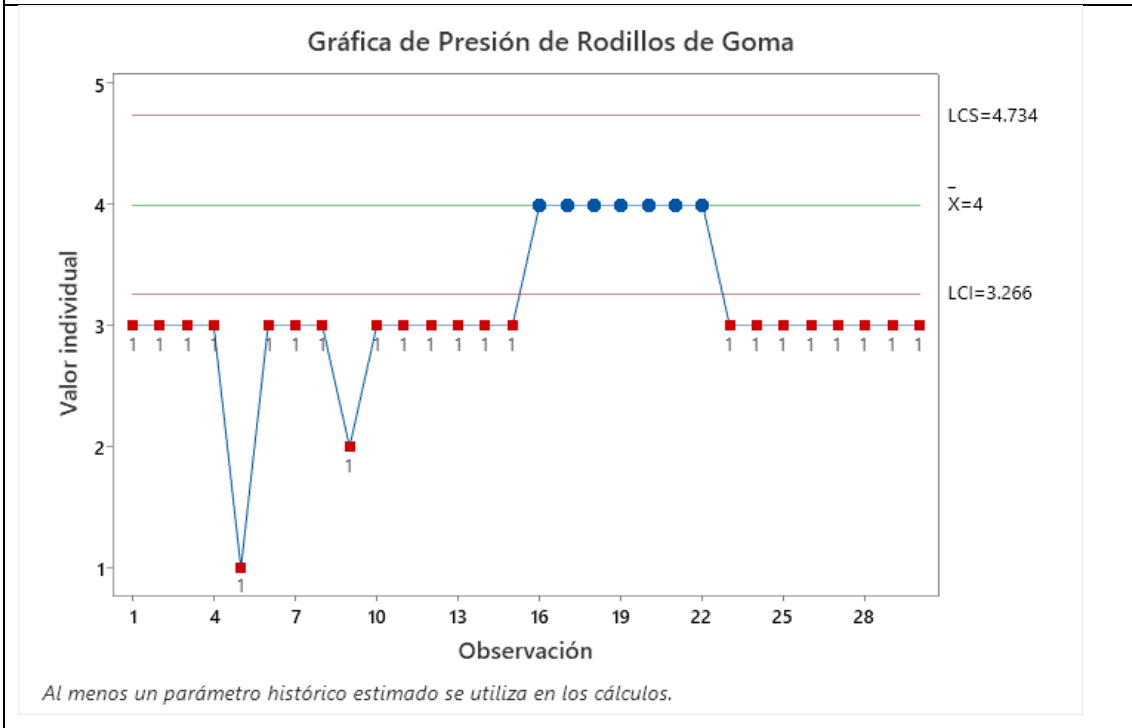
Después de la Mejora



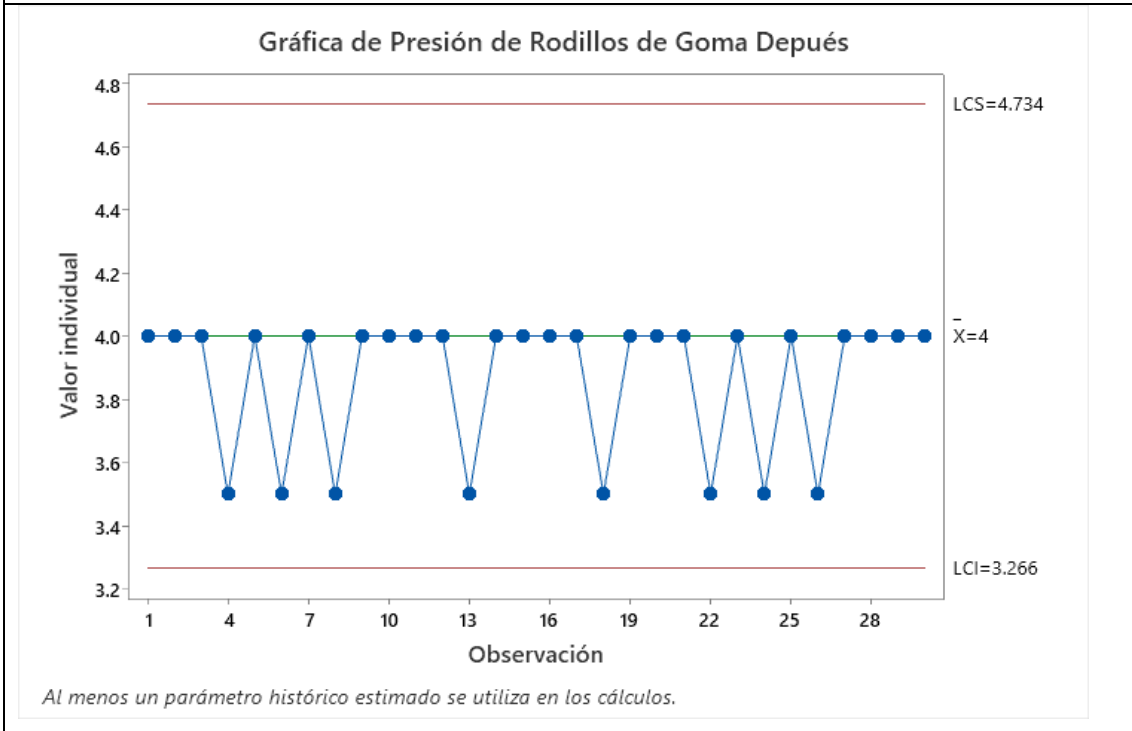
Fuente: Elaboración propia

Anexo 46: Cartas de Control de Procesos Después de Mejora de Variables presión de rodillos de goma

Antes de la Mejora



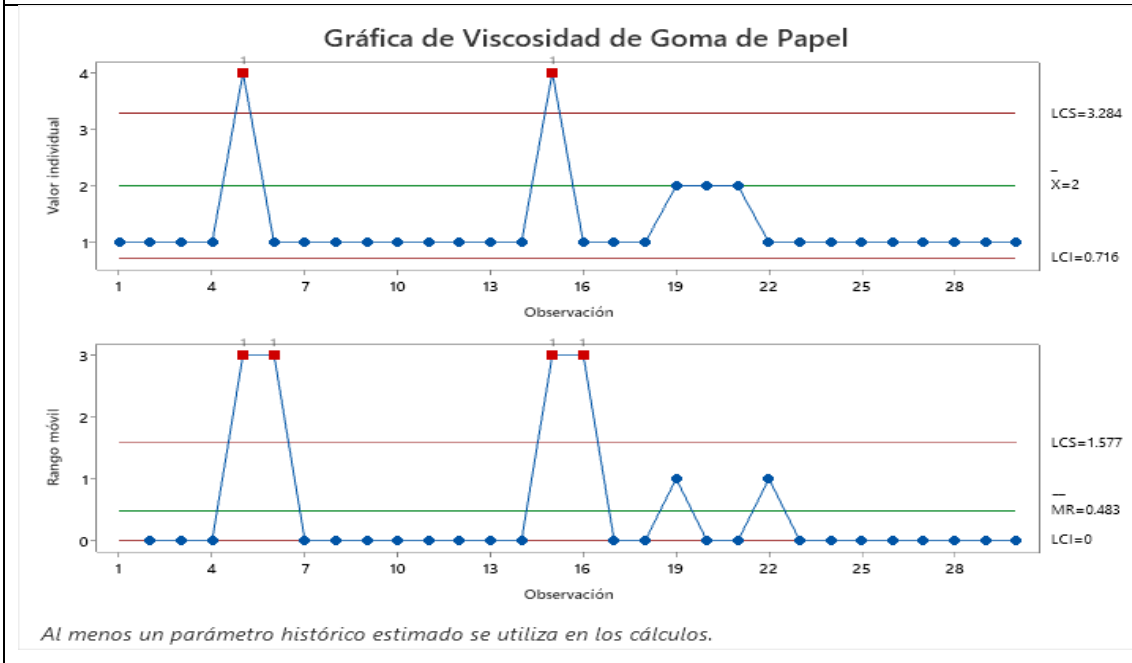
Después de la Mejora



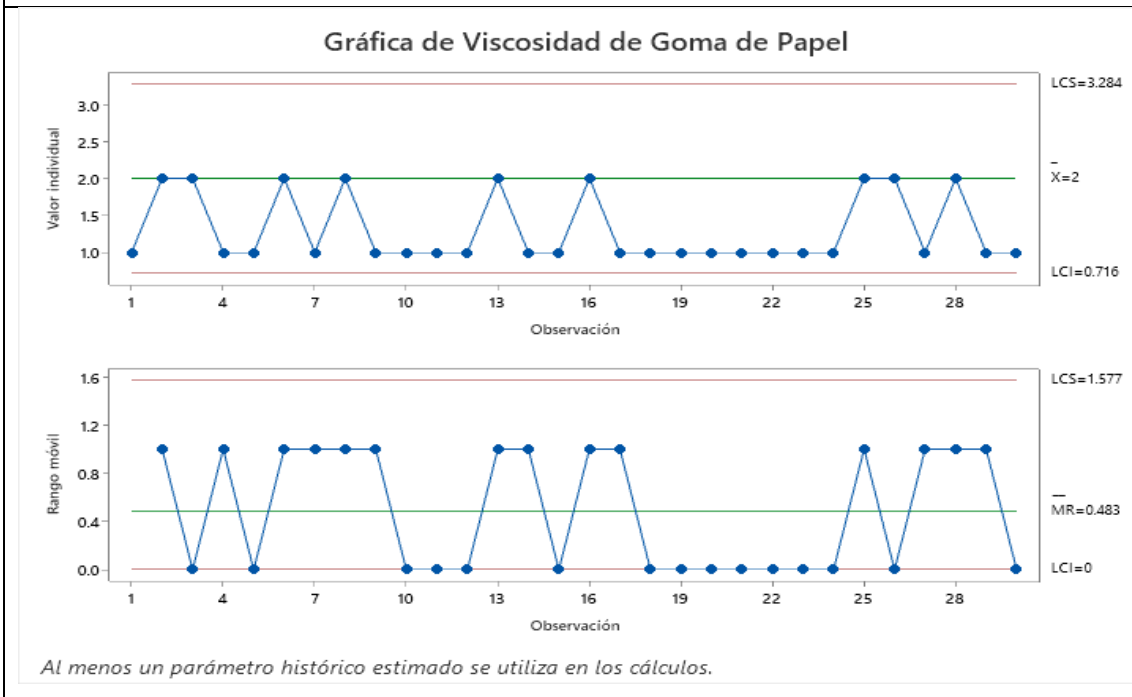
Fuente: Elaboración propia

Anexo 47: Cartas de Control de Procesos Después de Mejora de Variables viscosidad de goma

Antes de Mejora



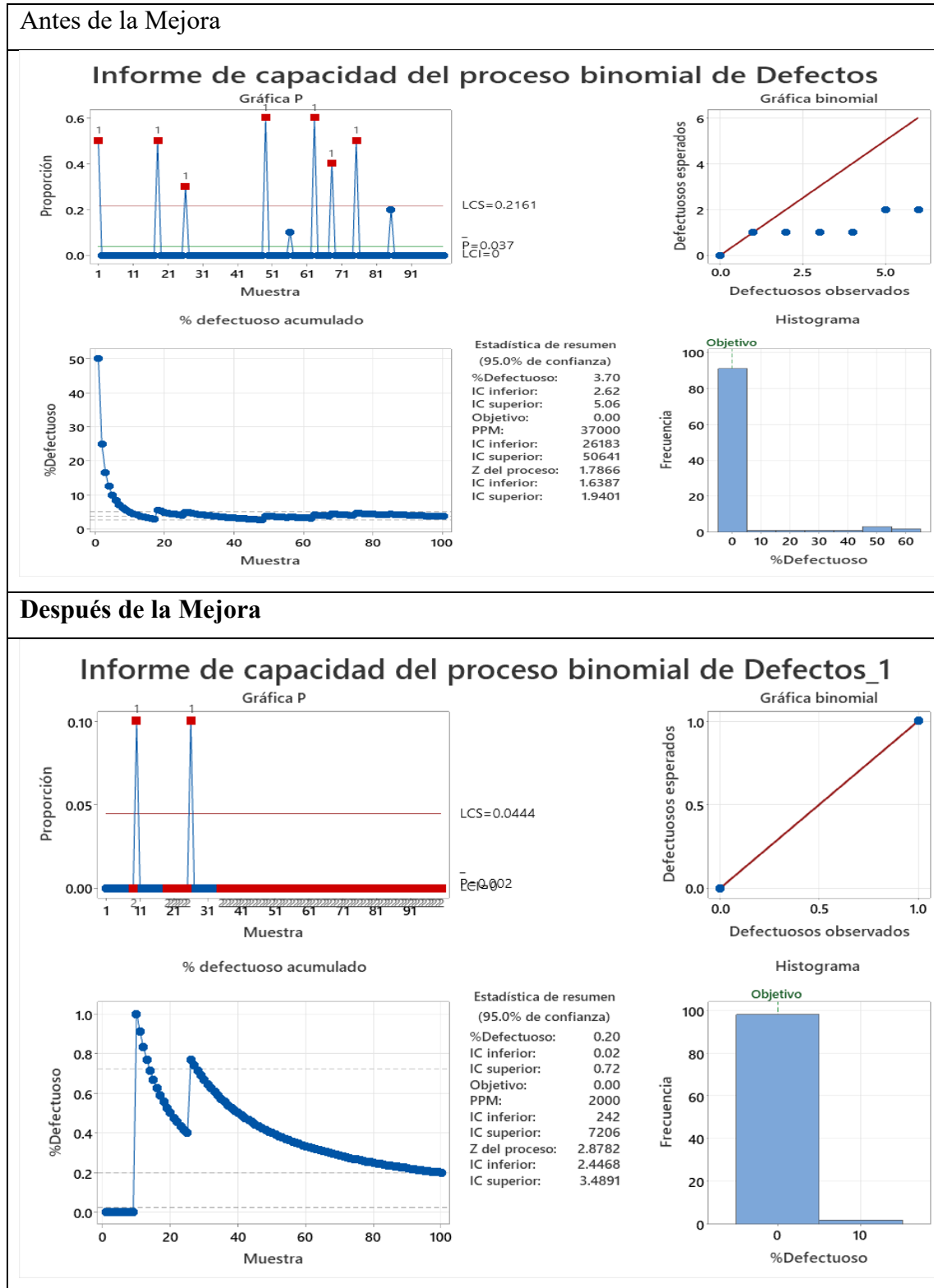
Después de Mejora



Fuente: Elaboración propia

Anexo 49: Análisis de Capacidad de Procesos Antes y después de Mejora Variable Y

Tabla Gráficas comparativas de capacidad de proceso binomial antes y después de mejora



Fuente: Elaboración propia

Anexo 49: Diseño factorial completo con 128 corridas

INDUSTRIA ARTESANAL SOTO EIRL - PAPELERA PACASA	
<i>Proyecto: DMAIC para reducción de utilidades no percibidas por rollos sin compactar</i>	
<i>Área: Rebobinado</i>	<i>Responsable: Ing. Maycol Soto Chavez</i>
<i>Fecha: Setiembre 2025</i>	
<i>Diseño Experimental - Matriz de Corridas Factoriales</i>	

OrdenEst	Orden Corrida	TipoPt	Bloques	Velocidad de Rebobinado	Presión de Rodillo de Goma	Diámetro de polea hija	Viscosidad de Goma	%RC
28	1	1	1	1	4	1	4	0.9
48	2	1	1	2	2	2	4	0.8
100	3	1	1	2	1	1	4	0.5
109	4	1	1	2	2	2	1	0.9
81	5	1	1	1	3	1	1	1
15	6	1	1	1	2	2	3	0.9
107	7	1	1	2	2	1	3	0.9
8	8	1	1	1	1	2	4	0.8
6	9	1	1	1	1	2	2	1
42	10	1	1	2	2	1	2	0.9
24	11	1	1	1	3	2	4	0.9
65	12	1	1	1	1	1	1	0.9
110	13	1	1	2	2	2	2	0.9
46	14	1	1	2	2	2	2	0.9
102	15	1	1	2	1	2	2	1
5	16	1	1	1	1	2	1	1
13	17	1	1	1	2	2	1	1
94	18	1	1	1	4	2	2	1
119	19	1	1	2	3	2	3	0.8
55	20	1	1	2	3	2	3	0.8
35	21	1	1	2	1	1	3	0.8
56	22	1	1	2	3	2	4	0.8
23	23	1	1	1	3	2	3	0.9
54	24	1	1	2	3	2	2	0.8
2	25	1	1	1	1	1	2	0.8
106	26	1	1	2	2	1	2	0.9
61	27	1	1	2	4	2	1	1
10	28	1	1	1	2	1	2	1
62	29	1	1	2	4	2	2	0.9
45	30	1	1	2	2	2	1	1
27	31	1	1	1	4	1	3	0.9
3	32	1	1	1	1	1	3	0.7
104	33	1	1	2	1	2	4	0.6
101	34	1	1	2	1	2	1	1
75	35	1	1	1	2	1	3	0.9

70	36	1	1	1	1	2	2	1
52	37	1	1	2	3	1	4	0.8
68	38	1	1	1	1	1	4	0.6
36	39	1	1	2	1	1	4	0.5
99	40	1	1	2	1	1	3	0.8
7	41	1	1	1	1	2	3	0.9
92	42	1	1	1	4	1	4	0.9
59	43	1	1	2	4	1	3	0.9
73	44	1	1	1	2	1	1	1
14	45	1	1	1	2	2	2	0.9
127	46	1	1	2	4	2	3	0.9
128	47	1	1	2	4	2	4	0.9
117	48	1	1	2	3	2	1	1
1	49	1	1	1	1	1	1	0.9
34	50	1	1	2	1	1	2	1
116	51	1	1	2	3	1	4	0.8
112	52	1	1	2	2	2	4	0.8
53	53	1	1	2	3	2	1	1
40	54	1	1	2	1	2	4	0.7
121	55	1	1	2	4	1	1	1
105	56	1	1	2	2	1	1	1
11	57	1	1	1	2	1	3	0.9
17	58	1	1	1	3	1	1	0.9
33	59	1	1	2	1	1	1	1
120	60	1	1	2	3	2	4	0.8
49	61	1	1	2	3	1	1	1
76	62	1	1	1	2	1	4	0.8
89	63	1	1	1	4	1	1	1
115	64	1	1	2	3	1	3	0.7
96	65	1	1	1	4	2	4	0.8
12	66	1	1	1	2	1	4	0.8
16	67	1	1	1	2	2	4	0.8
41	68	1	1	2	2	1	1	1
108	69	1	1	2	2	1	4	0.8
39	70	1	1	2	1	2	3	0.4
125	71	1	1	2	4	2	1	1
123	72	1	1	2	4	1	3	0.9
86	73	1	1	1	3	2	2	1
98	74	1	1	2	1	1	2	1
87	75	1	1	1	3	2	3	0.9
126	76	1	1	2	4	2	2	1
50	77	1	1	2	3	1	2	0.9
47	78	1	1	2	2	2	3	0.8
26	79	1	1	1	4	1	2	1
97	80	1	1	2	1	1	1	1
82	81	1	1	1	3	1	2	1
91	82	1	1	1	4	1	3	1
83	83	1	1	1	3	1	3	0.9
84	84	1	1	1	3	1	4	0.8
21	85	1	1	1	3	2	1	1
103	86	1	1	2	1	2	3	0.6

63	87	1	1	2	4	2	3	1
93	88	1	1	1	4	2	1	1
9	89	1	1	1	2	1	1	1
80	90	1	1	1	2	2	4	0.7
60	91	1	1	2	4	1	4	0.8
20	92	1	1	1	3	1	4	0.9
51	93	1	1	2	3	1	3	0.7
22	94	1	1	1	3	2	2	1
88	95	1	1	1	3	2	4	0.8
78	96	1	1	1	2	2	2	0.9
31	97	1	1	1	4	2	3	0.9
64	98	1	1	2	4	2	4	0.8
77	99	1	1	1	2	2	1	1
4	100	1	1	1	1	1	4	0.6
30	101	1	1	1	4	2	2	1
66	102	1	1	1	1	1	2	0.8
118	103	1	1	2	3	2	2	0.8
113	104	1	1	2	3	1	1	1
69	105	1	1	1	1	2	1	1
71	106	1	1	1	1	2	3	0.9
32	107	1	1	1	4	2	4	0.8
57	108	1	1	2	4	1	1	1
111	109	1	1	2	2	2	3	0.7
95	110	1	1	1	4	2	3	0.9
19	111	1	1	1	3	1	3	0.9
29	112	1	1	1	4	2	1	1
122	113	1	1	2	4	1	2	0.9
67	114	1	1	1	1	1	3	0.7
79	115	1	1	1	2	2	3	0.9
114	116	1	1	2	3	1	2	0.8
38	117	1	1	2	1	2	2	1
37	118	1	1	2	1	2	1	1
90	119	1	1	1	4	1	2	1
74	120	1	1	1	2	1	2	1
124	121	1	1	2	4	1	4	0.9
44	122	1	1	2	2	1	4	0.8
43	123	1	1	2	2	1	3	0.9
58	124	1	1	2	4	1	2	0.9
18	125	1	1	1	3	1	2	1
85	126	1	1	1	3	2	1	1
25	127	1	1	1	4	1	1	1
72	128	1	1	1	1	2	4	0.8

Anexo 50: Cálculo del costo de Mano de Obra para Analista de Calidad

Cargo / concepto	Sueldo bruto mensual (S/)	AFP 13%* (S/)	EsSalud 9% (S/)	Beneficios REMYPE prorrateados** (S/)	Costo total mensual para la empresa (S/)	Costo total anual para la empresa (S/)
Analista de Control de Calidad (REMYPE)	S/ 1 130	S/ 146,9	S/ 101,7	S/ 212,4	S/ 1 444,1	S/ 17 330

Fuente: Elaboración propia

Anexo 51: Cotización de mantenimiento correctivo rodillo de goma

Lima, 14 de abril de 2025

COTIZACIÓN N° 00010-24

Señores:
INDUSTRIA ARTESANAL SOTO EIRL
RUC 20605190660

A su solicitud, nos es grato presentar a Uds. la siguiente cotización:

N°	DESCRIPCIÓN	CANT.	S/. PRECIO UNIT.	S/. PRECIO TOTAL
1	Servicio de revestimiento de rodillo Encolador 2460mm x 161mmØ, x 181mm Ø final en sintético 65 shore, paralelismo de 0.03mm, pulido bien fino. RESC-6656	1	S/. 4,500.00	S/. 4,500.00
Valor Venta				S/. 4,500.00
IGV (18%)				S/. 810.00
Precio Venta				S/. 5,310.00

VALIDEZ OFERTA: 15 días
TIEMPO DE ENTREGA: 6 DIAS UTILES

FORMA DE PAGO: 50% adelanto/50% C/E
TIPO DE MONEDA: Moneda Nacional
 De aceptar el presupuesto sírvase girar la Orden de Compra a:
ELASTOMEROS Y DERIVADOS S.A. RUC: 20143717969

Elastómeros y Derivados S.A.
ATT: Carlos Hernández C.
(94)609*9099/ 332-6197/ 332-6362/ Directo: 651-3772

Av. Guillermo Dansey #1369 Lima - Perú telefax 332-6197 3326657 3326362 6513772
Email: jhernandez@elastomerosyderivados.com

Anexo 52: Cálculo de costo de bolsas de reproceso y venta a menor precio por RSC

Periodo	Paquetes Vendidos (und.)	Valor de Venta	Proporción defectuoso por RSC después de mejora	Paq. Defectuoso por RSC (und.)	Costo de reproceso	Costo de venta a menor precio
Set-25	3671	S/ 62,410.26	0.20%	7	S/ 8.81	S/ 47.73

Fuente: Elaboración propia

Anexo 53: Comparación de ventas y utilidades mensuales antes y después de la mejora (2024 vs 2025)

Periodo	Ventas antes de la mejora 2024 (S/)	Utilidad antes de la mejora 2024 (S/)	Ventas después de la mejora 2025 (S/)	Utilidad después de la mejora 2025 (S/)	Variación de utilidades 2025 – 2024 (S/)
Ene	S/ 55 400,19	S/ 13 035,34	S/ 40 547,00	S/ 9 540,47	-S/ 3 494,87
Feb	S/ 56 802,69	S/ 13 365,34	S/ 41 294,50	S/ 9 716,35	-S/ 3 648,99
Mar	S/ 52 875,69	S/ 12 441,34	S/ 44 414,50	S/ 10 450,47	-S/ 1 990,87
Abr	S/ 37 167,69	S/ 8 745,34	S/ 50 563,50	S/ 11 897,29	S/ 3 151,95
May	S/ 43 665,94	S/ 10 274,34	S/ 52 578,50	S/ 12 371,41	S/ 2 097,07
Jun	S/ 50 763,44	S/ 11 944,34	S/ 58 411,98	S/ 13 744,00	S/ 1 799,66
Jul	S/ 46 315,66	S/ 10 897,80	S/ 62 750,44	S/ 14 764,81	S/ 3 867,01
Ago	S/ 50 253,44	S/ 11 824,34	S/ 63 410,20	S/ 14 920,05	S/ 3 095,71
Set	S/ 42 152,66	S/ 9 918,27	S/ 62 410,26	S/ 14 684,77	S/ 4 766,50
Total ene–set	S/ 435 397,40	S/ 102 446,45	S/ 476 380,88	S/ 112 089,62	S/ 9 643,17

Anexo 54: Incremento de utilidades percibidas anualizadas

$$\Delta \text{Utilidades Anual} = (\text{Utilidad set 2025} - \text{Utilidad set 2024}) \times 12$$

$$\Delta \text{Utilidades Anual} = (14\,684,77 - 9\,918) \times 12$$

$$\Delta \text{Utilidades Anual} = S/ 57\,198$$

Anexo 55: Reporte de utilidades del periodo Setiembre 2025

ESTADO DE GANANCIAS Y PERDIDAS
INDUSTRIA ARTESANAL SOTO EIRL
30.09.2025

DESCRIPCIÓN	EJERCICIO O PERIODO
	SETIEMBRE 2025
Ventas Netas (ingresos operacionales)	62,410
Otros Ingresos Operacionales	
Total de Ingresos Brutos	62,410
Costo de ventas	40,567
Otros costos	
Utilidad Bruta	21,844
Gastos Operacionales	7,159
Gastos de Administración	4,768
Gastos de Venta	2,391
Gastos Financieros	0
Utilidad Operativa	14,685
Otros Ingresos (gastos)	0
Ingresos Financieros	0
Gastos Financieros	
Otros Ingresos	
RESULTADO ANTES DE PARTICIPACIONES E IMPUESTOS	14,685


 Sergio Orellana Carranza
 C.P.C.
 MAT. 04-9768

Anexo 56: Asesoría técnica en proceso de conversión de papel por EMAHSA SAC



27 de noviembre del 2024

SEÑORES:
COTIZACIÓN N° 198-24
SOLICITADO POR: EDWIN
LINEA:

Nos es grato dirigirnos a UD para hacerle llegar la siguiente cotización.

ITM	DESCRIPCION	CANT	P. UNIT	P. TOTAL
01	ASESORÍA TÉCNICA EN PROCESO DE CONVERSIÓN • DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DE MÁQUINAS REBOBINADORAS • CÁLCULO DE VELOCIDAD DE REBOBINADO Y CAPACIDAD DE LÍNEA • MAESTRANZA Y CAPACITACIÓN EN OPERACIÓN DE REBOBINADO Y CORTE • LEVANTAMIENTO Y AJUSTE DE PARÁMETROS CRÍTICOS.	01	S/ 5 500	S/ 5 500

Los precios no incluyen IGV.
Vigencia de cotización 30 días
Entrega 10 días.

En espera de sus amables y gratas noticias nos despedimos de UD.

+51 986 331 097
 +51 989 292 382

www.emahsa.com.pe
ventas@emahsa.com.pe

Av. Almirante Miguel Grau #258
 Int. 9-7 Santa Clara Ate - Lima

Av. Andres Avelino Cáceres Mz. G
 Lote 05. Filadelfia IV etapa ate - Lima

Anexo 57: Capacitación en DOE, estadística inferencia, MSA y Cartas de control

Inversión Maestría en Ingeniería con Especialidad en Sistemas de Calidad y Productividad			
Periodo	Materias	Valor neto	Valor neto
		Inversión por Periodo 	Inversión por Periodo 
Enero - Abril 2023	2	\$ 45.000	\$ 2.250
Abril - Junio 2023	2	\$ 45.000	\$ 2.250
Verano 2023	1	\$ 22.500	\$ 1.125
Septiembre - Diciembre 2023	2	\$ 45.000	\$ 2.250
Enero - Abril 2024	2	\$ 46.800	\$ 2.340
Abril - Junio 2024	2	\$ 46.800	\$ 2.340
Verano 2024	1	\$ 23.400	\$ 1.170
Septiembre - Diciembre 2024	2	\$ 46.800	\$ 2.340
INVERSIÓN TOTAL DEL PROGRAMA	14	\$ 321.300	\$ 16.065

Capacitación DOE y estadística (Enero a Abril): S/ 8 424

Capacitación MSA y Carta de control (Verano 2024): S/ 4 212

Anexo 58: Beneficio económico obtenidos después de mejora

Utilidad Operativa Después de Mejora	Antes de Mejora	Después de Mejora	Margen Operativo	Frecuencia Anual Proyectada	Utilidad Operativa Anual
Utilidad por Pedidos Atendidos	S/ 9,918	S/ 14,685	S/ 4,766.49	12	S/ 57,197.93
Reducción de Costos por Reproceso	S/ 1,927	S/ 9	S/ 1,917.79	1	S/ 1,917.79
Reducción de costo de venta a menor precio	S/ 7,303	S/ 48	S/ 7,255.02	1	S/ 7,255.02
Reducción de Costo de Devolución de Paquetes NC	S/ 4,889	S/ 0	S/ 4,888.63	1	S/ 4,888.63
Total			-	-	S/ 71,259.37

Fuente: Elaboración propia

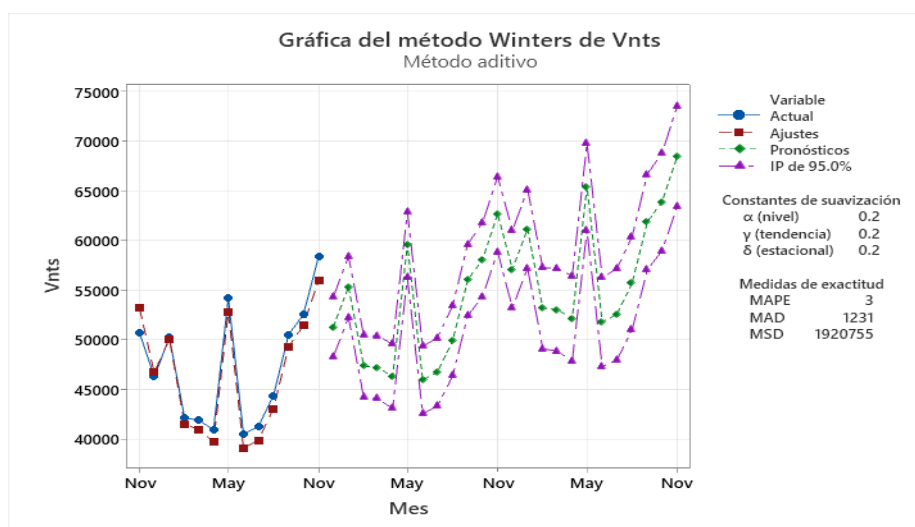
Anexo 59: Pronostico de ventas para flujo de caja económico

AÑO	PERIODO	Ventas Reales	Pronóstico sin mejora	Incremento de utilidad respecto 2024	Pronóstico con mejora	Año
2025	Junio	S/ 58,411.98				0
	Julio	S/ 62,750.44	S/ 51,317	S/ 11,433	S/ 62,819	1
	Agosto	S/ 63,410.20	S/ 55,375	S/ 8,035	S/ 66,876	2
	Setiembre	S/ 62,410.26	S/ 47,374	S/ 15,036	S/ 58,876	3
	Octubre	-	S/ 47,257	-	S/ 58,758	4
	Noviembre	-	S/ 46,360	-	S/ 57,862	5
2026	Diciembre	-	S/ 59,627	-	S/ 71,129	6
	Enero	-	S/ 46,000	-	S/ 57,502	7
	Febrero	-	S/ 46,773	-	S/ 58,275	8
	Marzo	-	S/ 49,910	-	S/ 61,412	9
	Abril	-	S/ 56,069	-	S/ 67,571	10
	Mayo	-	S/ 58,090	-	S/ 69,592	11
	Junio	-	S/ 62,693	-	S/ 74,195	12
	Julio	-	S/ 57,142	-	S/ 68,643	13
	Agosto	-	S/ 61,199	-	S/ 72,701	14
	Setiembre	-	S/ 53,199	-	S/ 64,700	15
	Octubre	-	S/ 53,081	-	S/ 64,582	16
	Noviembre	-	S/ 52,185	-	S/ 63,686	17
2027	Diciembre	-	S/ 65,452	-	S/ 76,953	18
	Enero	-	S/ 51,825	-	S/ 63,326	19
	Febrero	-	S/ 52,598	-	S/ 64,099	20
	Marzo	-	S/ 55,735	-	S/ 67,236	21
	Abril	-	S/ 61,894	-	S/ 73,395	22
	Mayo	-	S/ 63,915	-	S/ 75,416	23
	Junio	-	S/ 68,518	-	S/ 80,019	24

Fuente: Elaboración propia

El promedio de incremento de utilidad de los tres meses con la mejora implementada es de S/ 11 501 con respecto al año anterior.

Anexo 60: Pronóstico de Winters con Minitab



Fuente: Elaboración

Anexo 61: Calculo de depreciación

$$\text{Inversión de Equipos de Medición} = S/ 14\,725,4$$

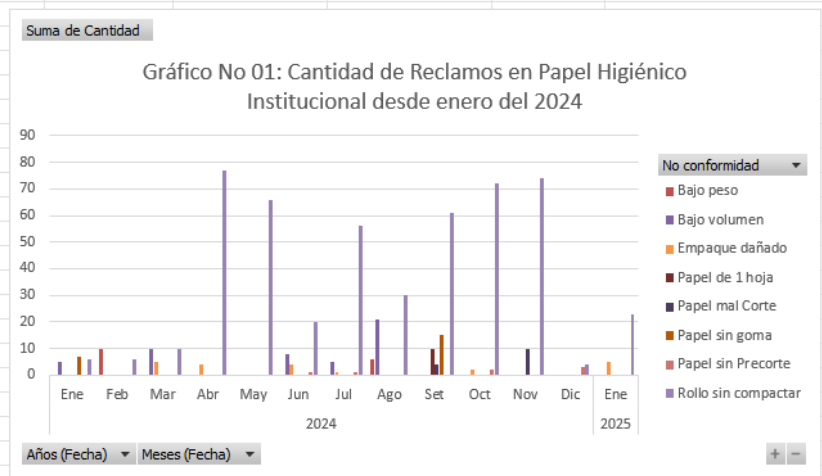
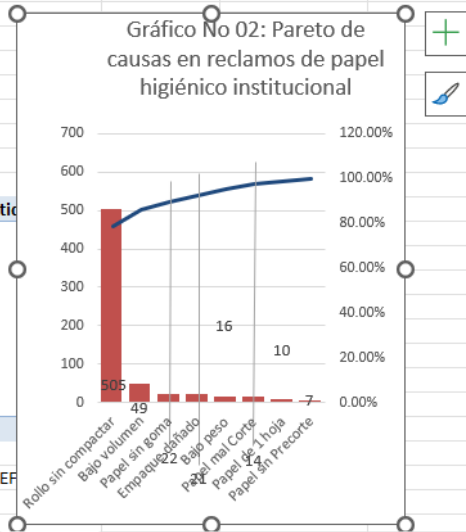
$$\text{Vida Util} = 5 \text{ años}$$

$$\text{Depreciación Anual} = \frac{14\,725,4}{5} = S/ 2\,948,08$$

$$\text{Depreciación Mensual} = \frac{2\,948,08}{12} = S/ 245,42$$

Anexo 62: Datos de inicio de proyecto

Suma de Cantidad	Etiquetas de columna								
Etiquetas de fila	Bajo peso	Bajo volumen	Empaque dañado	Papel de 1 hoja	Papel mal Corte	Papel sin goma	Papel sin Precorte	Rollo sin compactar	Total general
2024	16	49	16	10	14	22	7	482	616
Ene		5				7		6	18
Feb	10							6	16
Mar		10	5					10	25
Abr			4					77	81
May								66	66
Jun		8	4				1	20	33
Jul		5	1				1	56	63
Ago	6	21						30	57
Set				10	4	15		61	90
Oct			2				2	72	76
Nov					10			74	84
Dic							3	4	7
2025			5					23	28
Ene			5					23	28
Total general	16	49	21	10	14	22	7	505	644



- Etiquetas de fila
- Suma de Cantidad
- Rollo sin compactar
- Bajo volumen
- Papel sin goma
- Empaque dañado
- Bajo peso
- Papel mal Corte
- Papel de 1 hoja
- Papel sin Precorte
- Total general

#i REF

Anexo 63: Desarrollo de estadísticas básicas para variables DMAIC

Navegador

- Estadísticos descriptivos: % HR
- Estadísticos descriptivos: % HR
- Estadísticos descriptivos: % HR
- Estadísticos descriptivos: % HR
- Estadísticos descriptivos: Velocida...
- Estadísticos descriptivos: Velocida...
- Estadísticos descriptivos: Velocida...
- Estadísticos descriptivos: Diámetr...
- Estadísticos descriptivos: Nivel Pre...
- Estadísticos descriptivos: Ancho C...
- Estadísticos descriptivos: Gramaje ...
- Estadísticos descriptivos: Nivel Pre...
- Estadísticos descriptivos: Diámetr...
- Estadísticos descriptivos: Velocida...
- Cuenta de variables discretas: Vel...
- Cuenta de variables discretas: Niv...
- Estadísticos descriptivos: Viscosid...

Estadísticos descriptivos: D...

HOJA DE TRABAJO 1

Estadísticos descriptivos: Diámetro polea reguladora madre

Variable	Media	media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Mediana	Máximo
Diámetro polea reguladora madre	25.007	0.0388	0.388	0.151	24.000	25.000	25.900

Histograma de Diámetro polea reguladora madre

Histograma (con curva normal) de Diámetro polea reguladora madre

Media: 25.01
 Desv.Est.: 0.3883
 N: 100

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	% HR	Velocidad Corte (Categoría)	Velocidad promedio (Hz)	Diámetro polea reguladora bobin	Nivel Presión Rodillo Goma	Ancho Cuchilla (mm)	Gramaje hoja de papel (g/m ²)	Nivel Presión Rodillos Gc
1	79.4	2	22.2	16.6	3	49.93	19.1	
2	74.8	2	27.6	15.8	3	48.43	19.1	
3	77.9	2	33.4	15.9	3	46.74	19.1	
4	77.0	3	34.4	16.4	3	45.24	19.1	
5	71.5	1	26.7	16.1	3	43.68	19.1	

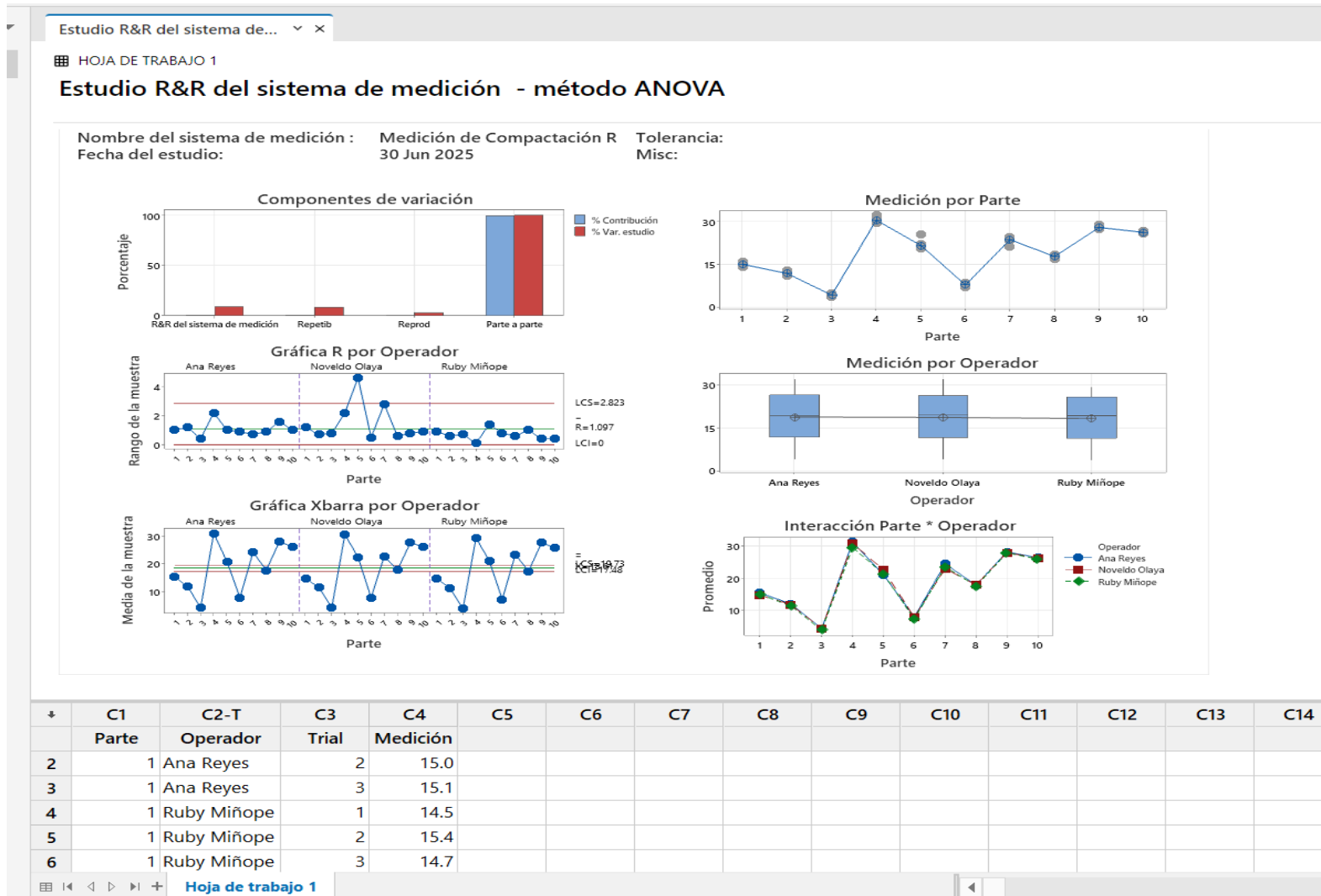
Anexo 64: Plantilla de estudio R&R del MSA

	DATA DE CONTROL DE MEDICIÓN EN COMPACTACIÓN DE ROLLOS INSTITUCIONALES
---	--

Desde: 29-Jun-25
Hasta: 30-Jun-25

Parte	Operador	Producto	Ensayo	Medida Diámetro Menor	Medida Diámetro Mayor	Diferencia	Conformidad
1	Ana Reyes	Pacasa Negro	1	234.6	250.6	16	C
1	Ana Reyes	Pacasa Negro	2	228.9	243.9	15	C
1	Ana Reyes	Pacasa Negro	3	231.4	246.5	15.1	C
1	Ruby Miño	Pacasa Negro	1	231	245.5	14.5	C
1	Ruby Miño	Pacasa Negro	2	236	251.4	15.4	C
1	Ruby Miño	Pacasa Negro	3	235.8	250.5	14.7	C
1	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	1	238.6	252.8	14.2	C
1	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	2	229.5	244.9	15.4	C
1	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	3	233.2	247.8	14.6	C
2	Ana Reyes	Pacasa Negro	1	229	240.8	11.8	C
2	Ana Reyes	Pacasa Negro	2	231.6	243.2	11.6	C
2	Ana Reyes	Pacasa Negro	3	235	247.8	12.8	C
2	Ruby Miño	Pacasa Negro	1	229	240.5	11.5	C
2	Ruby Miño	Pacasa Negro	2	231.3	243	11.7	C
2	Ruby Miño	Pacasa Negro	3	237.9	249	11.1	C
2	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	1	236.1	247.8	11.7	C
2	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	2	231.5	243.7	12.2	C
2	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	3	236.8	248.3	11.5	C
3	Ana Reyes	Pacasa Negro	1	245.6	250	4.4	C
3	Ana Reyes	Pacasa Negro	2	228.7	232.8	4.1	C
3	Ana Reyes	Pacasa Negro	3	245.4	249.9	4.5	C
3	Ruby Miño	Pacasa Negro	1	243.3	247.6	4.3	C
3	Ruby Miño	Pacasa Negro	2	236	239.6	3.6	C
3	Ruby Miño	Pacasa Negro	3	231.9	235.8	3.9	C
3	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	1	248.4	253.1	4.7	C
3	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	2	235.7	240.1	4.4	C
3	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	3	230.6	234.5	3.9	C
4	Ana Reyes	Pacasa Negro	1	231.1	262.3	31.2	NC
4	Ana Reyes	Pacasa Negro	2	250.1	282.3	32.2	NC
4	Ana Reyes	Pacasa Negro	3	243.9	273.9	30	NC
4	Ruby Miño	Pacasa Negro	1	249.1	278.5	29.4	NC
4	Ruby Miño	Pacasa Negro	2	247.1	276.6	29.5	NC
4	Ruby Miño	Pacasa Negro	3	242.2	271.7	29.5	NC
4	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	1	253.3	283.5	30.2	NC
4	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	2	238.2	268.1	29.9	NC
4	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	3	242.6	274.7	32.1	NC
5	Ana Reyes	Pacasa Negro	1	232.7	253.2	20.5	C
5	Ana Reyes	Pacasa Negro	2	231.3	252.3	21	C
5	Ana Reyes	Pacasa Negro	3	232	253.5	21.5	C
5	Ruby Miño	Pacasa Negro	1	231.3	252.1	20.8	C
5	Ruby Miño	Pacasa Negro	2	230.9	253.1	22.2	C
5	Ruby Miño	Pacasa Negro	3	228.8	249.6	20.8	C
5	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	1	228.6	254	25.4	C
5	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	2	229.9	250.7	20.8	C
5	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	3	228.9	250.2	21.3	C
6	Ana Reyes	Pacasa Negro	1	232.6	241	8.4	C
6	Ana Reyes	Pacasa Negro	2	230.4	237.9	7.5	C
6	Ana Reyes	Pacasa Negro	3	233.4	241.4	8	C
6	Ruby Miño	Pacasa Negro	1	239.8	247.6	7.8	C
6	Ruby Miño	Pacasa Negro	2	235.2	242.4	7.2	C
6	Ruby Miño	Pacasa Negro	3	235.4	242.4	7	C
6	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	1	232.3	240.2	7.9	C
6	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	2	233.3	241	7.7	C
6	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	3	244.7	252.9	8.2	C
7	Ana Reyes	Pacasa Negro	1	229.1	253.7	24.6	C
7	Ana Reyes	Pacasa Negro	2	229.1	253.7	24.6	C
7	Ana Reyes	Pacasa Negro	3	228.9	252.8	23.9	C
7	Ruby Miño	Pacasa Negro	1	229.9	253.5	23.6	C
7	Ruby Miño	Pacasa Negro	2	228.9	252.7	23.8	C
7	Ruby Miño	Pacasa Negro	3	229.4	252.6	23.2	C
7	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	1	230.1	254	23.9	C
7	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	2	231.4	252.5	21.1	C
7	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	3	229.5	253.2	23.7	C
8	Ana Reyes	Pacasa Negro	1	233.5	251.8	18.3	C
8	Ana Reyes	Pacasa Negro	2	235.3	252.7	17.4	C
8	Ana Reyes	Pacasa Negro	3	234.6	252.3	17.7	C
8	Ruby Miño	Pacasa Negro	1	230.3	248.1	17.8	C
8	Ruby Miño	Pacasa Negro	2	228.9	245.7	16.8	C
8	Ruby Miño	Pacasa Negro	3	231	248.8	17.8	C
8	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	1	230.6	248.7	18.1	C
8	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	2	230.2	248.2	18	C
8	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	3	236	253.5	17.5	C
9	Ana Reyes	Pacasa Negro	1	250.9	279.1	28.2	NC
9	Ana Reyes	Pacasa Negro	2	236.6	265.4	28.8	NC
9	Ana Reyes	Pacasa Negro	3	245.2	272.4	27.2	NC
9	Ruby Miño	Pacasa Negro	1	238.6	266.6	28	NC
9	Ruby Miño	Pacasa Negro	2	251.8	279.5	27.7	NC
9	Ruby Miño	Pacasa Negro	3	240.3	267.9	27.6	NC
9	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	1	235.3	263.4	28.1	NC
9	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	2	234.9	262.2	27.3	NC
9	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	3	242.9	270.9	28	NC
10	Ana Reyes	Pacasa Negro	1	235.3	261	25.7	NC
10	Ana Reyes	Pacasa Negro	2	243.4	269.9	26.5	NC
10	Ana Reyes	Pacasa Negro	3	251.4	278.1	26.7	NC
10	Ruby Miño	Pacasa Negro	1	238.7	264.4	25.7	NC
10	Ruby Miño	Pacasa Negro	2	234.2	260.3	26.1	NC
10	Ruby Miño	Pacasa Negro	3	253.9	279.7	25.8	NC
10	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	1	241.5	267.3	25.8	NC
10	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	2	230.9	257.1	26.2	NC
10	Noveldo Olaya	Pacasa Negro	3	229.8	256.5	26.7	NC

Anexo 65: Estudio MSA para compactación de rollos de papel institucional en Minitab



Anexo 66: Datos para las pruebas de hipótesis en Excel

H429 : X ✓ fx =+SI(G429="Baja";"1";SI(G429="Media";"2";"3"))

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	Fecha	Hora	% NC	%C	Numero de Defectuosos	% H	Velo Corte	Velo Corte	Velo Rebob.	Presion Rod. Gom (Cod.)	Presion Rod. Gom (Cod.)	Diámetro polea reguladora bobina hija (mm)	Viscosidad Goma	Viscosidad Goma (Cod.)	An Cu (m)
428	26/06/2025	08:00	0%	100%	0.00	80.5	Media	2	25.6	Normal	3	15.3	Alta	1	18
429	26/06/2025	10:00	0%	100%	0.00	78.8	Media	2	26.8	Normal	3	15.9	Alta	1	16
430	26/06/2025	12:00	0%	100%	0.00	77.2	Alta	3	38.8	Medio	2	15.2	Alta	1	14
431	26/06/2025	14:00	0%	100%	0.00	78.7	Baja	1	35.2	Normal	3	15	Alta	1	13
432	26/06/2025	16:00	0%	100%	0.00	82.9	Media	2	34.2	Normal	3	15.8	Alta	1	11
433	26/06/2025	18:00	0%	100%	0.00	81.9	Baja	1	31.5	Normal	3	15.3	Alta	1	10
434	27/06/2025	08:00	0%	100%	0.00	76.9	Media	2	23	Normal	3	15.3	Alta	1	50
435	27/06/2025	10:00	0%	100%	0.00	77.7	Media	2	34.5	Normal	3	15.3	Alta	1	48
436	27/06/2025	12:00	20%	80%	2.00	77.8	Media	2	52.3	Normal	3	16.6	Baja	4	47
437	27/06/2025	14:00	0%	100%	0.00	77.4	Baja	1	38.8	Alta	4	14.9	Alta	1	45
438	27/06/2025	16:00	0%	100%	0.00	78.8	Baja	1	34.4	Alta	4	14.9	Alta	1	44
439	27/06/2025	18:00	0%	100%	0.00	82.6	Alta	3	27.6	Alta	4	15.5	Alta	1	43
440	28/06/2025	08:00	0%	100%	0.00	82.3	Alta	3	26.3	Alta	4	15.5	Moderada	2	43
441	28/06/2025	10:00	0%	100%	0.00	85	Baja	1	32.5	Alta	4	15.3	Moderada	2	41
442	28/06/2025	12:00	0%	100%	0.00	78.1	Baja	1	28.7	Alta	4	15.9	Moderada	2	40
443	28/06/2025	14:00	0%	100%	0.00	76.3	Alta	3	39.6	Alta	4	15.2	Alta	1	39
444	28/06/2025	16:00	0%	100%	0.00	81.3	Baja	1	34.5	Normal	3	15	Alta	1	37
445	28/06/2025	18:00	0%	100%	0.00	78.9	Alta	3	26.7	Normal	3	15.7	Alta	1	36
446	30/06/2025	08:00	0%	100%	0.00	83.9	Alta	3	34.5	Normal	3	14.9	Alta	1	36
447	30/06/2025	10:00	0%	100%	0.00	82.1	Media	2	32.5	Normal	3	15.6	Alta	1	35
448	30/06/2025	12:00	0%	100%	0.00	79.5	Alta	3	29.7	Normal	3	15.6	Alta	1	33
449	30/06/2025	14:00	0%	100%	0.00	83.5	Media	2	35.2	Normal	3	15.7	Alta	1	32
450	30/06/2025	16:00	0%	100%	0.00	79	Media	2	31.5	Normal	3	15.6	Alta	1	31
451	30/06/2025	18:00	0%	100%	0.00	87.8	Media	2	34.5	Normal	3	15.3	Alta	1	29

Hoja3 Hoja2 Hoja1 Prueba de H +

Anexo 67: Prueba de hipótesis de las variables y modelo de regresión múltiple en Minitab

Navegador

- Regresión para %RSC vs. NPRG...
- Regresión para %RSC vs. NPRG...
- Análisis de regresión: %RSC vs. ...
- Prueba de Kruskal-Wallis: %RS...
- Prueba de Kruskal-Wallis: %RS...
- ANOVA de un solo factor: %RS...
- Prueba de Kruskal-Wallis: %RS...
- ANOVA de un solo factor: %RS...
- Gráfica de probabilidad de An...
- Identificación de la distribució...
- Transformación de Johnson par...
- Transformación de Johnson par...
- Regresión para Ancho Cuchilla ...
- Regresión para C2 vs. %RSC
- Análisis de regresión: %RSC vs. ...
- Análisis de regresión: %RSC vs. ...
- Análisis de regresión: %RSC vs. ...
- Análisis de regresión: %RSC vs. ...
- Análisis de regresión: %RSC vs. ...
- Gráfica de probabilidad de C2
- ANOVA de un solo factor: %RS...
- Gráfica de caja de Gr
- Gráfica de caja de %RSC
- Gráfica de caja de %RSC
- Prueba de Kruskal-Wallis: %RS...
- Prueba de Kruskal-Wallis: %RS...
- ANOVA de un solo factor: %RS...
- Regresión múltiple para Y
- Análisis de regresión: Y vs. Velo...
- Análisis de regresión: Y vs. Velo...

Análisis de regresión: Y vs. ...

RMS

Análisis de regresión: Y vs. Velocidad R; Diametro P; Presion RG; Viscosidad

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
0.0259601	90.09%	89.70%	82.40%

Análisis de Varianza

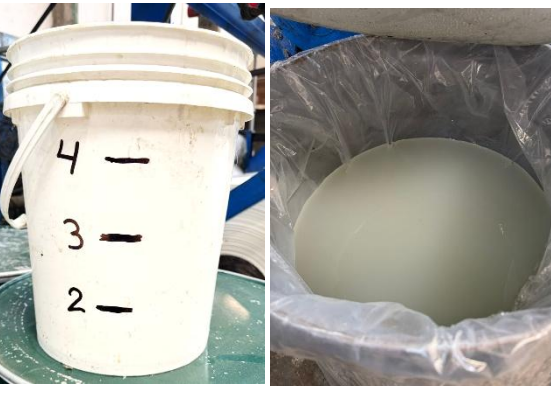



Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	17	2.64666	0.155686	231.01	0.000
Velocidad R	1	0.00833	0.008326	12.35	0.000
Diametro P	1	0.02982	0.029816	44.24	0.000
Presion RG	3	0.03227	0.010758	15.96	0.000
Viscosidad	3	0.19271	0.064238	95.32	0.000
Diametro P*Presion RG	3	0.04515	0.015050	22.33	0.000
Velocidad R*Presion RG	3	0.01367	0.004555	6.76	0.000
Velocidad R*Velocidad R*Presion RG	3	0.01043	0.003478	5.16	0.002
Error	432	0.29114	0.000674		
Falta de ajuste	407	0.29114	0.000715	*	*
Error puro	25	0.00000	0.000000		
Total	449	2.93780			

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

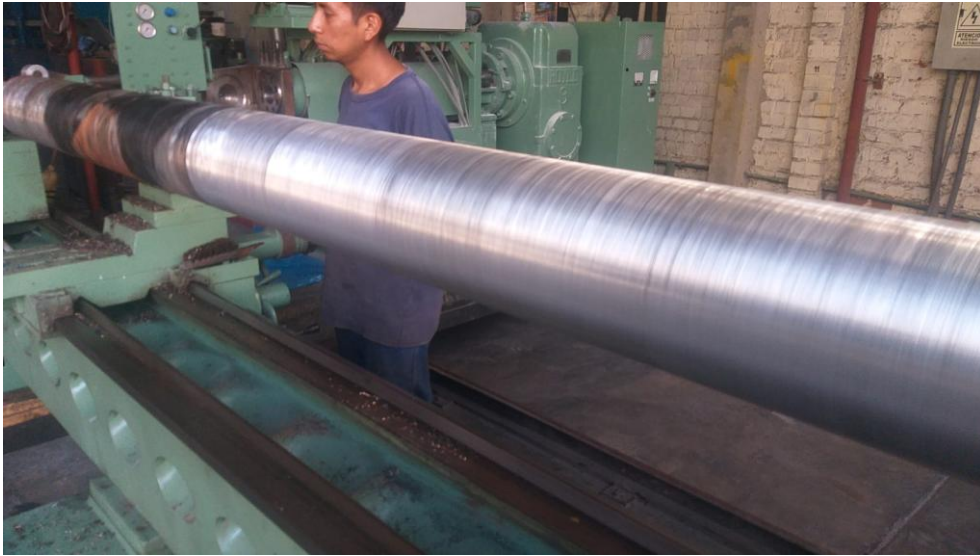
Obs	Y	Aiuste	Resid	Resid est.															
+	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19
	Y	Velocidad R	Presion RG	Diametro P	Viscosidad	RESPBC	AJTESB												
429	100.00%	38.8	2	15.2	1	0.0000000	0.98341												
430	100.00%	35.2	3	15.0	1	0.0000000	0.99950												
431	100.00%	34.2	3	15.8	1	0.0000000	0.99862												
432	100.00%	31.5	3	15.3	1	0.0000000	0.99979												
433	100.00%	23.0	3	15.3	1	0.0000000	1.00132												

DPR_BH PRGoma Nivel de Viscosidad de Goma Hoja de trabajo 12 Gramaje RMS

Anexo 68: Evidencia Fotográfica de Variables y Capacitación

Factor Velocidad de Rebobinado (Hz)	Factor Nivel de Viscosidad de Goma
	
Factor Nivel de Presión de Rodillo Goma	Factor Diámetro de Polea B. Hija
	
Foto de Capacitación con Personal de Conversión	
	

Anexo 69: Mantenimiento Correctivo del Laminador



Anexo 70: Paquetes Conformes Pacasa



Anexo 71: Carta de aceptación**CARTA DE ACEPTACIÓN**

04 de febrero del 2025

Sr/Sres.

A quien corresponda,

Por la presente, INDUSTRIA ARTESANAL SOTO E.I.R.L., representada por el Sr. Edwin Moisés Soto Tarazona, en su calidad de representante legal, certifica la aceptación del Ing. Maycol Yhonatan Soto Chavez, identificado con DNI 48600939, para la ejecución de su proyecto de tesis que tiene como finalidad mejoras en nuestras instalaciones.

Nos comprometemos a brindar las facilidades necesarias para el desarrollo del proyecto en conformidad con las normativas vigentes y los acuerdos establecidos.

Atentamente,

INDUSTRIA ARTESANAL SOTO E.I.R.L.
EDWIN MOISES SOTO TARAZONA
GERENTE

INDUSTRIA ARTESANAL SOTO EIRL

Domicilio Fiscal: Calle San Felipe N° 551 - José Leonardo Ortiz – Chiclayo - Lambayeque

Anexo 72: Costo de dispositivo de medición de compactación/firmeza**1.-EVALUACIÓN ECONÓMICA**

NOMBRE/EQUIPO	PRECIO VENTA USD \$
Dispositivo de Compactación Dimensional para Rollos de Papel Tisú	4,331

- El precio ofertado en la presente cotización son DOLARES AMERICANOS USD \$, no incluyen IGV
- Validez de la oferta: 20 Días
- Plazo de entrega: 45 días.

