



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ANÁLISIS DE MERMA Y PROPUESTAS DE MITIGACIÓN DE DEFECTOS EN LAS
LÁMINAS DE CARTÓN DE UNA INDUSTRIA CARTONERA NACIONAL, DERIVADOS
DE PROBLEMAS EN LAS PROPIEDADES DEL PAPEL COMO MATERIA PRIMA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Industrial

AUTOR: Anthony Javier Muguersa Ruperti

TUTOR: Ing. Ángel Roberto Guevara Orozco, Mgs.

Guayaquil-Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Anthony Javier Muguersa Ruperti con documento de identificación N° 0957513682 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 24 de Enero del año 2025

Atentamente,

Anthony Muguersa
Anthony Javier Muguersa Ruperti
0957513682

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Anthony Javier Muguersa Ruperti con documento de identificación No. 0957513682, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto técnico: Análisis de merma y propuestas de mitigación de defectos en las láminas de cartón de una industria cartonera nacional, derivados de problemas en las propiedades del papel como materia prima; el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 24 de Enero del año 2025

Atentamente,

Anthony Muguersa

Anthony Javier Muguersa Ruperti
0957513682

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ángel Roberto Guevara Orozco con documento de identificación N° 0923017107, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE MERMA Y PROPUESTAS DE MITIGACIÓN DE DEFECTOS EN LAS LÁMINAS DE CARTÓN DE UNA INDUSTRIA CARTONERA NACIONAL, DERIVADOS DE PROBLEMAS EN LAS PROPIEDADES DEL PAPEL COMO MATERIA PRIMA, realizado por Anthony Javier Muguersa Ruperti con documento de identificación N° 0957513682, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 24 de Enero del año 2025

Atentamente,



Ángel Roberto Guevara Orozco
0923017107

DEDICATORIA

Dedico este esfuerzo a mi familia, por ser mi pilar inquebrantable en cada paso de este camino. A mis padres, quienes con su amor, sabiduría y sacrificio me enseñaron el valor del trabajo duro y la perseverancia.

A mis amigos, por su apoyo incondicional, sus palabras de ánimo y por recordarme que todo gran logro merece ser celebrado.

A mis profesores, quienes, con su paciencia, dedicación y compromiso, me guiaron en este camino académico. A cada uno de ellos, que compartió no solo su conocimiento, sino también su pasión por enseñar y formar profesionales comprometidos con la excelencia.

Y, especialmente, a mí mismo, por no rendirme ante los desafíos, por aprender de cada caída y por transformar cada reto en una oportunidad para crecer. Este logro es el reflejo de cada experiencia y enseñanza que me ha acompañado en esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Deseo manifestar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que han sido clave en la realización de este proyecto y que me han ofrecido su apoyo incondicional a lo largo de mi trayectoria universitaria.

En primer lugar, agradezco a mis padres: Javier y Cintya; que por su amor, paciencia y enseñanzas a lo largo de mi vida han sido un pilar y apoyo constante, tanto emocional como material, han sido la base de todo lo poco que he logrado, el 90% de mis éxitos futuros son de ellos. Gracias por ser mi mayor fuente de inspiración y por siempre creer en mí, incluso cuando se presentaron obstáculos en el camino.

También quiero hacer una mención especial para mis tres sobrinas: Aylin, Kristel y Charlotte; quienes con su alegría, energía y amor incondicional me han dado la motivación para seguir adelante y no derrumbarme. Sus sonrisas y su entusiasmo han sido un recordatorio constante de la importancia de luchar por ellas, por mis sueños y de no rendirme ante las adversidades.

A todo mi círculo familiar y de amigos por su amor, paciencia y por siempre estar a mi lado, les dedico este trabajo.

RESUMEN

En una industria cartonera nacional se presenta la problemática de una merma alejada del objetivo que se tiene del 1%, por parte de la gerencia operativa, esto en la producción de láminas de cartón, lo cual es un valor elevado, generando preocupación por los costos asociados y la afectación a la calidad del producto final. Esta situación obliga a identificar las principales causas de los defectos que generan esta merma, con el objetivo de estabilizar el proceso y proponer mejoras.

La generación de esta merma representa para la empresa una pérdida económica significativa de aproximadamente \$30,000 debido a la pérdida de material y los costos adicionales de reprocesamiento. Además, el mal manejo de las propiedades del papel que es usada como materia prima se convierte en un punto crítico dentro del proceso, ya que impacta directamente en la calidad del producto final, obligando a detener lotes y realizar ajustes constantes que afectan la productividad global.

Para este proyecto, se inicia un análisis en las áreas críticas del proceso, abordando específicamente los defectos críticos que podrían estar asociados a las propiedades del papel. Se utilizarán herramientas de gestión de calidad para identificar las causas raíz de la merma, establecer planes de acción y reducir el porcentaje de merma al mínimo posible, optimizando los costos y garantizando un incremento en la calidad del producto final.

Palabras claves: industria, cartón, merma, propiedades, defectos, calidad, materia prima, producción, papel.

ABSTRACT

In a national cardboard industry, there is a problem with waste levels significantly exceeding the target of 1% set by operational management in the production of cardboard sheets. This elevated value raises concerns due to the associated costs and the impact on the quality of the final product. This situation necessitates the identification of the main causes of the defects contributing to this waste, with the aim of stabilizing the process and proposing improvements.

The generation of this waste represents a significant economic loss for the company, amounting to approximately \$7,000 due to material loss and additional reprocessing costs. Furthermore, the improper handling of the paper properties used as raw material has become a critical issue within the process, as it directly affects the quality of the final product. This forces the company to halt production batches and make constant adjustments, which negatively impacts overall productivity.

For this project, an analysis will be conducted in the critical areas of the process, specifically addressing the key defects that may be linked to the properties of the paper. Quality management tools will be utilized to identify the root causes of the waste, establish action plans, and reduce the waste percentage to the lowest possible level, thereby optimizing costs and ensuring an improvement in the quality of the final product.

Keywords: industry, cardboard, waste, properties, defects, quality, raw material, production, paper.

INDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT	VIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	2
1. PROBLEMA.....	2
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2 ANTECEDENTES.....	3
1.3 IMPORTANCIA Y ALCANCES	4
1.4 JUSTIFICACIÓN	5
1.5 DELIMITACIÓN	6
1.6 GRUPO OBJETIVO BENEFICIARIO	7
1.7 OBJETIVO GENERAL	8
1.8 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
CAPITULO II.....	9
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 HISTORIA DEL CARTÓN	9
2.1.1 DESARROLLO INDUSTRIAL	10

2.2 INDUSTRIA CARTONERA EN EL ECUADOR.....	12
2.2.1 HISTORIA Y DESARROLLO DEL SECTOR CARTONERO NACIONAL	13
2.2.2 IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL SECTOR.....	14
2.3 FABRICACIÓN DEL CARTÓN	16
2.4 LA MERMA EN PROCESOS INDUSTRIALES.....	17
2.4.1 DEFINICIÓN DE MERMA	17
2.5 EL PAPEL: UN MATERIAL ESENCIAL	18
2.5.1 NATURALEZA DEL PAPEL.....	18
2.5.2 IMPORTANCIA DEL PAPEL EN EL SECTOR	19
2.5.3 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL PAPEL	21
2.5.4 CALIDAD DEL PAPEL	23
2.6 PROPIEDADES DEL PAPEL	24
2.6.1 GRAMAJE	25
2.6.2 RESITENCIA A LA COMPRESIÓN (SCT)	26
2.6.3 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	27
Prueba del COOB	28
2.6.4 RESISTENCIA DE UNIÓN INTERNA.....	29
2.6.5 POROSIDAD.....	30
2.7 DEFECTOS EN EL CARTÓN	32
2.7.1 DESCUADRE.....	32
2.7.2 PANDEO	33
2.7.3 HUMEDAD	35
2.7.4 DELAMINACIÓN.....	36
2.7.5 ARRUGAS	37
2.7.6 SOPLADO	38
2.8. HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS	39
2.8.1 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	39
2.8.2 COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN.....	40
2.9. HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE CALIDAD	41

2.9.1 DIAGRAMA DE ISHIKAWA (O DE CAUSA – EFECTO)	41
2.9.2 DIAGRAMA DE PARETO	42
2.9.3 MÉTODO DE LOS 5 PORQUES	43
CAPITULO III	44
3. MARCO METODOLÓGICO	44
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	44
3.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	44
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	45
3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	45
3.5 ANÁLISIS DE DATOS	46
3.6 INSTRUMENTOS UTILIZADOS	48
3.7 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	49
3.8 DATOS RECOPIADOS DE LA MERMA DURANTE EL AÑO	50
3.9 PÉRDIDA ECONÓMICA DEBIDO A LA MERMA	52
3.10. DIAGRAMA DE PARETO	54
3.11 ASPECTOS QUE GENERAN LA MERMA.....	55
3.12 MATRIZ GUT	57
3.12.1 SUMA DE PUNTUACIONES POR CATEGORIA	58
3.13. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN.....	58
3.13.1 RESULTADOS DEL CÁLCULO	60
3.14 COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN	61
3.14.1 RESULTADOS DEL CÁLCULO	62
3.15 ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE ISHIKAWA.....	63
3.16 ANÁLISIS DE CAUSAS CON EL MÉTODO DE LOS 5 PORQUÉS	67
3.17 PLAN DE ACCIÓN	70

CAPITULO IV	71
4. RESULTADOS	71
4.1 DEFECTOS CRÍTICOS	71
4.2 EVALUACIÓN DE ASPECTOS QUE GENERAN LA MERMA	72
4.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN.....	73
4.3.1 HALLAZGOS CLAVES – PROMEDIO ANUAL	74
4.4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DETERMINACIÓN	74
4.5 RESULTADOS DE HERRAMIENTAS CAUSAS RAÍZ	77
4.5.1 RESULTADOS DIAGRAMA DE ISHIKAWA	77
4.5.2 RESULTADOS DE 5 PORQUÉS	78
4.6 RESUMEN DE PROPUESTAS DE MITIGACIÓN	79
4.7 IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN	80
4.8 RESULTADOS ESPERADOS	81
4.8.1 REDUCCIÓN DE MERMA.....	81
4.8.2 REDUCCIONES DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS	85
CRONOGRAMA.....	86
PRESUPUESTO	87
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	91
ANEXOS... ..	95

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	<i>Máquina de Samuel C. Cabell para plisar tela</i>	<i>10</i>
Figura 2.	<i>Máquina para fabricar cartón.....</i>	<i>11</i>
Figura 3.	<i>Crecimiento de una industria cartonera nacional.....</i>	<i>14</i>
Figura 4.	<i>Proceso de fabricación del cartón</i>	<i>17</i>
Figura 5.	<i>Merma de láminas de cartón</i>	<i>18</i>
Figura 6.	<i>Estructura microscópica del papel</i>	<i>19</i>
Figura 7.	<i>Exportaciones totales, no tradicionales manufactureras de papel y cartón. Ecuador (2010 – 2019).....</i>	<i>20</i>
Figura 8.	<i>Proceso de fabricación del papel</i>	<i>22</i>
Figura 9.	<i>Proceso de encolado del papel</i>	<i>24</i>
Figura 10.	<i>Probador de SCT de papel.....</i>	<i>27</i>
Figura 11.	<i>Equipo para determinar COOB.....</i>	<i>29</i>
Figura 12.	<i>Máquina de prueba del internal bond</i>	<i>30</i>
Figura 13.	<i>Densímetro para determinar la porosidad por Gurley.....</i>	<i>31</i>
Figura 14.	<i>Lámina con descuadre de los dos liners</i>	<i>33</i>
Figura 15.	<i>Lote de láminas pandeadas.....</i>	<i>34</i>
Figura 16.	<i>Láminas rechazadas por humedad alta</i>	<i>36</i>
Figura 17.	<i>Lámina con delaminado alto</i>	<i>37</i>
Figura 18.	<i>Lámina con arrugas</i>	<i>38</i>
Figura 19.	<i>Láminas con soplado.....</i>	<i>39</i>
Figura 20.	<i>Diagrama de Ishikawa</i>	<i>42</i>
Figura 21.	<i>Diagrama de Pareto</i>	<i>43</i>
Figura 22.	<i>Evolución de la merma en el año 2024.....</i>	<i>51</i>

Figura 23.	<i>Diagrama de Pareto de los defectos de las láminas de cartón</i>	<i>54</i>
Figura 24.	<i>Mapa de calor con los coeficientes de correlación promedios del año 2024..</i>	<i>61</i>
Figura 25.	<i>Porcentaje de variabilidad de los defectos debido a las propiedades</i>	<i>62</i>
Figura 26.	<i>Espina de pescado para la baja resistencia de las fibras del papel</i>	<i>63</i>
Figura 27.	<i>Espina de pescado para la adhesión interna de fibras debilitada del papel...</i>	<i>64</i>
Figura 28.	<i>Espina de pescado para la capacidad de absorción de humedad aumentada del papel.....</i>	<i>65</i>
Figura 29.	<i>5 porqués para la baja resistencia a las fibras del papel.....</i>	<i>67</i>
Figura 30.	<i>5 porqués para la adhesión de fibras debilitadas del papel.....</i>	<i>68</i>
Figura 31.	<i>5 porqués para la capacidad de absorción de humedad incrementada del papel.....</i>	<i>69</i>
Figura 32.	<i>Priorización de defectos que generan la merma.....</i>	<i>72</i>
Figura 33.	<i>Aspectos que intervienen en la merma</i>	<i>72</i>
Figura 34.	<i>Porcentaje de influencia de las propiedades en los defectos del cartón.....</i>	<i>75</i>
Figura 35.	<i>Porcentajes de la merma, del 2024 vs escenario posible del 2024</i>	<i>84</i>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contribución de la Industria del Papel y Cartón al PIB del Sector Manufacturero en Ecuador (2017-2020).....	15
Tabla 2. Aplicaciones del gramaje	25
Tabla 3. Tabla de indicadores de merma mensual.....	50
Tabla 4. Total, de pérdida económica por merma	52
Tabla 5. Defectos que generan la merma en Kg.....	53
Tabla 6. Porcentaje acumulado de defectos que producen la merma	54
Tabla 7. Distribución de porcentaje de merma en los aspectos de producción.....	55
Tabla 8. Rango de calificación de la matriz GUT	56
Tabla 9. Matriz de evaluación de aspectos de merma.....	57
Tabla 10. Suma de rangos de priorización de la matriz GUT	58
Tabla 11. Especificaciones promedio del papel para la producción de láminas del 2024.....	59
Tabla 12. Kg de merma promedio de los defectos de las láminas producidas en 2024 ..	60
Tabla 13. Coeficientes de determinacion promedio del año	62
Tabla 14. Resumen de coeficientes de correlaciones fuertes.....	73
Tabla 15. Resumen de coeficientes de determinación	74
Tabla 16. Merma en kg asociada al porcentaje correspondiente de incidencia del papel según lo calculado con el coeficiente de determinación	76
Tabla 17. Resumen de propuestas de mitigación	79
Tabla 18. Distribución de la merma en sus causas.....	81
Tabla 19. Escenario posible del 2024 con medidas implementadas.....	83
Tabla 20. Cronograma de actividades	86
Tabla 21. Presupuesto de propuestas del plan de acción	87

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: <i>Lotes de láminas rechazadas</i>	95
Anexo 2: <i>Defectos comunes en láminas</i>	97
Anexo 3: <i>Reuniones para evaluación de factores y causas</i>	99
Anexo 4: <i>Bodega con bobinas agrupadas</i>.....	100
Anexo 5: <i>Bobinas de papel en mal estado</i>	101

INTRODUCCIÓN

La industria cartonera es un sector clave en la cadena de producción ecuatoriana de diversos bienes de consumo, desempeñando un papel esencial en el abastecimiento de empaques y productos derivados del cartón. El cartón, al ser un material versátil y de bajo costo, es utilizado en múltiples aplicaciones en sectores como la agroindustria, el comercio minorista, la manufactura y el transporte. Este material, producido principalmente a partir de pulpa de papel reciclado o virgen, presenta una serie de características que varían según el proceso de fabricación y las propiedades del papel utilizado como materia prima.

En la actualidad, muchas empresas del sector cartonero en Ecuador se enfrentan a una creciente demanda de productos de cartón de alta calidad, lo que ha incrementado la competencia entre los fabricantes; en este contexto, la fabricación de cartón enfrenta desafíos derivados de la variabilidad en las propiedades del papel, que pueden generar defectos en las láminas producidas. Estos defectos no solo afectan la calidad del producto final, sino que también inciden en la eficiencia de los procesos de producción, aumentando los costos operativos y reduciendo la competitividad de las empresas en un mercado globalizado. Es crucial comprender las interrelaciones entre las propiedades del papel y los defectos en las láminas de cartón para poder implementar medidas correctivas y preventivas efectivas que optimicen la producción.

Este estudio aborda el análisis de las mermas y defectos en las láminas de cartón, identificando cómo las propiedades del papel, tales como su estructura fibrosa, la distribución de humedad, el gramaje y la resistencia, pueden influir en la aparición de estos problemas. La investigación se enfoca en una empresa cartonera nacional, con el fin de evaluar el impacto de estas variables en el proceso productivo y proponer soluciones para mitigar los defectos observados.

CAPITULO I

1. PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la industria cartonera nacional, la calidad de las láminas de cartón desempeña un papel crítico en la satisfacción del cliente y la eficiencia operativa. Sin embargo, se ha observado un incremento en la tasa de merma, derivado de defectos que afectan directamente la funcionalidad y la apariencia de las láminas de cartón.

Estos defectos están relacionados, en gran medida, con las propiedades del papel utilizado como materia prima, las cuales presentan variabilidad en parámetros clave como gramaje, resistencia al estallido, rigidez, absorción de humedad y otras. Dicha variabilidad genera inconsistencias en la calidad del producto final, resultando en reprocesos, desperdicio de materiales y sobrecostos operativos.

Además de los costos directos asociados con la merma, los defectos en el cartón pueden afectar la competitividad de la industria cartonera ecuatoriana, tanto en el mercado nacional como en el internacional. Los clientes, especialmente en sectores como el comercio y la logística, requieren productos de cartón que no solo sean funcionales, sino que también mantengan una alta calidad estética y estructural. El rechazo de productos defectuosos por parte de los clientes, o la insatisfacción con la calidad del cartón, puede resultar en una pérdida de confianza, reducción de la demanda y, eventualmente, daños a la reputación de la imagen de la empresa.

En este contexto, el impacto de los defectos y la merma no se limita solo a la rentabilidad individual de las empresas cartoneras, sino que tiene un efecto domino en toda la cadena de

valor, afectando desde los proveedores de materia prima hasta los consumidores finales. La necesidad de materiales de alta calidad, que cumplan con las especificaciones requeridas por las diversas aplicaciones del cartón, exige un enfoque más riguroso en la gestión de la calidad y la optimización de los procesos productivos.

Por tanto, surge la necesidad de realizar un análisis integral que permita identificar las propiedades del papel que impactan significativamente en los defectos de las láminas de cartón y proponer estrategias basadas en herramientas de gestión de calidad para mitigar estos problemas, optimizando así los procesos y reduciendo la tasa de merma.

1.2 ANTECEDENTES

En la industria cartonera, uno de los principales retos ha sido garantizar la uniformidad y calidad del producto final, un desafío que se agrava debido al cambio continuo en las propiedades del papel empleado como materia prima. El uso creciente de papel reciclado, aunque beneficioso desde una perspectiva ambiental, introduce variabilidades en características físicas y químicas que afectan la calidad del cartón producido. Según un estudio, el contenido de cargas minerales en el papel reciclado disminuye la flexibilidad de las fibras, y con cada ciclo de reciclaje, la calidad de estas fibras se reduce, impactando negativamente en la producción de la lámina de cartón.

Además, la falta de estandarización en los procesos de reciclaje y la diversidad de fuentes de papel recuperado contribuyen a inconsistencias en parámetros críticos como el gramaje, la resistencia al estallido y la absorción de humedad. Estas variaciones pueden resultar en defectos como deslaminados, combados y desalineamientos en las láminas de cartón, comprometiendo su integridad estructural y funcionalidad.

La creciente demanda de soluciones de embalaje sostenibles ha llevado a la industria a depender más del papel reciclado. Sin embargo, esta práctica, sin un control adecuado de calidad, puede exacerbar los problemas mencionados. Por ejemplo, en Argentina, cerca del 50% de los materiales papeleros se producen con material reciclado, y el cartón corrugado puede contener hasta el 100% de este tipo de material. Esta tendencia resalta la necesidad de implementar controles de calidad más rigurosos para garantizar la consistencia y calidad del producto final.

La falta de controles integrales y herramientas específicas para identificar y corregir estas deficiencias en las propiedades del papel contribuyen a inconsistencias en parámetros críticos medidos en el área de calidad como el gramaje, la resistencia al estallido y la absorción de humedad; todas estas variaciones pueden resultar en defectos como deslaminados, combados y desalineamientos en las láminas de cartón, comprometiendo su integridad estructural y funcionalidad; generando un vacío en la optimización de procesos dentro del sector cartonero.

1.3 IMPORTANCIA Y ALCANCES

La calidad de las láminas de cartón es esencial para múltiples sectores económicos en el territorio ecuatoriano, los cuales dependen de empaques confiables para la protección, transporte y almacenamiento de sus productos. Defectos en estas láminas, originados por variaciones en las propiedades del papel utilizado como materia prima, pueden resultar en pérdidas económicas significativas y afectar la eficiencia operativa de las empresas involucradas. Según el "Plan Nacional de la Calidad 2023" del Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca de Ecuador, se destaca la necesidad de optimizar procesos y adaptar mejores prácticas productivas para garantizar la calidad de los productos nacionales.

La importancia de abordar este problema se manifiesta en la necesidad de cumplir con estándares de calidad que permitan a las empresas ecuatorianas competir en mercados

internacionales. El "Plan Nacional de la Calidad 2023" enfatiza la importancia de fortalecer la infraestructura de calidad para proporcionar productos y servicios que satisfagan las necesidades de los consumidores y fomenten la inserción de productos ecuatorianos en mercados internacionales.

Actualmente, en las organizaciones cartoneras, el problema se manifiesta en altos índices de mermas y reprocesos debido a defectos en las láminas de cartón. Esto no solo afecta a la economía de las industrias, sino que también afecta la reputación y su capacidad productiva para cumplir con los plazos de entrega y las expectativas de los clientes. La falta de un control adecuado sobre las propiedades del papel dificulta la implementación de procesos estandarizados y eficientes, lo que repercute negativamente en la calidad del producto final y en la satisfacción del cliente.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La calidad del cartón es fundamental para satisfacer las necesidades de los clientes que cada vez más son exigentes en un mercado competitivo; los constantes problemas de calidad derivados en la producción de láminas generan altos costos de reprocesos, rechazos y pérdidas de la clientela. En este contexto, entender y controlar las causas de estos defectos es esencial para mejorar la rentabilidad y eficiencia de los procesos operativos.

La realización de este proyecto técnico es fundamental ya que busca identificar y analizar las principales causas de la merma en la producción de láminas de cartón, enfocándose en cómo las propiedades del papel (un factor que por lo general no recibe la atención necesaria) influyen en la aparición de defectos. Al comprender mejor estas relaciones, poder identificar aspectos más críticos y frecuentes; se podrán desarrollar estrategias de mitigación que no solo buscan reducir

la tasa de merma, sino que también se podrá entregar un semiproducto bien elaborado y confiable para el proceso final, es decir, el plegado, corte e impresión de las cajas.

Este trabajo nos proporcionará indicadores claves para entender el comportamiento de las variables del papel frente a los defectos más frecuentes que se presentan a diario, podremos enfocarnos en las características más influyentes para la lámina y así proponer cambios de mejora; esto traerá consigo múltiples beneficios como: se minimizan los gastos innecesarios, se optimizan los recursos materiales, se mejora la sostenibilidad del proceso productivo y se incrementa la satisfacción del cliente. Además, al abordar los problemas desde la raíz, este análisis contribuirá a establecer controles de calidad más rigurosos en la selección y procesamiento de la materia prima; esto con ayuda de herramientas que nos proporciona la gestión y mejora continua, disminuirán los reclamos al área de calidad y se podrán tomar acciones preventivas frente a futuros casos.

1.5 DELIMITACIÓN

El presente trabajo se llevará a cabo en una industria cartonera ubicada en la ciudad de Guayaquil en el Km. 11.5, Vía a Daule, representativa del sector cartonero del Ecuador; la cual se dedica a la fabricación y comercialización de cajas de cartón, plegadizas y etiquetas. La investigación abarcará datos recopilados durante el año 2024, es decir desde el mes de enero hasta diciembre lo que permitirá identificar patrones significativos y relacionar con mayor efectividad los defectos con el papel utilizado.

El alcance del estudio está delimitado exclusivamente al sector industrial cartonero, específicamente en la evaluación de procesos relacionados con la producción de láminas de cartón, dejando fuera la caja final y otros tipos de empaques o industrias no relacionadas con este material. Este enfoque permitirá un análisis profundo y específico de las problemáticas

enfrentadas por este sector, considerando las particularidades locales y los desafíos asociados a la calidad del producto semiterminado.

1.6 GRUPO OBJETIVO BENEFICIARIO

Empresa de estudio

Esta es la principal beneficiaria del proyecto, ya que el análisis y las propuestas de mejora estarán específicamente diseñadas para sus procesos productivos. El trabajo permitirá a la empresa identificar dichas propiedades significativas que están afectando y poder tomar acciones correctivas; específicamente al departamento de calidad, encargado de asegurar la excelencia del producto final, obtendrá herramientas más efectivas para identificar, gestionar y mitigar los defectos, lo que resultará en una mayor consistencia y confiabilidad en la producción.

Sector industrial cartonero

Los hallazgos y estrategias desarrollados en este proyecto podrán servir como referencia o guía para otras empresas del sector, las conclusiones tienen el potencial de ser extrapoladas a problemáticas similares que enfrentan otras industrias cartoneras. Esto fomentará la aplicación de mejores prácticas en el manejo de las propiedades del papel y en la gestión de calidad, beneficiando al sector de manera más amplia.

Medio ambiente y sostenibilidad

Al reducir las mermas y los desperdicios post producción, este proyecto contribuye a un uso más eficiente de los recursos naturales, como lo son el papel y el agua. Esto ayuda a disminuir el impacto ambiental de la industria cartonera, alineándose con las normativas internacionales, los objetivos de sostenibilidad y economía circular.

1.7 OBJETIVO GENERAL

Proponer y desarrollar un análisis integral que permita identificar y mitigar los defectos en las láminas de cartón de una industria nacional, derivados de las propiedades del papel como materia prima.

1.8 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis para establecer la relación entre los defectos observados en las láminas de cartón y las propiedades del papel, con el fin de determinar cuales tienen un impacto significativo.
- Identificar a través del uso de herramientas de gestión de calidad las causas principales causas asociadas a las propiedades que afectan la calidad de las láminas de cartón.
- Proponer estrategias de mitigación basadas en los resultados de los análisis, para reducir la tasa de merma y mejorar la calidad de las láminas de cartón.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 HISTORIA DEL CARTÓN

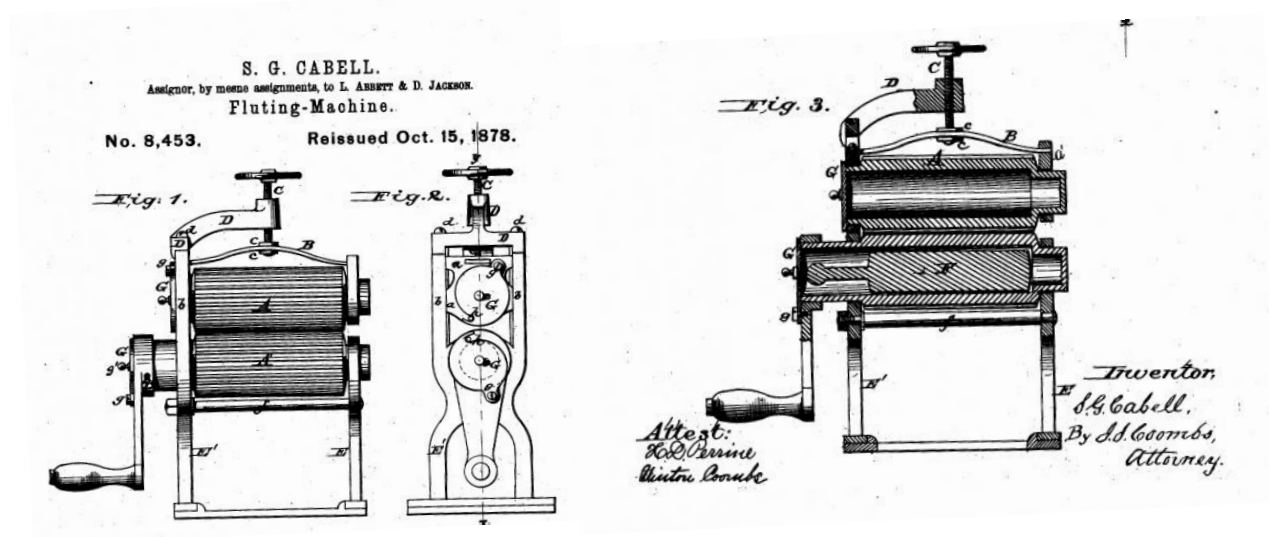
El cartón, como material, tiene una historia rica y vinculada al desarrollo de la industria del papel y las necesidades de empaque a lo largo de los siglos. Desde su invención, ha evolucionado para convertirse en un material clave en el transporte y almacenamiento de bienes, con aplicaciones que abarcan diversos sectores industriales.

El cartón tiene sus raíces en la invención del papel, atribuida a Cai Lun en el año 105 d.C. en China, donde se comenzó a fabricar papel a partir de fibras vegetales trituradas. Sin embargo, el cartón como material diferenciado no surgió hasta el siglo XVII, cuando se fabricaron las primeras hojas gruesas de papel prensado en Europa.

En 1817, en Inglaterra, se fabricó la primera caja de cartón comercial. Este producto fue diseñado inicialmente para sustituir las cajas de madera en ciertos usos, ya que era más ligero y económico. Esto marcó un hito importante en la historia del empaque, sentando las bases para el desarrollo del cartón como material esencial para el embalaje (Robertson, 2016).

El cartón corrugado fue inventado en 1856 por Edward Allen y Edward Healey en Inglaterra, quienes lo patentaron como un material ondulado utilizado para reforzar sombreros altos. Este material, caracterizado por su resistencia y capacidad para absorber impactos, pronto encontró aplicaciones en el embalaje. En 1871, Albert L. Jones, en Estados Unidos, adaptó el diseño y lo utilizó para envolver frascos y botellas, destacando su utilidad en la protección de objetos frágiles.

Figura 1. Máquina de Samuel C. Cabell para plisar tela



Fuente: Rusketa

2.1.1 DESARROLLO INDUSTRIAL

El cartón experimentó una notable expansión industrial a lo largo del siglo XX, impulsada por la creciente demanda de materiales de embalaje ligeros, resistentes y económicos. Esta expansión estuvo estrechamente ligada al desarrollo del comercio global, la urbanización y los avances en tecnologías de producción.

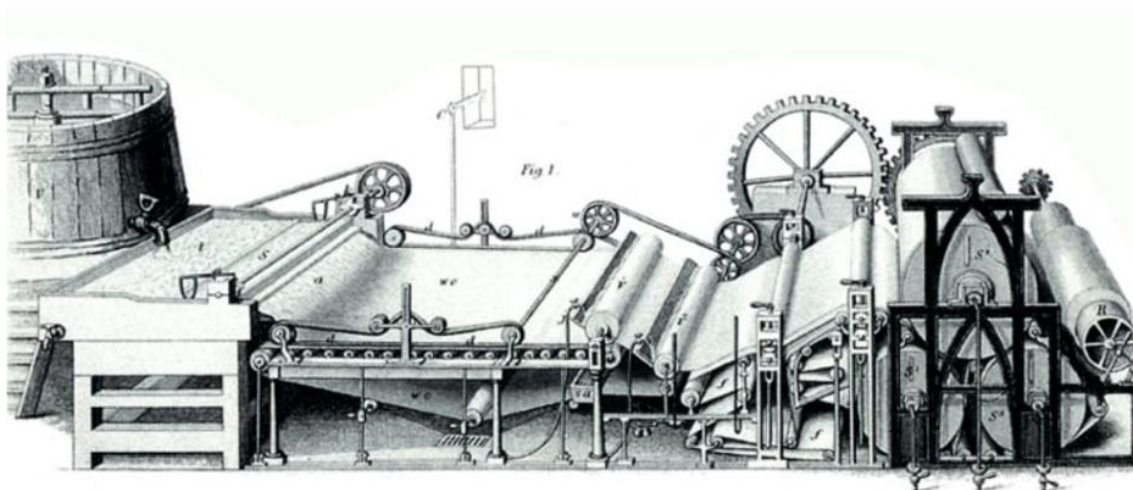
La Segunda Guerra Mundial marcó un hito en la expansión industrial del cartón, ya que su uso se generalizó para embalar y transportar suministros militares. La eficiencia logística se convirtió en una prioridad estratégica, y el cartón corrugado ofreció una solución práctica y efectiva. Esto llevó al desarrollo de maquinaria más avanzada para la producción masiva, como las corrugadoras automáticas, que podían fabricar grandes volúmenes de material con alta uniformidad y calidad (Robertson, 2016).

A partir de los años 50, la industria del cartón experimentó una transformación tecnológica significativa. Las mejoras en las corrugadoras permitieron producir cartón de múltiples capas,

aumentando su resistencia y adaptabilidad a diversas aplicaciones. Además, la introducción de adhesivos más eficientes, basados en almidón y polímeros, mejoró la calidad de las uniones entre las capas de papel (Soroka, 2014).

La expansión industrial del cartón coincidió con el auge del comercio global en las décadas de 1960 y 1970. Las economías exportadoras comenzaron a depender del cartón corrugado para el transporte seguro de productos agrícolas, textiles y manufacturas. En este contexto, se establecieron estándares internacionales para garantizar la calidad del material, como los definidos por la International Corrugated Packaging Foundation (ICPF), lo que facilitó su aceptación y uso generalizado.

Figura 2. *Máquina para fabricar cartón*



Fuente: Roller Grafics

2.2 INDUSTRIA CARTONERA EN EL ECUADOR

La industria cartonera en Ecuador es un sector clave para la economía nacional, ya que abastece de soluciones de empaque a la agroindustria, la logística y el comercio. El cartón corrugado se utiliza ampliamente en el embalaje de productos de exportación como banano, cacao, camarón y flores, posicionándose como un insumo estratégico dentro de la cadena de suministro.

Desde mediados del siglo XX, la industria cartonera se ha consolidado como un actor principal en la economía del país, adaptándose a las crecientes demandas de mercados internos y externos. En la actualidad, el sector contribuye significativamente al PIB de la industria manufacturera y genera miles de empleos directos e indirectos. Según el Banco Central del Ecuador (BCE), en el año 2021, el sector manufacturero representó el 13,6% del PIB nacional, con una participación notable de las industrias de papel y cartón (BCE, 2022).

Uno de los avances más importantes en los últimos años es la adopción de prácticas sostenibles en la producción. Las empresas cartoneras han implementado modelos de economía circular, enfocándose en el reciclaje de papel y cartón. Esto ha permitido que el 85% de la materia prima utilizada en el sector provenga de materiales reciclados, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la ONU. Este enfoque no solo reduce el impacto ambiental, sino que también disminuye los costos de producción y mejora la competitividad en mercados internacionales.

A pesar de los avances, la industria enfrenta desafíos significativos. Entre ellos, destacan el aumento de los costos internacionales de materias primas, que en los últimos cinco años han afectado los márgenes de ganancia de las empresas cartoneras. Además, la calidad variable del

papel importado plantea problemas en la fabricación de láminas de cartón, afectando la resistencia y la durabilidad de los productos finales (El Universo, 2024).

2.2.1 HISTORIA Y DESARROLLO DEL SECTOR CARTONERO NACIONAL

La industria cartonera en Ecuador tiene sus orígenes a mediados del siglo XX, coincidiendo con el auge de las exportaciones agrícolas, especialmente de banano, cacao y flores. Estos productos requerían soluciones de embalaje eficientes para su transporte y conservación, lo que impulsó la creación de empresas dedicadas a la producción de cartón corrugado. En este período, el país experimentó un crecimiento sostenido en su economía agrícola, posicionándose como uno de los principales exportadores de banano a nivel mundial, lo que convirtió al cartón en un insumo estratégico para la logística y el comercio exterior.

En las décadas de 1970 y 1980, el sector cartonero comenzó a consolidarse con la incorporación de tecnología importada que mejoró los procesos productivos. La expansión del comercio internacional y la diversificación de las exportaciones agrícolas, incrementaron la demanda de empaques resistentes y personalizados. Esta evolución no solo fortaleció la infraestructura industrial, sino que también fomentó la creación de empleos en diferentes áreas de la cadena productiva.

Durante la década de 1990, la industria cartonera ecuatoriana enfrentó nuevos desafíos debido a la apertura de mercados internacionales y la necesidad de competir con estándares de calidad más estrictos. Esto motivó a las empresas a invertir en innovación tecnológica y a adoptar prácticas de gestión de calidad, sentando las bases para un sector más competitivo.

En la actualidad, la industria cartonera desempeña un papel crucial en la economía nacional. Empresas líderes en el sector, como Productora Cartonera S.A. y Grupo Papelesa, han integrado

modelos de economía circular y sostenibilidad en sus operaciones, promoviendo el reciclaje de papel y la reducción de residuos. Estas prácticas han permitido al sector no solo satisfacer las demandas del mercado interno, sino también exportar productos de cartón corrugado a países vecinos, consolidando su relevancia en la región andina.

Figura 3. *Crecimiento de una industria cartonera nacional*



Fuente: Cámara de Comercio de Guayaquil

2.2.2 IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL SECTOR

La industria cartonera es uno de los pilares del desarrollo económico de Ecuador, debido a su influencia en la generación de empleo, su contribución al Producto Interno Bruto (PIB) y su papel esencial en sectores clave como la agroindustria, la logística y el comercio. Su capacidad para producir empaques de calidad ha sido fundamental para garantizar la exportación eficiente de productos agrícolas, pesqueros e industriales.

El sector papel y cartón forma parte del sector manufacturero, que en 2021 representó el 13,6% del PIB ecuatoriano, según el Banco Central del Ecuador (BCE). Dentro de este segmento, la industria cartonera destaca por su dinamismo, con un crecimiento sostenido

impulsado por la demanda de empaques en la agroindustria y el comercio. Un informe de la Asociación de Industriales del Cartón y Papel del Ecuador (2020) señala que el sector contribuye aproximadamente con el 0,56% al PIB total del país, destacándose como un motor de desarrollo.

La industria cartonera genera miles de empleos directos e indirectos en Ecuador. Se estima que más de 10,000 personas trabajan directamente en este sector, abarcando áreas como la producción, distribución y reciclaje. A nivel indirecto, emplea a transportistas, recicladores y comerciantes relacionados con la cadena de valor del cartón. Además, este sector juega un papel crucial en la formalización del reciclaje, integrando a recicladores independientes en iniciativas sostenibles y promoviendo el empleo digno en comunidades vulnerables.

La exportación de productos agrícolas como banano, cacao, flores y camarón depende en gran medida del cartón corrugado, utilizado para garantizar la calidad y protección durante el transporte. Se estima que más del 80% de los empaques utilizados en la exportación agrícola en Ecuador provienen de la industria cartonera.

Tabla 1. *Contribución de la Industria del Papel y Cartón al PIB del Sector Manufacturero en Ecuador (2017-2020).*

Año	Fabricación de papel y productos de papel (MM \$ de 2007)	PIB Total (MM \$ de 2007)	Participación PIB
2017	411,72	70956	0.58%
2018	423,26	71871	0.59%
2019	423,67	71879	0.59%
2020	394,86	65535	0.60%

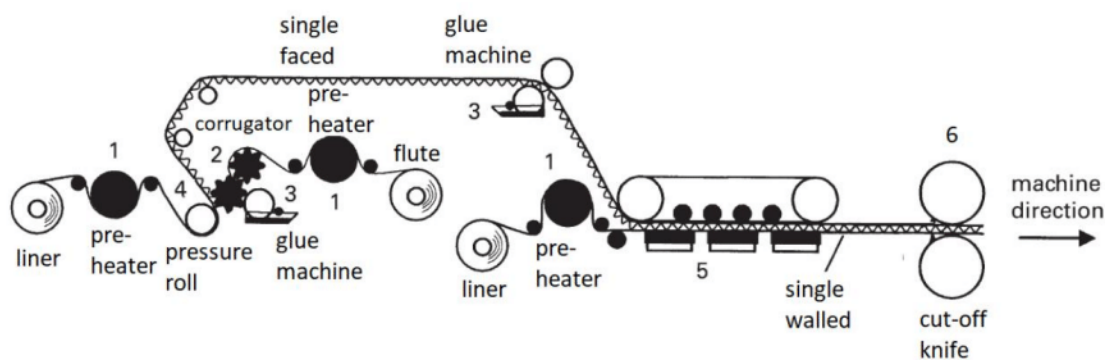
Fuente: CFN

2.3 FABRICACIÓN DEL CARTÓN

El proceso de fabricación del cartón corrugado es fundamental para la industria cartonera, ya que permite la producción de empaques resistentes, ligeros y versátiles utilizados en diversos sectores económicos, como la agroindustria, la logística y el comercio. El papel es el insumo principal en este proceso, actuando como la base para formar las capas que componen las láminas de cartón.

1. **Preparación del papel.** El proceso comienza con la recepción de rollos de papel, que generalmente incluyen tres tipos principales: kraft (para la capa externa), liner (capa interna) y médium (para el corrugado). Estas bobinas de papel pueden ser de fibra virgen, reciclada o una combinación de ambas, dependiendo de los requerimientos de calidad del producto final.
2. **Corrugado.** El papel médium se introduce en un equipo llamado corrugadora, donde es calentado y prensado mediante rodillos acanalados para formar ondas (fluting). Estas ondas proporcionan la rigidez y resistencia estructural características del cartón corrugado. La temperatura y la presión son parámetros clave en este paso, ya que determinan la calidad y uniformidad del fluting. Según Benalcázar Lara (2023), "el proceso de corrugado es fundamental para proporcionar al cartón su resistencia y capacidad de absorción de impactos".
3. **Adhesion.** Una vez que el papel médium ha sido corrugado, se aplica un adhesivo a base de almidón en los picos de las ondas, y se presionan las capas externas (liner) sobre ambas caras del médium corrugado. Este proceso une las tres capas para formar una lámina de cartón corrugado simple.
4. **Corte.** Las láminas producidas se cortan a medida según las especificaciones del cliente. El corte puede incluir perforaciones, ranuras y pliegues necesarios para formar cajas u otros productos de embalaje.

Figura 4. *Proceso de fabricación del cartón*



Fuente: Roller Graphics

2.4 LA MERMA EN PROCESOS INDUSTRIALES

2.4.1 DEFINICIÓN DE MERMA

La merma en procesos industriales se refiere a la pérdida de materiales o productos que ocurre durante las etapas de producción, almacenamiento, transporte o distribución. Estas pérdidas pueden ser consecuencia de diversos factores, como ineficiencias en el proceso, errores humanos, desgaste de maquinaria o condiciones ambientales adversas.

Según Zapata y Torres (2018), "la merma es un indicador clave en la medición de la eficiencia productiva, ya que permite identificar puntos críticos donde se generan pérdidas, estableciendo bases para su control y reducción"

Es fundamental distinguir entre merma y desperdicio. Mientras que la merma representa una pérdida sin valor de reventa, el desperdicio puede tener algún valor residual y, por lo tanto, ser vendido o reutilizado de alguna forma.

La gestión efectiva de la merma es crucial para minimizar pérdidas económicas y mejorar la eficiencia operativa en las industrias. Implementar controles adecuados y estrategias de

prevención puede ayudar a reducir significativamente el impacto negativo de la merma en los procesos productivos.

Figura 5. *Merma de láminas de cartón*



Fuente: Freepik

2.5 EL PAPEL: UN MATERIAL ESENCIAL

2.5.1 NATURALEZA DEL PAPEL

El papel es un material fibroso formado principalmente por fibras vegetales entrelazadas. Estas fibras, compuestas principalmente de celulosa, se obtienen de fuentes como madera, caña de azúcar, algodón o residuos agrícolas. Su composición y características varían dependiendo del tipo de papel y el uso para el que está destinado.

Fibras celulosas

- Constituyen entre el 50% y el 90% de la composición del papel, dependiendo del tipo.

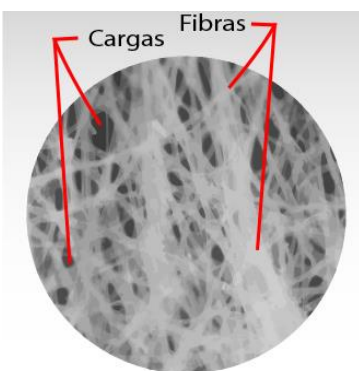
Estas fibras son las responsables de la resistencia mecánica y la flexibilidad del papel.

- Las fibras pueden ser de origen virgen (madera) o recicladas, lo que influye en las propiedades finales del producto.

Agua

- Durante el proceso de fabricación, el agua actúa como medio de suspensión para las fibras y aditivos, facilitando su distribución uniforme antes del secado.

Figura 6. *Estructura microscópica del papel*



Fuente: arkiplot

2.5.2 IMPORTANCIA DEL PAPEL EN EL SECTOR

El papel es la materia prima esencial en la industria cartonera, sirviendo como base para la fabricación del cartón corrugado. Este material se compone de capas de papel liso (liners) y una capa ondulada (flauta) que, al unirse, forman una estructura ligera y resistente, ideal para la producción de cajas y embalajes.

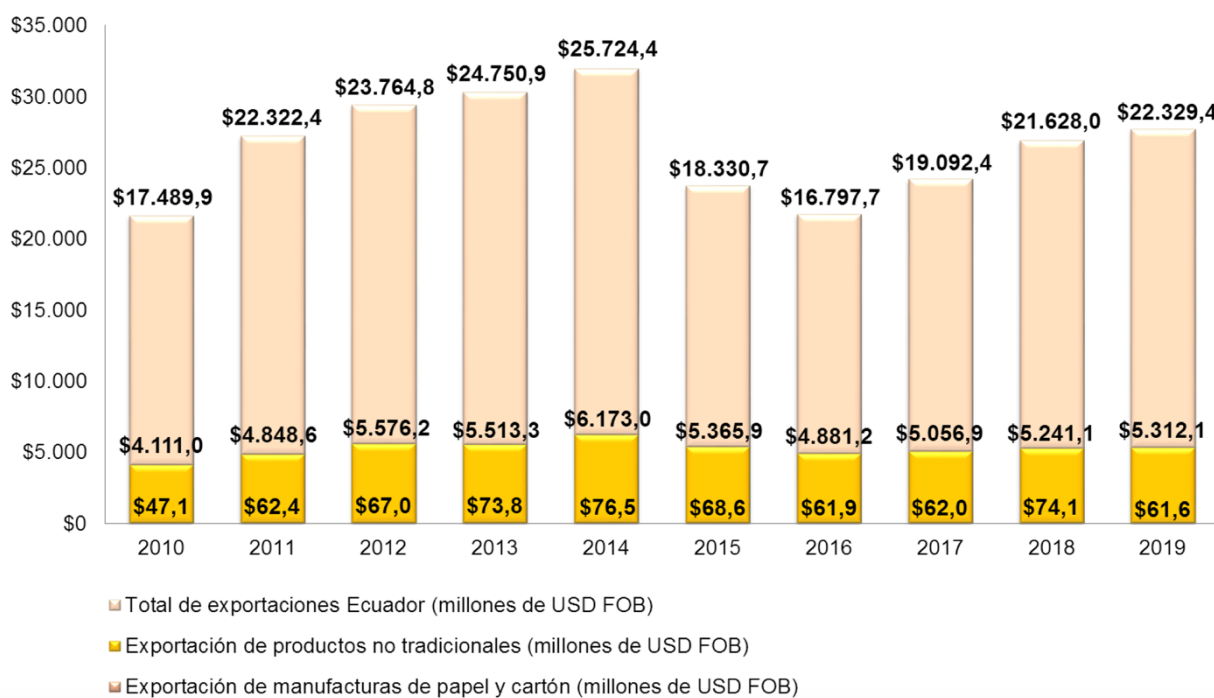
La elección del tipo de papel, ya sea reciclado o virgen, influye directamente en las propiedades del cartón corrugado. El papel reciclado, proveniente de periódicos, revistas y cajas usadas, contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir la necesidad de materias primas vírgenes. Por otro lado, el papel virgen, obtenido de fibras vegetales, ofrece características específicas que pueden ser necesarias según los requisitos del producto final.

En Ecuador, la industria del papel y cartón desempeña un papel significativo en la economía nacional; sus productos son fundamentales en la vida cotidiana y en diversas actividades

económicas, ofreciendo una variedad de aplicaciones que van desde insumos de oficina hasta empaques, cajas de almacenamiento y transporte; además, la industria cartonera ecuatoriana se destaca por su compromiso con la economía circular, utilizando materia prima reciclable y contribuyendo a la reducción del impacto ambiental. Empresas como Grupo Surpapel y Papelesa S.A. han implementado procesos que promueven la sostenibilidad, posicionándose como referentes en el sector

En 2019, las exportaciones de manufacturas de papel y cartón alcanzaron un valor de \$61,6 millones de dólares FOB, representando el 0,3% del total de exportaciones del país. Este sector exportó aproximadamente 50.000 toneladas métricas, con un valor promedio por tonelada de \$1.073,4 dólares FOB entre 2010 y 2019.

Figura 7. Exportaciones totales, no tradicionales manufactureras de papel y cartón. Ecuador (2010 – 2019)



Fuente: BCE

2.5.3 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL PAPEL

El proceso de fabricación del papel implica una serie de etapas que van desde la preparación de la pulpa de celulosa hasta el secado y acabado del papel. Estas etapas incluyen la formación de la hoja, el prensado, el secado y, en algunos casos, el estucado y calandrado para mejorar las propiedades superficiales del papel. (Márquez, 2025)

Fibras vegetales. La principal fuente de fibras para la producción de papel es la madera, tanto de coníferas (fibras largas) como de latifoliadas (fibras cortas). También se utilizan otras fuentes como bagazo de caña de azúcar, paja de cereales y fibras recicladas.

Producción de pulpa. Las astillas de madera se muelen para separar las fibras. Este método es eficiente en términos de rendimiento, pero produce pulpas con menor resistencia y durabilidad.

Se utilizan productos químicos para disolver la lignina que une las fibras, obteniendo una pulpa de mayor calidad y resistencia. El proceso Kraft es uno de los más comunes en esta categoría.

Blanqueo de la pulpa. Para producir papeles blancos o de colores claros, la pulpa se somete a procesos de blanqueo que eliminan residuos de lignina y otros componentes que pueden oscurecer el papel. Se emplean agentes blanqueadores como el dióxido de cloro, oxígeno o peróxido de hidrógeno.

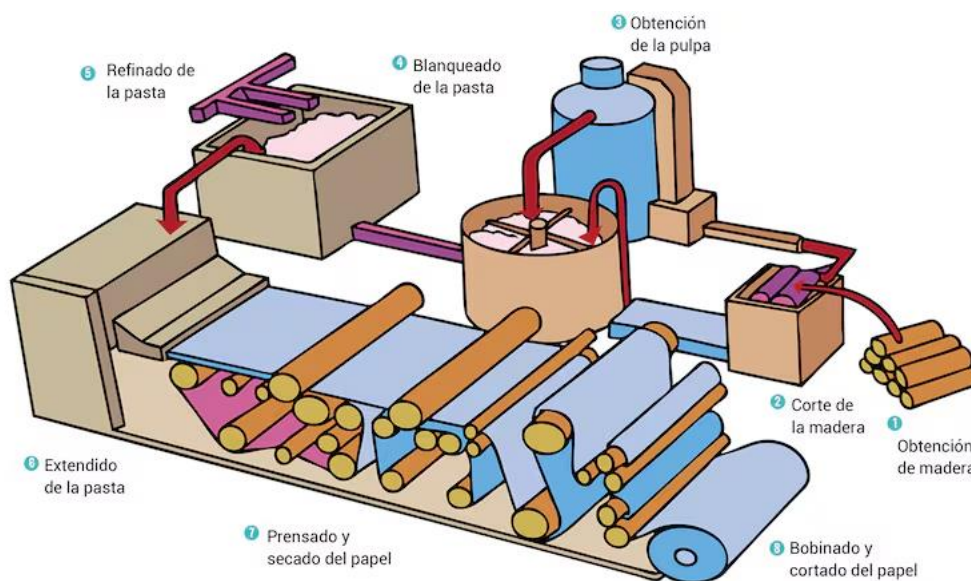
Preparación de la suspensión de la pulpa. La pulpa blanqueada se diluye en agua y se le añaden aditivos como cargas minerales (por ejemplo, caolín o carbonato de calcio) y agentes de encolado para mejorar propiedades específicas del papel, como la opacidad, imprimibilidad y resistencia al agua.

Formación de la hoja. La suspensión de pulpa se distribuye sobre una malla en movimiento continuo (mesa plana) donde el agua se drena, formando una lámina húmeda de fibras entrelazadas.

Prensado y secado. La lámina húmeda pasa por una serie de prensas que eliminan el exceso de agua y aumentan la densidad del papel. Luego, se seca mediante cilindros calentados o sistemas de aire caliente hasta alcanzar el contenido de humedad deseado.

Corte y enrollado. Finalmente, el papel se corta en hojas de tamaño específico o se enrolla en bobinas para su distribución y uso en diversas aplicaciones.

Figura 8. *Proceso de fabricación del papel*



Fuente: ABC

2.5.4 CALIDAD DEL PAPEL

La calidad del papel está determinada por una combinación de factores relacionados con su composición, los procesos de fabricación y los tratamientos adicionales aplicados. Estos factores afectan directamente las propiedades físicas, químicas y mecánicas del papel, lo que lo hace adecuado para diversas aplicaciones, desde impresión hasta embalaje.

Tipo de fibra

Las fibras de celulosa, extraídas principalmente de fuentes vegetales, son el componente fundamental del papel. La calidad y las características de estas fibras tienen un impacto significativo en las propiedades finales del producto.

- *Largas* (coníferas como pino y abeto). Proporcionan mayor resistencia mecánica y flexibilidad. Son ideales para papeles kraft y liner en embalajes.
- *Cortas* (latifoliadas como eucalipto y álamo). Mejoran la suavidad, la opacidad y la capacidad de impresión. Son adecuadas para papeles de impresión y escritura.
- *Fibras recicladas*. Aunque menos resistentes que las fibras vírgenes, son una opción sostenible para muchas aplicaciones. Su uso puede requerir aditivos adicionales para compensar la pérdida de calidad durante el reciclaje (Jiménez, 2017).

Aditivos

- *Cargas y Pigmentos*. Se añaden al papel para mejorar propiedades como la opacidad, el brillo y la suavidad. Las cargas comunes incluyen caolín, carbonato cálcico y talco.
- *Agentes de Encolado*. Estos aditivos aumentan la resistencia del papel al agua y otros líquidos, mejorando su durabilidad y usabilidad en diversas aplicaciones.

Procesos de Producción

- **Refinación de Fibras.** Este proceso modifica las características de las fibras para mejorar la formación de la hoja y las propiedades físicas del papel, como la resistencia y la uniformidad.
- **Prensado y Secado.** La etapa de prensado elimina el exceso de agua y compacta la hoja, mientras que el secado finaliza la consolidación de las fibras, afectando directamente la calidad superficial y las propiedades mecánicas del papel.

Figura 9. *Proceso de encolado del papel*



Fuente: Trupal

2.6 PROPIEDADES DEL PAPEL

El papel presenta diversas propiedades físicas y químicas que determinan su calidad y uso final. Entre las propiedades físicas se encuentran la resistencia a la tracción, el espesor, la porosidad y la suavidad. Las propiedades químicas incluyen la composición de la fibra, el contenido de lignina y la presencia de aditivos. (González, 2018)

2.6.1 GRAMAJE

El gramaje, medido en gramos por metro cuadrado (g/m^2), es una propiedad fundamental del papel que determina su densidad y espesor. De acuerdo con la norma TAPPI T410, el gramaje se define como la masa del papel o cartón por unidad de superficie. Este parámetro es esencial para:

- Establecer clasificaciones entre papel, cartulina y cartón.
- Controlar la calidad del material como materia prima para diversas aplicaciones industriales.

En la industria del cartón corrugado, la selección del gramaje adecuado para las capas que conforman el cartón es fundamental para garantizar su resistencia y durabilidad. Un gramaje más elevado suele asociarse con una mayor rigidez y capacidad de carga, lo que es esencial para soportar pesos significativos sin comprometer la integridad estructural del embalaje. Por ejemplo, en un estudio realizado por Benalcázar Lara (2023), se destaca que "la elección del gramaje del papel influye directamente en la resistencia a la compresión y en la capacidad de protección del cartón corrugado".

Tabla 2. *Aplicaciones del gramaje*

Categoría de Papel	Rango de Gramaje (g/m^2)	Características Principales	Aplicaciones Comunes	Fuente
Papel Liviano	25-60	Delgado, flexible, baja opacidad.	Papel periódico, papel tisú, folletos ligeros.	TAPPI T410 (2021); Smook (2016)
Papel de Impresión	60-120	Buena calidad superficial, adecuado para impresión.	Libros, cuadernos, documentos de oficina.	TAPPI T410 (2021); Hubbe & Gill (2016)
Cartulina	120-300	Más rígida, soporta impresión en colores vivos.	Cubiertas de libros, tarjetas, cajas ligeras.	Smook (2016); Hubbe & Gill (2016)

Cartón	300-600	Alta rigidez, diseñado para cargas pesadas.	Embalajes, estructuras industriales.	TAPPI T410 (2021); Smook (2016)
Cartón Corrugado	600+	Estructura compuesta, alta resistencia mecánica.	Cajas de transporte, embalajes para logística.	TAPPI T410 (2021); Smook (2016); Hubbe & Gill (2016)

Fuente: Autor

2.6.2 RESITENCIA A LA COMPRESIÓN (SCT)

La resistencia a la compresión en tramo corto (SCT, por sus siglas en inglés) es una medida fundamental para evaluar la capacidad de las fibras de papel en soportar fuerzas de compresión. Esta propiedad impacta directamente en la rigidez y resistencia del cartón corrugado, determinando su desempeño en aplicaciones de embalaje y transporte.

Rigidez del cartón. Una mayor resistencia SCT indica que las fibras del papel pueden soportar cargas de compresión más elevadas en distancias cortas. Esto se traduce en una mayor rigidez del cartón, ya que las capas de papel (liners y flautas) ofrecen una estructura más sólida y menos propensa a deformaciones.

Resistencia del cartón. El valor de SCT es un predictor clave de la resistencia a la compresión del cartón corrugado. Un ECT elevado implica que el cartón puede soportar mayores cargas verticales sin colapsar, lo cual es crucial para la capacidad de apilamiento de las cajas de cartón.

La determinación del SCT se realiza siguiendo estándares internacionales como la norma TAPPI T 826, que establece el procedimiento para medir la resistencia a la compresión en tramos cortos de papel y cartón. El ensayo implica sujetar una muestra de papel entre mordazas con una separación específica y aplicar una fuerza de compresión hasta que ocurre el colapso de la muestra. Los resultados se expresan en kilonewtons por metro (kN/m).

Además, la resistencia de la fibra está estrechamente relacionada con la resistencia a la compresión del papel, una propiedad crucial para aplicaciones de embalaje.

Figura 10. *Probador de SCT de papel*



Fuente: Alibaba

2.6.3 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN

La capacidad de absorción de agua en materiales como el papel y el cartón es una propiedad crítica que influye directamente en su desempeño y durabilidad. Una alta capacidad de absorción puede llevar a defectos relacionados con la humedad, afectando negativamente las propiedades mecánicas y la integridad estructural del material.

Perdida de resistencia mecánica. La absorción excesiva de agua por parte de las fibras de celulosa puede provocar una disminución significativa en la resistencia mecánica del papel o cartón.

Deformaciones. La humedad absorbida puede causar hinchamiento y deformaciones en el material, llevando a defectos como ondulaciones, arrugas o debilitamiento. Estos defectos no

solo afectan la apariencia estética, sino que también comprometen la funcionalidad del producto, especialmente en aplicaciones donde la integridad estructural es esencial.

Prueba del COOB

La prueba sigue estándares internacionales, como los establecidos por TAPPI o ISO. A continuación, se describe el método típico:

Preparación de la muestra

- Se corta una muestra del papel o cartón con dimensiones específicas (generalmente 10 x 10 cm).
- Las muestras deben acondicionarse en un ambiente controlado con una humedad relativa del 50% y una temperatura de 23 °C durante al menos 24 horas, siguiendo la norma ISO 187.

Aplicación de agua

- En la prueba de Cobb, se coloca agua sobre la superficie del papel en un cilindro estanco con un área de 100 cm².
- El tiempo de contacto suele ser de 60 segundos para papeles estándar, aunque puede ajustarse según el tipo de material.

Eliminación del exceso de agua

- Pasado el tiempo especificado, el agua sobrante se elimina cuidadosamente con una esponja o rodillo, asegurándose de no dañar la superficie del material.

Pesaje

- La muestra se pesa antes y después de la prueba utilizando una balanza de alta precisión.

- La diferencia en peso se registra como la cantidad de agua absorbida, expresada en gramos por metro cuadrado (g/m²).

Figura 11. *Equipo para determinar COOB*



Fuente: JARP

2.6.4 RESISTENCIA DE UNIÓN INTERNA

La resistencia interna o resistencia de unión interna es una propiedad crucial del papel y el cartón que mide la fuerza necesaria para separar las capas internas del material en la dirección perpendicular a su superficie (dirección Z). Esta característica es especialmente relevante en aplicaciones donde el material está sujeto a tensiones que pueden provocar deformaciones durante procesos de impresión, manipulación y uso final.

Importancia de la resistencia

- **Calidad de Impresión.** Una alta resistencia interna previene la separación de capas durante la impresión, evitando defectos como el levantamiento de fibras o formación de ampollas, lo que garantiza una superficie uniforme y de alta calidad para la impresión.

- **Integridad Estructural.** En productos de embalaje, una adecuada resistencia interna asegura que el cartón mantenga su integridad estructural bajo condiciones de estrés mecánico, protegiendo el contenido y manteniendo la funcionalidad del envase.

Prueba de resistencia

Conocida también como *Scott Internal Bond Test*, este ensayo se realiza según la norma TAPPI T 833 y mide la fuerza transversal requerida para deslaminar una unidad de superficie del material, expresada en julios por metro cuadrado.

Figura 12. *Máquina de prueba del internal bond*



Fuente: IDM Test

2.6.5 POROSIDAD

La porosidad del papel se refiere a la cantidad y distribución de espacios vacíos (poros) presentes en su estructura. Estos poros están formados por la disposición de las fibras de celulosa durante el proceso de fabricación. La porosidad influye en la permeabilidad del papel al aire, líquidos y gases, afectando su rendimiento en diversas aplicaciones.

Importancia de la porosidad

Imprimibilidad. Una porosidad adecuada permite que las tintas penetren correctamente en la superficie del papel, mejorando la calidad de impresión. Sin embargo, un papel excesivamente poroso puede absorber más tinta de lo necesario, afectando la nitidez y aumentando los costos de impresión.

Propiedades de barrera. En aplicaciones de embalaje, una baja porosidad es deseable para mejorar la resistencia del material frente a líquidos, aceites y gases, proporcionando una barrera protectora.

Método para medir la porosidad

1. Método Gurley (TAPPI T460)

Evalúa el tiempo que tarda un volumen específico de aire en atravesar el papel bajo una presión constante. Se utiliza principalmente en papeles con baja permeabilidad al aire.

Figura 13. *Densímetro para determinar la porosidad por Gurley*



Fuente: Direct Industry

2.7 DEFECTOS EN EL CARTÓN

Los defectos en las láminas de cartón son irregularidades que afectan su calidad y rendimiento en aplicaciones industriales. Estos defectos pueden originarse por diversas causas, incluyendo propiedades inadecuadas del material base, inconsistencias en los procesos de fabricación y condiciones ambientales adversas.

Estas representan un desafío importante en la industria cartonera, ya que afectan directamente su funcionalidad, calidad y capacidad para cumplir con los estándares exigidos en aplicaciones de embalaje y transporte. Según Hubbe y Ayoub (2018), "las propiedades mecánicas del cartón están influenciadas no solo por las características del papel utilizado, sino también por las condiciones del proceso de fabricación y almacenamiento"

Estos problemas no solo implican pérdidas económicas significativas debido a la merma y los reprocesos, sino que también pueden comprometer la sostenibilidad del proceso al aumentar los niveles de desperdicio. Como señala Smook (2016), "los defectos recurrentes en productos de cartón pueden ser rastreados hasta propiedades fundamentales del papel, como la resistencia interna y el control de humedad durante la producción". Entre los problemas más comunes se encuentran:

2.7.1 DESCUADRE

El descuadre en las láminas de cartón corrugado se refiere a la desalineación que ocurre entre los cuerpos externos del empaque durante su cierre, manifestándose en una mala alineación de los pliegues superiores e inferiores.

Impacto del Descuadre

- **Problemas funcionales.** El descuadre puede dificultar el ensamblaje adecuado de las cajas, afectando su integridad estructural y capacidad de protección del contenido.
- **Estética comprometida.** La desalineación visible puede disminuir la percepción de calidad del producto por parte del cliente final.

Figura 14. *Lámina con descuadre de los dos liners*



Fuente: Cycesa

2.7.2 PANDEO

El pandeo, también conocida como curvatura o encombado, es una deformación no deseada que afecta la planitud de las láminas de cartón corrugado. Este defecto es particularmente relevante en aplicaciones donde se requiere una alta estabilidad dimensional, ya que la comba puede dificultar el proceso de apilamiento, impresión y embalaje, comprometiendo la funcionalidad del material.

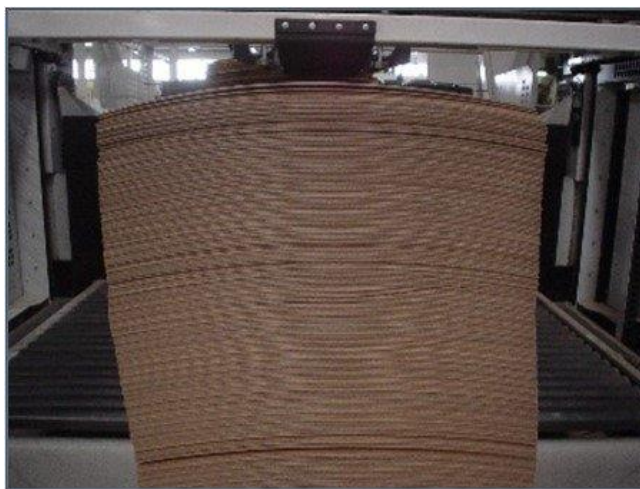
El pandeo se manifiesta cuando las capas de la lámina de cartón (liners y flautas) presentan una curvatura evidente, ya sea en dirección longitudinal (a lo largo del cartón) o transversal

(perpendicular a la dirección del corrugado). Este problema está asociado a desequilibrios en las tensiones internas de los materiales que componen el cartón, y a menudo es resultado de variaciones en las propiedades del papel, las condiciones de fabricación o las características ambientales.

Causas del pandeo

- ***Variaciones en la Humedad.*** Diferencias en el contenido de humedad entre las capas del cartón pueden inducir tensiones que resulten en deformaciones.
- ***Tensiones Internas.*** Desbalances en las tensiones aplicadas durante la producción pueden provocar curvaturas no deseadas en las láminas.
- ***Propiedades del Material.*** La composición y calidad de las fibras utilizadas pueden influir en la susceptibilidad del cartón a desarrollar pandeo.

Figura 15. Lote de *láminas pandeadas*



Fuente: Packland

2.7.3 HUMEDAD

La humedad es un factor crítico que influye significativamente en las propiedades y el rendimiento del cartón corrugado. Como material higroscópico, el cartón absorbe y libera humedad en respuesta a las condiciones ambientales, lo que puede afectar su integridad estructural y funcionalidad.

La humedad en las láminas de cartón ondulado tiene un impacto directo en su resistencia mecánica, especialmente en la compresión. Al incrementarse la humedad relativa en el ambiente, se evidencia una reducción en la capacidad de las láminas para soportar cargas, lo que puede afectar su rendimiento en condiciones de almacenamiento y transporte. (Ospina, 2021)

- Según las especificaciones técnicas de la industria del cartón, la humedad permitida en las láminas de cartón corrugado generalmente se encuentra en un rango de 6% a 8% en peso.
- Este rango asegura que el material mantenga su rigidez y resistencia a la compresión sin ser demasiado frágil o propenso a deformaciones.

Efectos de la Humedad en el Cartón Corrugado

Reducción de la Resistencia a la Compresión. Afecta la capacidad para soportar cargas durante el almacenamiento y transporte.

Deformaciones Estructurales. Diferencias en el contenido de humedad entre las capas del cartón pueden provocar deformaciones como el pandeo o la comba, afectando la planitud y estabilidad del material.

Pérdida de Integridad del Embalaje. La exposición prolongada a ambientes húmedos puede debilitar las fibras del cartón, reduciendo su capacidad para proteger el contenido.

Figura 16. Láminas rechazadas por humedad alta



Fuente: Autor

2.7.4 DELAMINACIÓN

La delaminación es un defecto crítico en las láminas de cartón corrugado que se manifiesta como la separación de las capas internas del material (liners y flautas). Este problema afecta directamente la integridad estructural y funcionalidad del cartón, comprometiendo su capacidad para soportar cargas y proteger los productos embalados.

La delaminación ocurre cuando los adhesivos que unen las capas del cartón no logran mantener una unión adecuada, permitiendo que las capas se separen bajo tensiones mecánicas o cambios ambientales.

Impacto de la Delaminación

Reducción de la Resistencia Mecánica. La delaminación disminuye significativamente la resistencia a la compresión y a la flexión, comprometiendo la capacidad del cartón para soportar cargas verticales.

Problemas Funcionales. La separación de capas puede dificultar el manejo del cartón en procesos de impresión y formación de cajas.

Incremento en Mermas y Costos. El material afectado por delaminación a menudo es rechazado, lo que aumenta los costos de producción debido a reprocesos y pérdidas.

Método de evaluación

La prueba de rasgado en tracción (Scott Internal Bond), evalúa la energía absorbida al separar capas internas, se visualiza la presencia del pegamento en el corrugado.

Figura 17. *Lámina con delaminado alto*



Fuente: Freepik

2.7.5 ARRUGAS

Las arrugas en las láminas de cartón corrugado son deformaciones que afectan la planitud y calidad del material, comprometiendo su rendimiento en aplicaciones de embalaje.

Las arrugas en el cartón suelen originarse por variaciones en la humedad y tensiones mecánicas durante el proceso de producción, afectando la calidad y resistencia del material.

(Martínez, 2019)

Figura 18. *Lámina con arrugas*



Fuente: Krlitoz Perez

2.7.6 SOPLADO

El soplado es un defecto caracterizado por la formación de burbujas o protuberancias entre las capas del cartón corrugado, resultando en una separación parcial que afecta su planitud y resistencia estructural. Este problema puede comprometer la calidad del producto final y su funcionalidad en aplicaciones de embalaje, dificultando procesos como la impresión y el almacenamiento.

Impacto del Soplado

Reducción de la Resistencia Mecánica. Las áreas afectadas por el soplado tienen menor capacidad para soportar cargas, comprometiendo la funcionalidad estructural del cartón.

Problemas en la Impresión. Las burbujas en la superficie dificultan la impresión, afectando la calidad visual del producto.

Incremento en Mermas. Las láminas con soplado generalmente son descartadas, aumentando los costos de producción debido al desperdicio de material.

Figura 19. Láminas con soplado



Fuente: Krlitoz Perez

2.8. HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS

2.8.1 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

El coeficiente de correlación de Pearson (r) es el método más utilizado para evaluar la relación lineal entre dos variables cuantitativas. "El análisis de correlación no solo permite identificar relaciones clave entre variables, sino que también establece una base para desarrollar modelos predictivos en procesos industriales" (Montgomery, 2017).

La fórmula a utilizar será:

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

$r = 1$: Existe relación lineal positiva completamente perfecta.

$r = -1$: Existe relación lineal negativa completamente perfecta.

$r = 0$: Ausencia de relación lineal entre las variables.

Tipos de correlacion

- **Positiva:** Un incremento en una variable suele ir acompañado de un aumento en la otra.
- **Negativa:** Un incremento en una variable se asocia con una disminución en la otra.
- **Nula:** No existe un patrón lineal observable entre las variables.

2.8.2 COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN

El coeficiente de determinación, R^2 , es una métrica estadística que refleja el porcentaje de la variación en una variable dependiente que puede atribuirse a una o más variables independientes. Es fundamental para evaluar qué tan bien se ajusta un modelo estadístico, como la regresión lineal.

"El coeficiente de determinación es una herramienta estadística esencial para evaluar el ajuste de un modelo y cuantificar la variabilidad explicada por las variables independientes"

(Montgomery, 2017).

Interpretación del R^2

- $R^2 = 1$: El modelo explica el 100% de la variabilidad de los datos.
- $R^2 = 0$: El modelo no explica ninguna variabilidad.
- R^2 entre 0 y 1: Indica el porcentaje de variabilidad explicada. Por

ejemplo, $R^2 = 0.75$ significa que el 75% de la variabilidad de la variable dependiente es explicada por el modelo.

2.9. HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE CALIDAD

Las herramientas de gestión de calidad son métodos y técnicas utilizados por las organizaciones para garantizar que los productos o servicios cumplan con los estándares definidos y respondan a las expectativas de los clientes, estas técnicas permiten identificar y resolver problemas, fomentar la mejora continua de los procesos y tomar decisiones fundamentadas en datos.

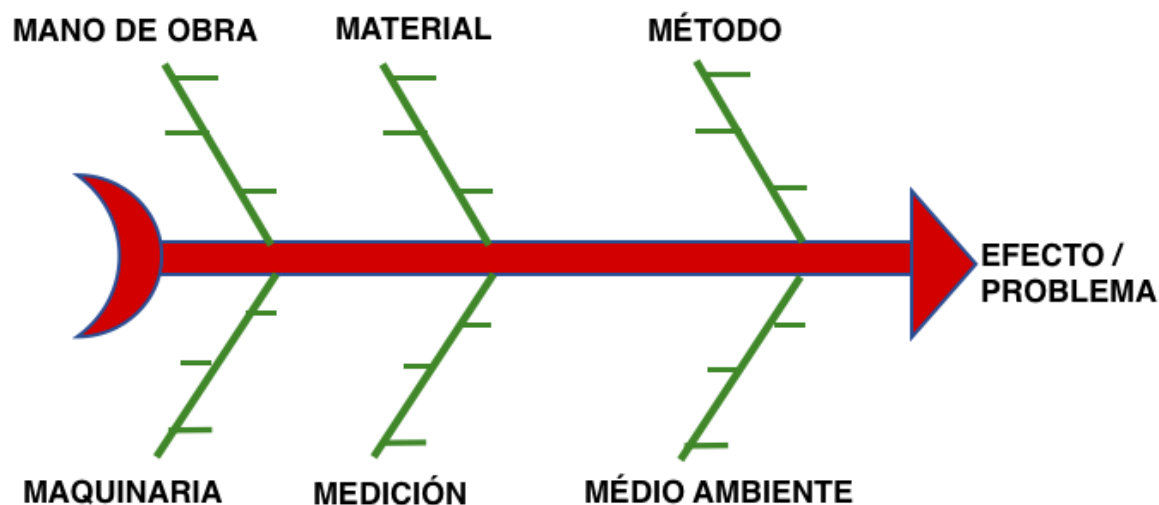
La implementación efectiva de estas herramientas puede conducir a mejoras significativas en la excelencia de los productos y servicios, elevando tanto la satisfacción del cliente como la competitividad de la empresa. Como señala Reyes Chacón (2022), "el Sistema de Gestión de Calidad (SGC) promueve la creatividad, adaptación, nuevos procesos o productos y el descubrimiento de nuevos mercados o clientes".

2.9.1 DIAGRAMA DE ISHIKAWA (O DE CAUSA – EFECTO)

Según Wilfredo Pareto (González, 2014), un diagrama de Pareto se describe como una representación gráfica que organiza las causas de un problema en función de su importancia o magnitud, priorizando su frecuencia de ocurrencia. Esto permite identificar qué problemas requieren atención inmediata y establecer prioridades para definir metas numéricas alcanzables

Su diseño visual se asemeja a una espina de pescado: la "cabeza" del diagrama muestra el problema principal o el efecto que se desea analizar, mientras que las "espinas" principales representan las categorías generales de las posibles causas. Estas categorías suelen agruparse en seis elementos principales, conocidos como las 6M: métodos, mano de obra, maquinaria, materiales, medio ambiente y medición.

Figura 20. *Diagrama de Ishikawa*



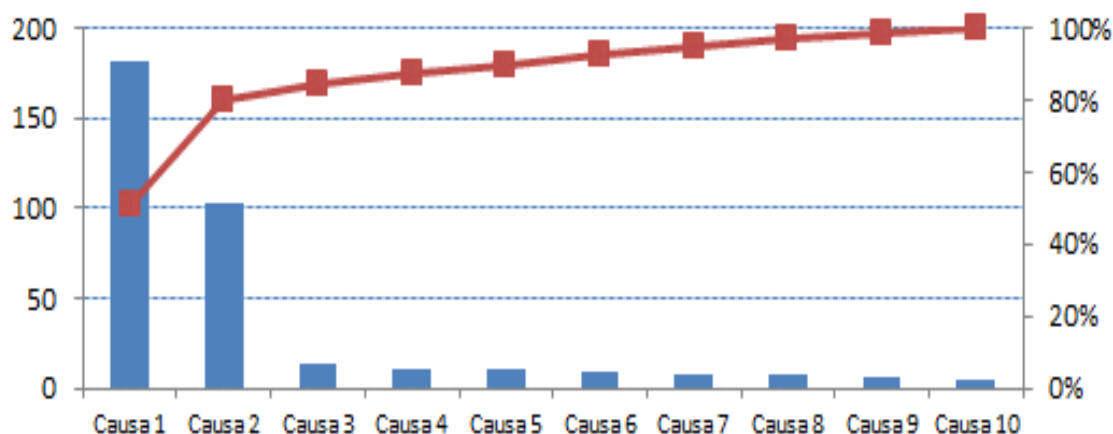
Fuente: Riskp

2.9.2 DIAGRAMA DE PARETO

El diagrama de Pareto es una herramienta gráfica que organiza y clasifica las causas de un problema o los factores involucrados en un proceso según su importancia, permitiendo visualizar cuáles tienen el mayor impacto. Esta técnica está basada en el principio de Pareto, que establece que, en muchos casos, el 80% de los efectos son causados por el 20% de las causas.

Representación Gráfica

- Las barras representan las frecuencias o magnitudes de cada causa, ordenadas de mayor a menor.
- La línea acumulativa muestra el porcentaje acumulado de cada causa respecto al total.

Figura 21. *Diagrama de Pareto*

Fuente: Geo Tutoriales

2.9.3 MÉTODO DE LOS 5 PORQUÉS

El Método de los 5 Porqués es una técnica de análisis de causa raíz utilizada para identificar el origen de un problema mediante preguntas iterativas. La idea principal es que, al preguntar "¿por qué?" repetidamente (cinco veces como referencia, aunque no es un número rígido), se pueden descubrir las causas fundamentales de un problema en lugar de quedarse en las superficiales.

Como explica Ohno (1988), "al hacer las preguntas '¿Por qué?' cinco veces, la naturaleza del problema, así como su solución, se hace clara. La base de este método es reconocer que detrás de cada problema hay una causa raíz que puede ser abordada eficazmente con esta técnica"

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio se clasifica como una investigación aplicada, ya que su objetivo es resolver un problema específico dentro de una industria cartonera, generando soluciones prácticas para mejorar la calidad del producto y reducir la merma.

Es también una investigación descriptiva, porque analiza y documenta las características de los datos recopilados, permitiendo identificar patrones y tendencias. Además, es correlacional, ya que busca establecer relaciones estadísticas entre variables clave mediante técnicas de análisis cuantitativo.

3.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación adopta un enfoque mixto, integrando aspectos cuantitativos y cualitativos con el objetivo de analizar el problema de forma integral correspondiente al área de calidad. Este enfoque permite realizar un análisis objetivo y detallado de los datos, así como profundizar en la comprensión de las causas raíz de los defectos a través de lo observado.

La fase cuantitativa se enfoca en la recopilación y el análisis estadístico de datos mensuales, abarcando tanto las propiedades del papel como los defectos registrados; a través de técnicas estadísticas, la cual buscará establecer relaciones significativas entre estas variables, lo que permitirá identificar cuáles de ellas impactan directamente en la calidad del producto en estudio. Por otro lado, la fase cualitativa se enfoca en el uso de herramientas de gestión de calidad, para determinar las causas principales de los defectos identificados.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

En este estudio, se necesitó la colaboración de los departamentos de producción y calidad de la industria de estudio, en ellos se analizaron los indicadores de merma mensuales que se produjeron durante el año de 2024. Estos indicadores son fundamentales para evaluar la eficiencia del proceso productivo y cuantificar el impacto de los defectos en la calidad del producto final.

La población de este estudio comprende al promedio de las especificaciones de todas las órdenes de producción registradas durante el día en un período de 12 meses del año ya mencionado, en esta industria se labora las 24 horas del día, dando como resultado un promedio de unas 30 ordenes de producción; el número total de registros mensuales variará según la cantidad de días del calendario.

3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos en esta investigación se realizó mediante procedimientos sistemáticos implementados en los departamentos de producción y calidad, utilizando herramientas tecnológicas para garantizar la precisión y consistencia de la información.

Registros diarios de producción

Se recopilaron datos diarios que reflejan las especificaciones de todas las órdenes de producción. Este registro incluye información sobre las propiedades del papel que sirve al área para la planificación de las láminas que se producen.

Inspección visual por lotes

- En cada lote de producción se realizan inspecciones visuales para identificar posibles defectos en las láminas de cartón.
- Además, en cada lote se seleccionan entre 1 y 2 muestras para realizar pruebas de calidad específicas, lo que permitió obtener información detallada sobre las propiedades del papel y la calidad de las láminas.

Registro y verificación por doble control

Tanto las pruebas del papel como las inspecciones de los lotes fueron realizadas por 2 personas, lo que garantiza una validación cruzada de los resultados antes de su registro en los sistemas.

Sistemas de gestión de datos

Los datos recolectados se ingresan al sistema SAP, desde donde se exportan a una hoja de Excel conectada a Power BI para su análisis y visualización.

Limpieza de datos

Antes de proceder con el análisis, todos los datos recolectados pasaron por un proceso de limpieza. Este paso fue fundamental para eliminar inconsistencias, errores y datos irrelevantes, asegurando que la información final fuera precisa y adecuada para los objetivos del estudio.

3.5 ANÁLISIS DE DATOS

Los distintos análisis se desarrollarán en diferentes etapas, permitiendo identificar patrones, relaciones y causas que afectan la calidad de las láminas de cartón.

Indicadores de merma mensuales

- Se analizarán los kilogramos de defectos producidos cada mes y se visualizarán mediante gráficos instructivos. Este análisis permitirá identificar tendencias, pérdidas monetarias y fluctuaciones en la merma.

Diagrama de Pareto

- Se elaborará un diagrama de Pareto para priorizar los defectos que generan mayor impacto en la merma. En esta ocasión enfocaremos el análisis con los defectos que mas incidan en el 60% de toda la merma.

Matriz GUT

- Se evaluarán los factores que contribuyen a la merma, como maquinaria, procesos, personal y materia prima.
- Se jerarquizarán estos factores según su impacto en la producción y la calidad del cartón.

Análisis de correlación y coeficiente de determinación

Se realizará un análisis estadístico para determinar la relación entre las propiedades del papel; entre ellas están el calibre, la humedad, gramaje, capacidad de absorcion (coob), internal bond, resistencia de las fibra (sct), porosidad, resistencia al estallido; y los defectos que se identificarán en el diagrama de Pareto. A través del coeficiente de determinación, se identificará cuáles propiedades tienen mayor impacto en los defectos.

Análisis cualitativo de causas raíz

Se utilizarán herramientas como el diagrama de ishikawa y el método de los 5 porqués, u otras que sean necesarias para identificar las causas fundamentales de los defectos. Esto complementará el análisis estadístico y proporcionará una visión más profunda de los factores que afectan la calidad.

3.6 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

En esta investigación se emplearán diversos instrumentos para recopilar, organizar y análisis de los datos, con el objetivo de cumplir los objetivos establecidos y así asegurar la precisión del estudio.

Sistemas de registro y organización de datos

SAP. Se utilizará para registrar los datos relacionados con las propiedades del papel y los defectos observados en las láminas de cartón.

Excel. Permitirá organizar de manera estructurada los datos recolectados, facilitando su manejo y preparación para el análisis.

Herramienta de análisis de datos

Microsoft Excel. Se utilizará como herramienta principal para realizar el análisis estadístico, que incluye:

- Cálculo de correlación y coeficiente de determinación.
- Elaboración de tablas y gráficos.

Canva. Herramienta para diseñar gráficas más complejas.

Herramientas de gestión de calidad

Diagrama de Ishikawa. Permitirá organizar y analizar las causas generadas en la lluvia de ideas, estructurándolas en las 6 categorías principales. Esto ayudará a identificar las causas más críticas que afectan la merma.

Método de los 5 Porqués. Ayudará a profundizar en las causas raíz identificadas en el Diagrama de Ishikawa, permitiendo llegar a una comprensión más detallada de los problemas y estableciendo una base para diseñar acciones correctivas.

Observación directa

Realizaré observaciones directas del proceso productivo, evaluando el comportamiento de las propiedades del papel y su impacto en los defectos observados.

3.7 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

El procedimiento metodológico de esta investigación se desarrollará en las siguientes etapas:

1. Análisis de indicadores de merma.
2. Diagrama de Pareto para priorización de defectos.
3. Evaluación de factores mediante Matriz GUT
4. Análisis de correlación y determinación.
5. Análisis cualitativo de causas raíz.

3.8 DATOS RECOPIADOS DE LA MERMA DURANTE EL AÑO

Los datos analizados corresponden a los indicadores de merma mensual registrados durante todos días en un período de 12 meses, los cuales se obtuvieron del sistema de control de producción de la empresa. Cada registro refleja la producción total mensual en kilogramos (kg), junto con la merma total (kg) generada en cada mes.

A partir de estos valores, se calculó el porcentaje de merma mensual, comparándolo con el objetivo establecido por parte de la gerencia operativa, el cual es de 1%.

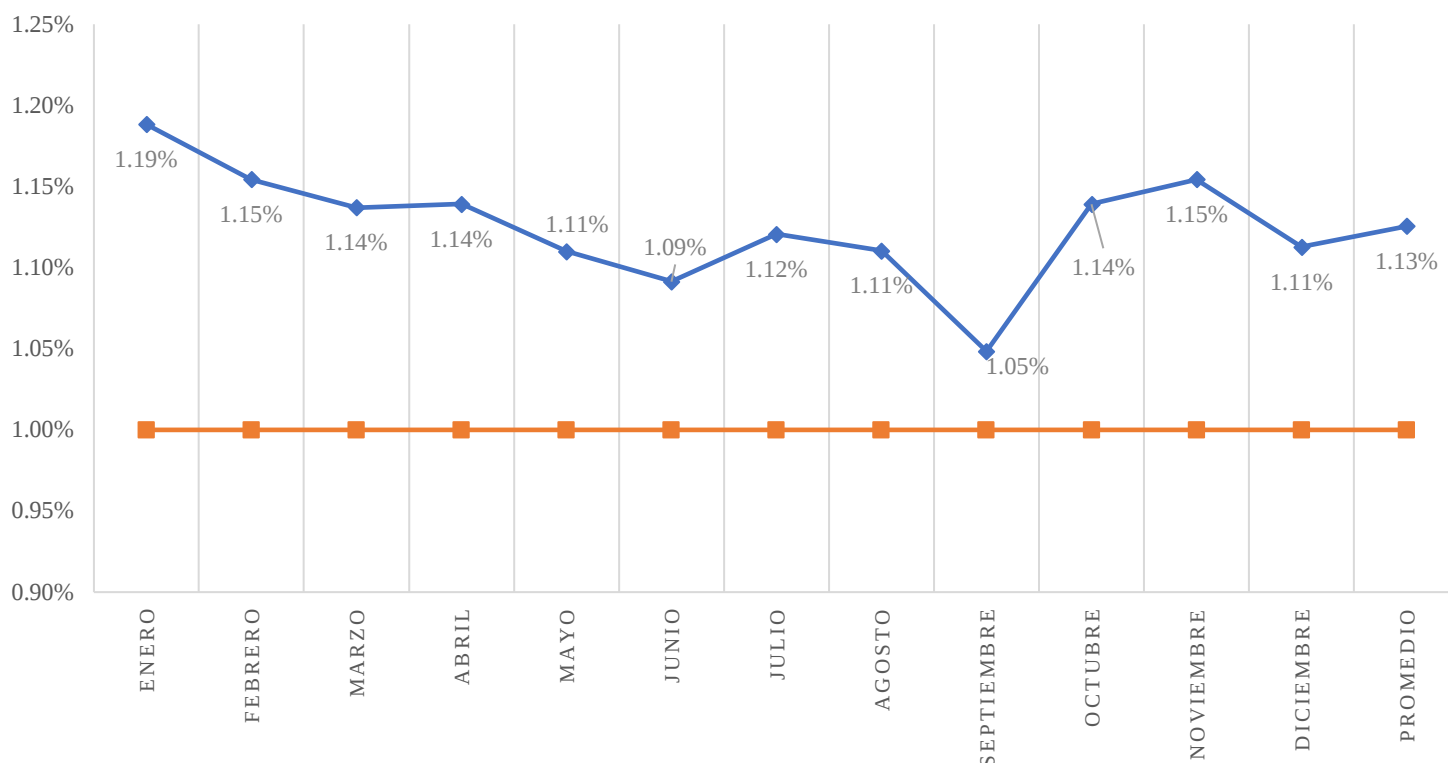
Tabla 3. *Tabla de indicadores de merma mensual*

Mes	Producción Total (kg)	Merma Total (kg)	Merma (%)	Objetivo
Enero	285.608,00	3.393,81	1,19%	1,00%
Febrero	323.900,00	3.738,86	1,15%	1,00%
Marzo	332.260,00	3.777,59	1,14%	1,00%
Abril	331.910,00	3.780,89	1,14%	1,00%
Mayo	317.720,00	3.526,87	1,11%	1,00%
Junio	310.920,00	3.393,21	1,09%	1,00%
Julio	437.340,00	4.901,16	1,12%	1,00%
Agosto	442.658,00	4.915,26	1,11%	1,00%
Septiembre	384.667,00	4.033,00	1,05%	1,00%
Octubre	433.346,00	4.936,14	1,14%	1,00%
Noviembre	424.269,00	4.897,40	1,15%	1,00%
Diciembre	535.780,00	5.961,93	1,11%	1,00%
Promedio	380.031,50	4.271,34	1,13%	

Fuente: Empresa cartonera

A continuación, se presenta el gráfico de líneas que muestra la evolución del porcentaje de merma mensual en comparación con el objetivo:

Figura 22. *Evolución de la merma en el año 2024*



Fuente: Autor

El gráfico muestra que en ningún mes del año 2024 se alcanzó el objetivo propuesto. Además, se observa un comportamiento atípico, lo que sugiere que las variaciones podrían estar relacionadas con factores específicos, como las propiedades del papel o las condiciones del proceso. Estos aspectos serán analizados en detalle en las siguientes secciones.

3.9 PÉRDIDA ECONÓMICA DEBIDO A LA MERMA

Cada kg de lámina estándar de cartón tiene un costo de producción de 50 centavos, usaremos ese valor para calcular la pérdida de dinero por causa de los kg de láminas rechazadas, además se considera un costo adicional por el reproceso de las mismas.

Tabla 4. *Total, de pérdida económica por merma*

Mes	Gasto de merma	Costo por reproceso	Total
Enero	\$1.696,90	\$300,00	\$1.996,90
Febrero	\$1.869,43	\$300,00	\$2.169,43
Marzo	\$1.888,80	\$300,00	\$2.188,80
Abril	\$1.890,45	\$300,00	\$2.190,45
Mayo	\$1.763,44	\$300,00	\$2.063,44
Junio	\$1.696,60	\$300,00	\$1.996,60
Julio	\$2.450,58	\$300,00	\$2.750,58
Agosto	\$2.457,63	\$300,00	\$2.757,63
Septiembre	\$2.016,50	\$300,00	\$2.316,50
Octubre	\$2.468,07	\$300,00	\$2.768,07
Noviembre	\$2.448,70	\$300,00	\$2.748,70
Diciembre	\$2.980,97	\$300,00	\$3.280,97
TOTAL	\$25.628,06	\$3.600,00	\$29.228,06

Fuente: Empresa cartonera

Como se visualiza, las pérdidas económicas durante el año de 2024 han sido de \$29.228,06 debido a la producción de merma y de reprocesos.

A continuación, se procederá a analizar los 8 defectos que producen la merma, los cuales se generan en las láminas de cartón, esto para priorizar los siguientes análisis en los defectos más críticos.

Tabla 5. *Defectos que generan la merma en Kg*

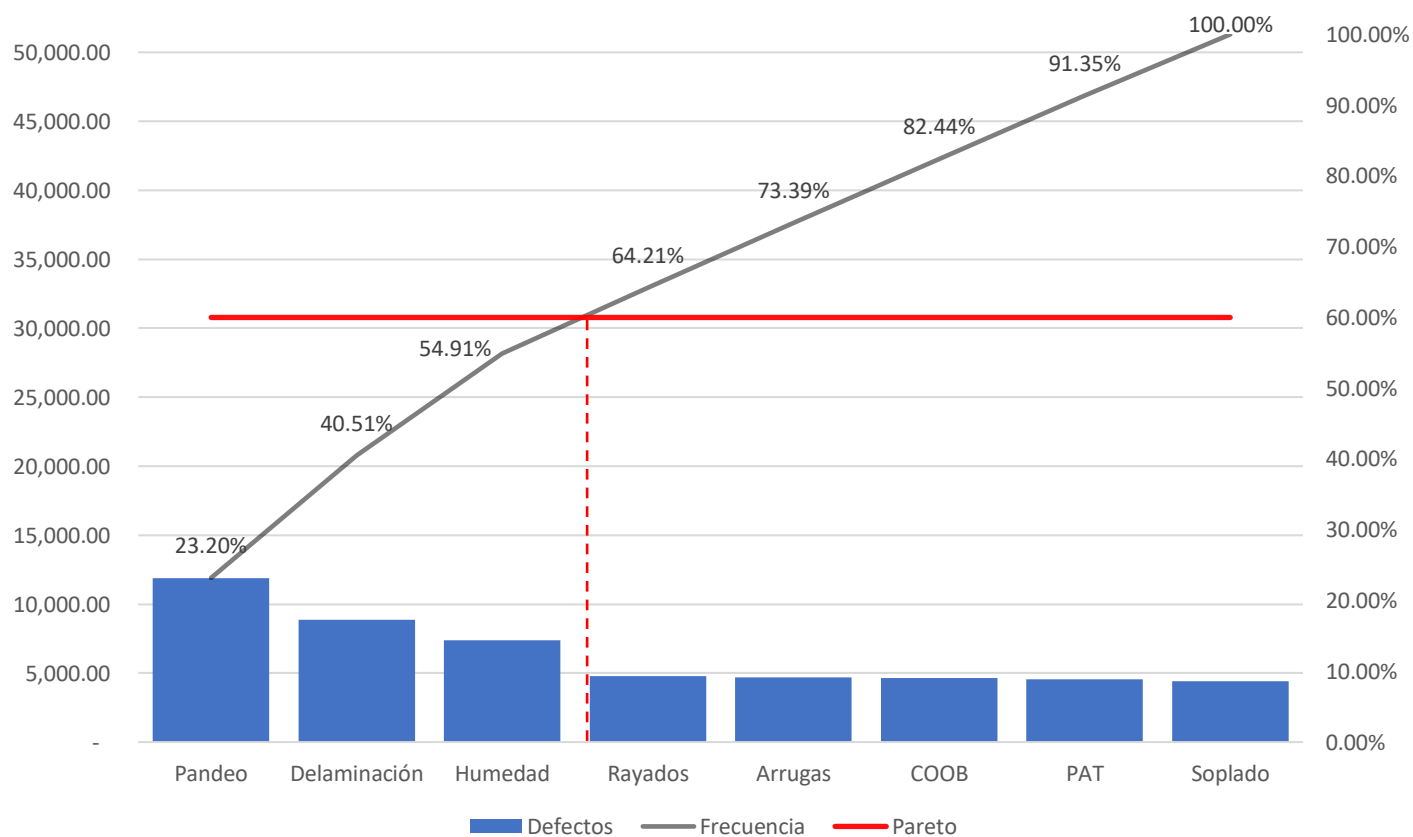
Mes	Merma Total (kg)	Pandeo	Delaminación	Humedad	Rayados	Arrugas	COOB	PAT	Soplado
Enero	3.393,81	925,08	615,36	435,74	274,89	302,79	295,73	260,73	283,49
Febrero	3.738,86	953,52	661,92	563,75	314,45	314,20	320,44	297,19	313,39
Marzo	3.777,59	929,37	692,06	542,08	311,11	345,60	325,42	310,92	321,03
Abril	3.780,89	981,22	691,18	535,31	292,48	325,50	342,90	328,65	283,64
Mayo	3.526,87	924,54	678,37	481,68	271,64	307,45	309,30	281,04	272,87
Junio	3.393,21	880,23	663,11	511,54	300,91	242,02	313,97	245,39	236,03
Julio	4.901,16	1015,25	815,37	721,97	510,97	452,97	453,91	498,22	432,51
Agosto	4.915,26	1012,01	829,11	743,81	523,13	442,32	441,62	465,59	457,68
Septiembre	4.033,00	925,87	687,35	558,93	381,72	372,63	386,71	368,43	351,36
Octubre	4.936,14	1009,81	811,58	747,46	489,13	453,79	449,66	451,24	523,48
Noviembre	4.897,40	1112,74	809,15	723,05	532,85	472,70	430,18	432,13	384,62
Diciembre	5.961,93	1224,02	917,41	813,28	563,22	675,80	565,34	631,02	571,84
Total	51.256,13	11.893,65	8.871,97	7.378,57	4.766,50	4.707,77	4.635,17	4.570,55	4.431,94
Promedio	7.885,56	991,14	739,33	614,88	397,21	392,31	386,26	380,88	369,33

Fuente: Industria cartonera

A continuación, con el Diagrama de Pareto, enfocaremos los esfuerzos en los defectos que representan aproximadamente el 60% de las causas, ya que nos permite un análisis más específico y orientado a resultados; para facilitar el análisis, se consolidaron los datos anuales, calculando el total de kilogramos aportados por cada defecto y su contribución porcentual acumulada.

Tabla 6. *Porcentaje acumulado de defectos que producen la merma*

Defectos	Kg Total de Merma	Porcentaje	Acumulado
Pandeo	11.893,65	23,20%	23,20%
Delaminación	8.871,97	17,31%	40,51%
Humedad	7.378,57	14,40%	54,91%
Rayados	4.766,50	9,30%	64,21%
Arrugas	4.707,77	9,18%	73,39%
COOB	4.635,17	9,04%	82,44%
PAT	4.570,56	8,92%	91,35%
Soplado	4.431,94	8,65%	100,00%
Total	51.256,127		

Fuente: Autor**3.10. DIAGRAMA DE PARETO****Figura 23.** *Diagrama de Pareto de los defectos de las láminas de cartón***Fuente:** Autor

La línea acumulativa muestra qué defectos representan aproximadamente el 60% del impacto en la merma, siendo estos:

1. Pandeo
2. Delaminación
3. Humedad

Estos 3 defectos aportan con una contribución acumulada del 54.91%. Estos defectos deben ser el foco principal en los próximos análisis y en las estrategias de mejora, ya que representan la mayor oportunidad para reducir la merma total.

3.11 ASPECTOS QUE GENERAN LA MERMA

El registro de novedades ingresadas por parte de los inspectores de calidad, permite determinar el grado de impacto de cada factor que interviene en el proceso productivo. A continuación, se presenta el siguiente desglose:

Tabla 7. Distribución de porcentaje de merma en los aspectos de producción

Mes	Porcentaje de merma	Materia Prima	Maquinaria	Personal	Procesos
Enero	1,19%	0,401%	0,333%	0,246%	0,208%
Febrero	1,15%	0,408%	0,307%	0,242%	0,197%
Marzo	1,14%	0,406%	0,305%	0,232%	0,193%
Abril	1,14%	0,416%	0,308%	0,224%	0,191%
Mayo	1,11%	0,390%	0,327%	0,200%	0,194%
Junio	1,09%	0,397%	0,294%	0,214%	0,187%
Julio	1,12%	0,405%	0,310%	0,228%	0,178%
Agosto	1,11%	0,403%	0,310%	0,221%	0,177%
Septiembre	1,05%	0,354%	0,272%	0,237%	0,185%
Octubre	1,14%	0,361%	0,320%	0,260%	0,199%
Noviembre	1,15%	0,335%	0,311%	0,262%	0,246%
Diciembre	1,11%	0,354%	0,270%	0,265%	0,225%
Promedio	1,13%	0,386%	0,306%	0,237%	0,201%

Fuente: Empresa

Se visualiza que gran cantidad de la merma se encuentra registrada en la categorización de la materia prima, seguido por la maquinaria, finalmente el personal y los procesos.

Para llevar a cabo un análisis más exhaustivo a los 4 aspectos previamente mencionados, se realizará una matriz de criticidad. El análisis contará con la participación del personal de producción y calidad, en él se considerarán 5 actividades (fallos) más recurrentes con sus respectivos efectos en la producción de láminas, esto con el objetivo de identificar el área que podría requerir mayor atención.

El puntaje de la matriz GUT se obtendrá multiplicando los valores de gravedad, urgencia y tendencia:

$$PUNTAJE = G \times U \times T$$

Antes de aplicar la matriz, se definieron las siguientes escalas para evaluar cada fallo identificado:

Tabla 8. *Rango de calificación de la matriz GUT*

Grado	Gravedad	Urgencia	Tendencia
1	Sin importancia	No hay apuro	Desaparecerá
2	Poca importancia	Puede esperar	Podría desaparecer
3	Importante	Acción mediata	Inestable
4	Mucha importancia	Relativa urgencia	Semi permanente
5	Extrema importancia	Inmediata	Permanecerá

Fuente: Autor

3.12 MATRIZ GUT

Tabla 9. *Matriz de evaluación de aspectos de merma*

GUT						
Categoría	Tareas	Efecto	Gravedad	Urgencia	Tendencia	Puntaje
Materia Prima	Humedad fuera de rango	Delaminación, defectos de COOB	5	4	5	100
Materia Prima	Baja resistencia interna	Pandeo, bajo SCT	4	5	4	80
Materia Prima	Gramaje inconsistente	Desviaciones en el calibre, problemas estructurales	4	4	4	64
Materia Prima	Baja porosidad	Baja resistencia al estallido, pandeo	3	3	3	27
Materia Prima	Impurezas en las dos capas	Rayados, baja calidad visual	5	4	5	100
Procesos	Parámetros de presión inadecuados	Delaminación, arrugas	4	5	3	60
Procesos	Orden de operaciones incorrecto	Laminado defectuoso, tiempos muertos	3	3	3	27
Procesos	Aplicación desigual de adhesivos	Diferencias en resistencia	4	3	4	48
Procesos	Falta de validación de procesos	Defectos recurrentes	3	3	3	27
Procesos	Velocidad de laminado inconsistente	Arrugas, rayados	4	4	5	80
Personal	Falta de capacitación	Pandeo, inconsistencias en gramaje	4	3	3	36
Personal	Errores en inspección de calidad	Defectos no detectados, productos rechazados	5	5	5	125
Personal	Mala manipulación de las láminas	Rayados, daños en las esquinas	3	3	3	27
Personal	Demoras en ajustes	Arrugas, inconsistencias en calibre	4	4	4	64
Personal	Omisión en controles intermedios	Defectos acumulados	3	3	3	27
Maquinaria	Rodillos desgastados	Calibre inconsistente, arrugas	4	3	3	36
Maquinaria	Fallo en el sistema de corte	Bordes irregulares, pandeo	5	4	5	100
Maquinaria	Temperatura inadecuada en rodillos	Adhesión desigual, arrugas	5	4	3	60
Maquinaria	Desbalanceo en componentes	Reducción en la velocidad de producción	5	3	4	60
Maquinaria	Mal funcionamiento del control automático	Errores en el gramaje	4	5	3	60

Fuente: Empresa cartonera

3.12.1 SUMA DE PUNTUACIONES POR CATEGORÍA

Se realizó un análisis consolidado para calcular la suma total de los grados por categoría, lo que permitió identificar la responsabilidad de cada área en la merma.

Tabla 10. *Suma de rangos de priorización de la matriz GUT*

Categoría	Suma de Puntuaciones	% de Responsabilidad
Materia Prima	371	30,7%
Maquinaria	316	26,2%
Personal	279	23,1%
Procesos	242	20,0%
Total	1208	100%

Fuente: Autor

Dado que en la matriz GUT, la materia prima fue el de mayor puntaje, se considera como un posible factor que podría estar contribuyendo a la merma. Este resultado sugiere la necesidad de analizar las especificaciones del papel, ya que podrían estar influyendo en los demás procesos y en la generación de defectos.

3.13. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

En este análisis se evaluará la relación entre las propiedades del papel y los defectos críticos antes ya identificados como lo son: pandeo, delaminación y humedad. Las propiedades a analizar son: calibre, humedad, gramaje, absorción que acumula (coob), adhesión interna de las fibras (internal bond), resistencia de las fibras (SCT), porosidad y resistencia al estallido.

Se utilizará el coeficiente de correlación de Pearson (r), que mide la fuerza y dirección de la relación lineal entre dos variables.

Donde:

X_i : Valores de la propiedad del papel.

Y_i : Valores del defecto del cartón analizado.

$\bar{X}$: Promedio de los valores de la propiedad del papel.

$\bar{Y}$: Promedio de los valores del defecto del cartón.

Σ : Suma de los valores.

Este cálculo será realizado mediante la función de Excel =CORREL(), lo que simplificará el proceso ya que es una gran cantidad de datos en análisis y además asegurará precisión.

A continuación, se presentan los promedios de las especificaciones requeridas del papel utilizado en la producción mensual de láminas, según los datos generados por el departamento de planificación.

Tabla 11. Especificaciones promedio del papel para la producción de láminas del 2024

Mes	Calibre (mm)	Gramaje (g/m ²)	Humedad (%)	COOB (g H ₂ O/m ²)	Internal Bond	SCT (kN/m)	Porosidad (Gurley sec)	Resistencia al estallido (kPa)
Enero	0,15	142,98	6,76	63,43	242,23	7,78	32,91	291,93
Febrero	0,15	145,43	7,01	62,30	222,79	8,01	32,01	290,47
Marzo	0,15	145,76	7,03	64,55	213,88	8,06	31,87	298,93
Abril	0,15	147,51	6,86	61,61	222,67	7,82	32,53	290,70
Mayo	0,15	148,28	7,07	61,79	222,80	7,84	32,83	302,50
Junio	0,15	147,93	6,94	64,23	229,87	7,96	32,23	302,38
Julio	0,14	144,04	7,15	62,21	225,75	8,11	31,89	297,55
Agosto	0,16	140,81	6,87	64,04	219,68	8,01	32,58	296,91
Septiembre	0,15	145,98	7,06	61,69	221,34	7,81	33,75	320,64
Octubre	0,15	145,72	6,80	60,71	226,55	7,72	33,30	307,15
Noviembre	0,16	142,72	6,95	63,60	234,39	8,15	33,22	293,66
Diciembre	0,14	143,73	7,07	61,05	229,90	8,15	32,66	314,94
Promedio	0,15	145,08	6,96	62,60	225,99	7,95	32,65	300,65

Fuente: Industria cartonera

Se exponen los kg promedios de merma de los defectos críticos de las láminas de cartón que representan aproximadamente el 60% de esta, analizada en el diagrama de pareto en los puntos anteriores, esto para poder calcular el coeficiente de correlación.

Tabla 12. *Kg de merma promedio de los defectos de las láminas producidas en 2024*

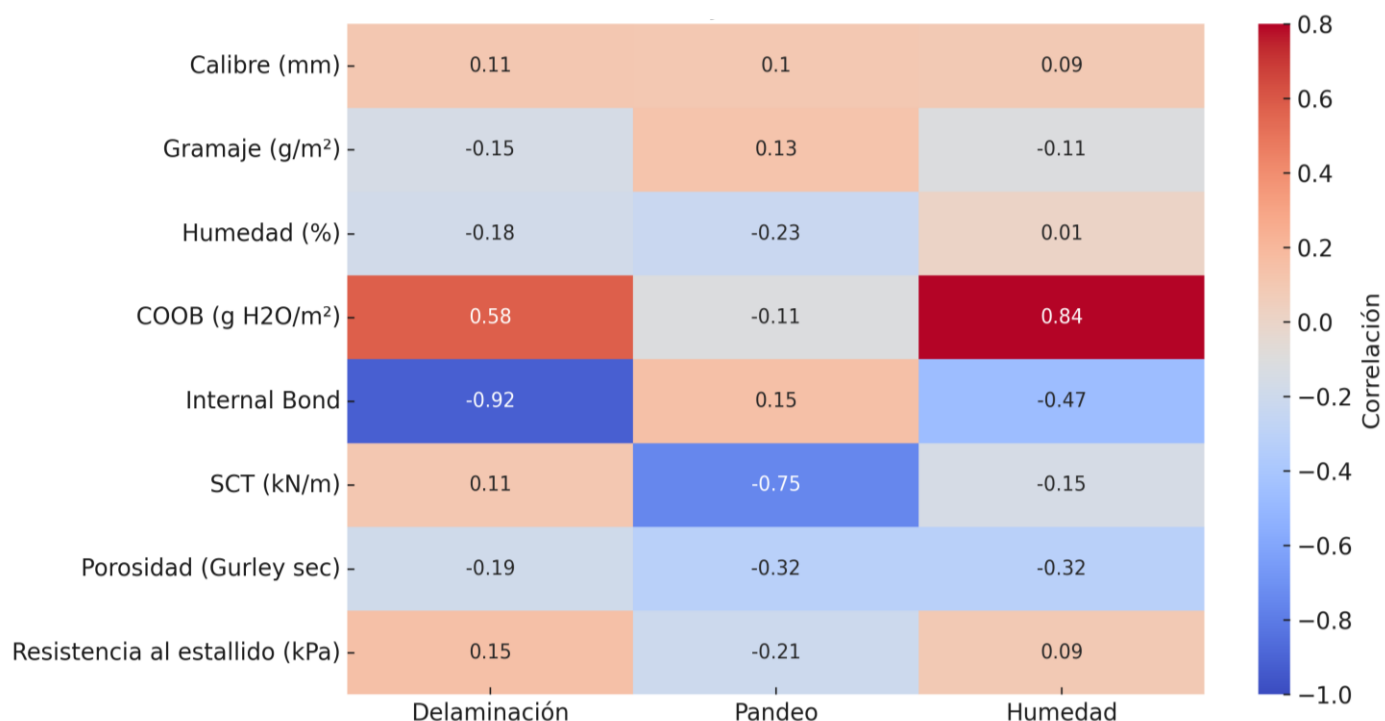
Mes	Delaminación	Pandeo	Humedad
Enero	19,52	29,87	17,14
Febrero	22,82	32,88	19,44
Marzo	22,32	29,98	17,49
Abril	23,04	32,71	17,84
Mayo	21,88	29,82	15,54
Junio	22,10	29,34	17,05
Julio	26,30	32,75	23,29
Agosto	26,75	32,65	23,99
Septiembre	22,91	30,91	18,69
Octubre	26,18	32,57	24,11
Noviembre	26,97	37,09	24,10
Diciembre	29,59	39,48	26,23
Promedio	24,20	32,50	20,41

Fuente: Industria cartonera

3.13.1 RESULTADOS DEL CÁLCULO

Se calcularon los coeficientes de correlación entre las especificaciones del papel y los defectos en las láminas de cartón, abarcando el periodo de enero a diciembre. A continuación, se presentan los promedios anuales obtenidos para el año 2024.

Figura 24. Mapa de calor con los coeficientes de correlación promedios del año 2024



Fuente: Autor

Como se observa en el mapa de calor, durante en el año se identificaron correlaciones fuertes entre el internal bond (ahdesion interna de las fibras) y delaminacion, tambien el coob (absorción que acumula) y la humedad, asi como sct (resistencia de las fibras) y el pandeo.

3.14 COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN

Con los coeficientes de correlación calculados, se procederá a determinar el coeficiente de determinación (R^2), que se obtiene elevando al cuadrado el valor del coeficiente de correlación (r). Este cálculo permitirá medir el porcentaje de variabilidad de los defectos que puede ser explicado por las propiedades del papel.

$$R^2 = r^2$$

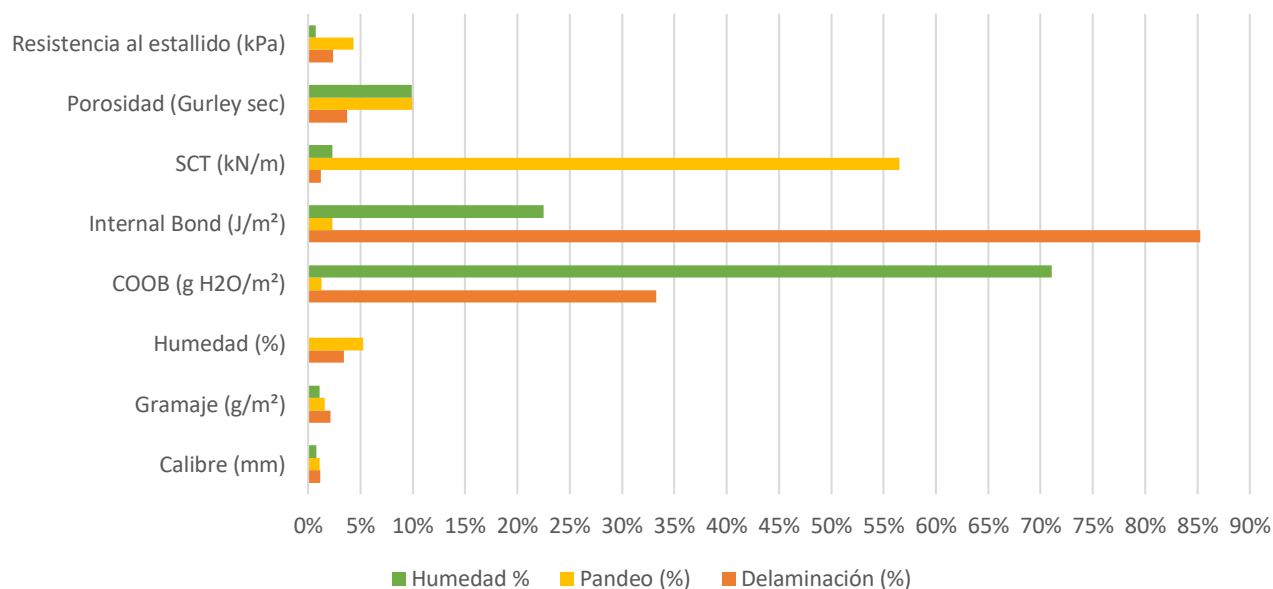
3.14.1 RESULTADOS DEL CÁLCULO

Tabla 13. Coeficientes de determinacion promedio del año

Determinacion	Delaminación	Pandeo	Humedad
Calibre (mm)	0,011	0,010	0,007
Gramaje (g/m ²)	0,021	0,016	0,011
Humedad (%)	0,034	0,052	0,000
COOB (g H ₂ O/m ²)	0,332	0,012	0,710
Internal Bond (J/m ²)	0,852	0,023	0,225
SCT (kN/m)	0,012	0,565	0,023
Porosidad (Gurley sec)	0,037	0,099	0,099
Resistencia al estallido (kPa)	0,023	0,043	0,007

Fuente: Autor

Figura 25. Porcentaje de variabilidad de los defectos debido a las propiedades



Fuente: Autor

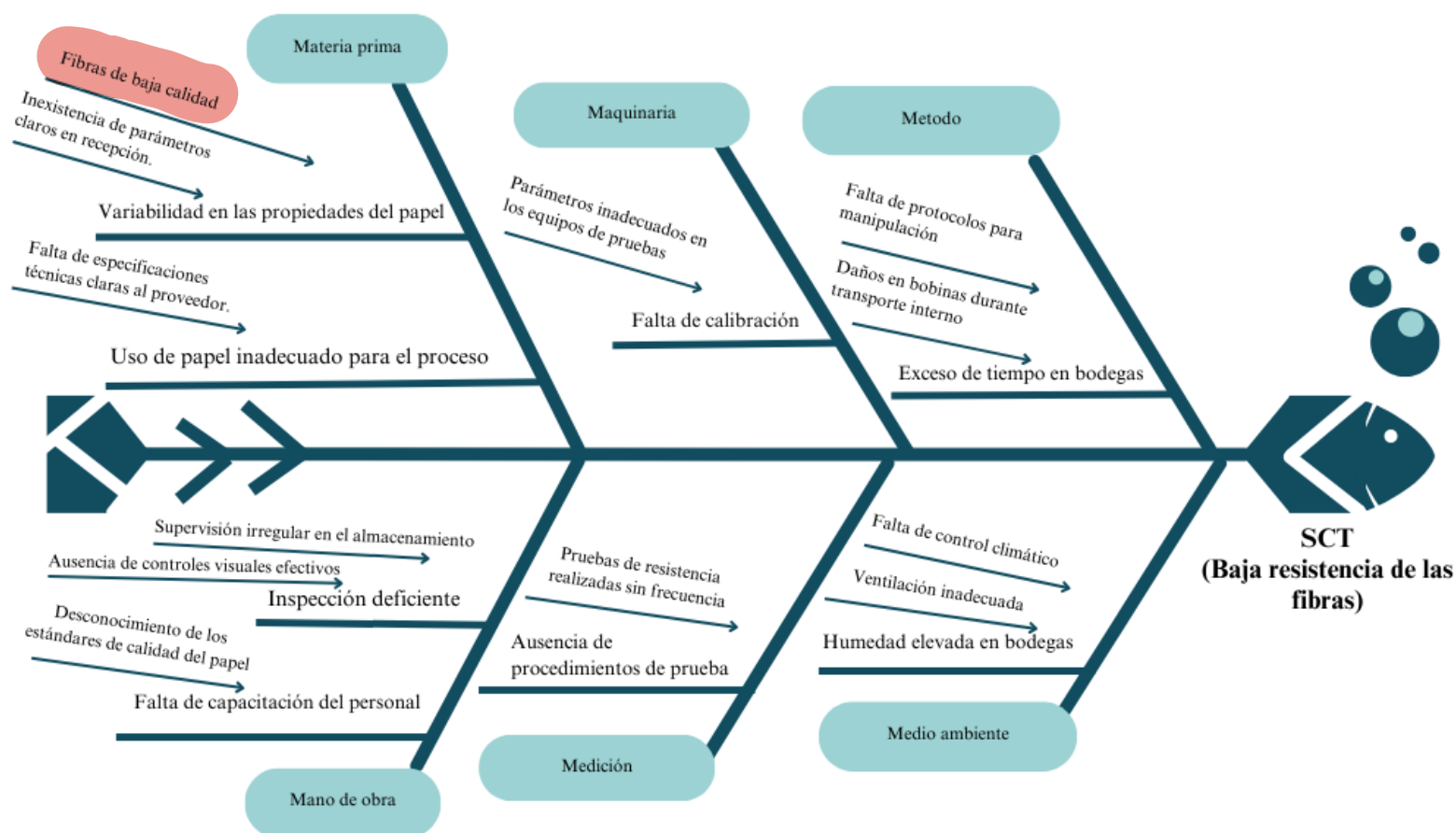
Como se muestra en el diagrama de barras, sobresalen las propiedades con mayor impacto a lo largo del año: el sct (resistencia de las fibras), el internal bond (adhesión interna de las fibras) y el coob (absorción que acumula).

Se establecen los siguientes problemas asociadas a estas propiedades: baja resistencia de las fibras, adhesión interna debilitada, capacidad de absorción de humedad aumentada. En los siguientes apartados se analizarán de manera cualitativa cada uno de estos problemas, esto para poder llegar a las causas raíces.

3.15 ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE ISHIKAWA

SCT – Baja resistencia de las fibras

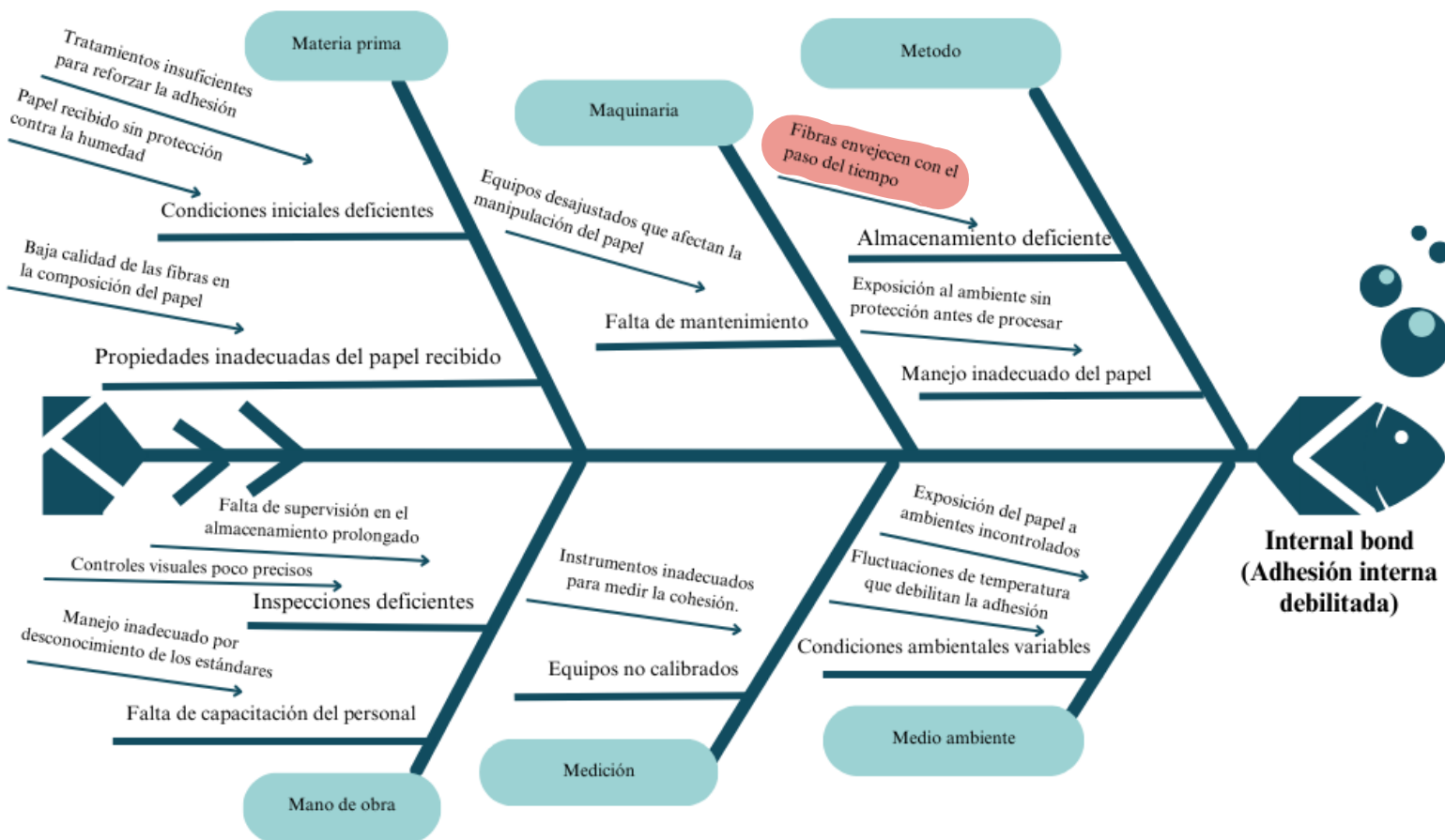
Figura 26. Espina de pescado para la baja resistencia de las fibras del papel



Fuente: Autor

Internal Bond – Adhesion de fibras debilitada

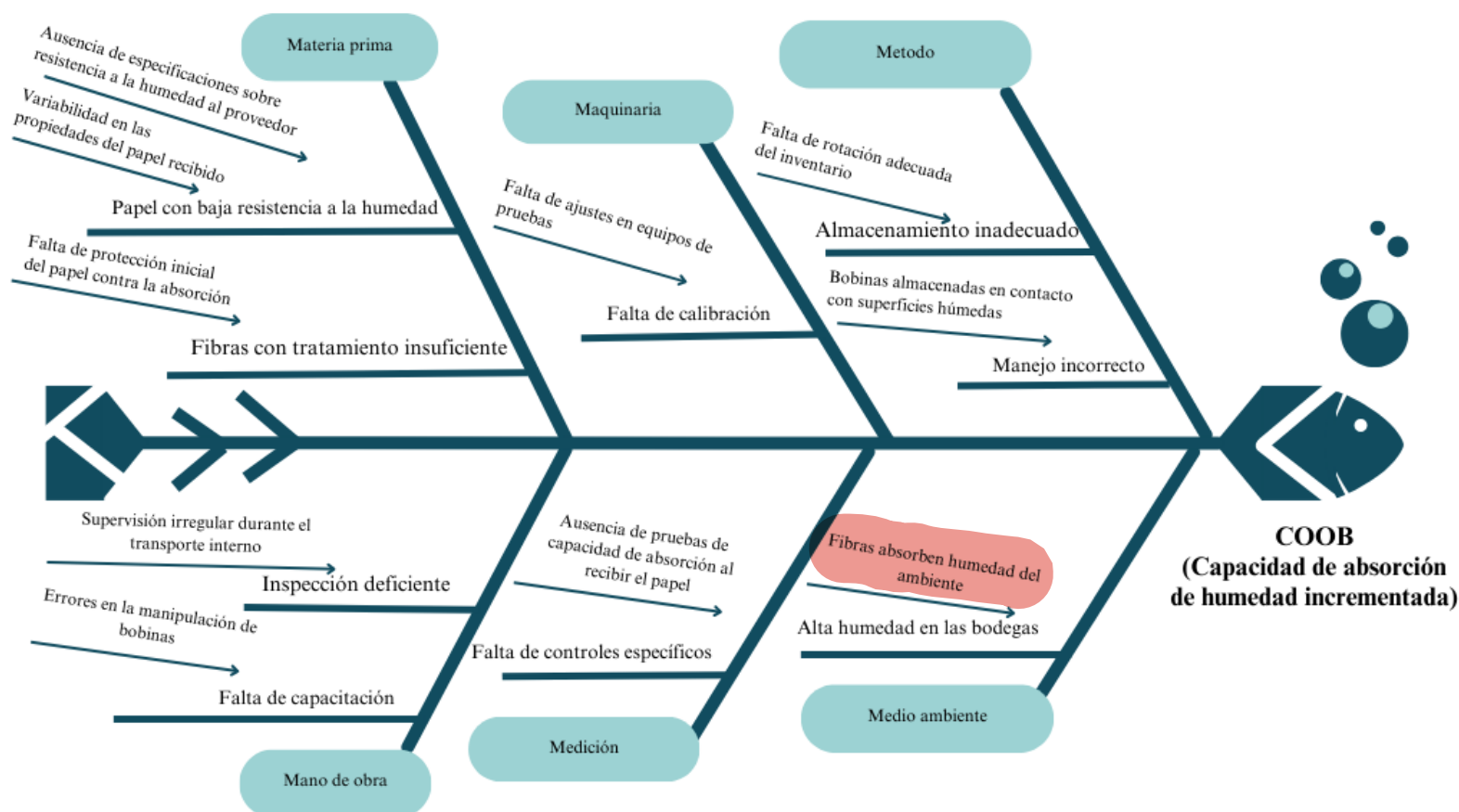
Figura 27. Espina de pescado para la adhesión interna de fibras debilitada del papel



Fuente: Autor

COOB – Capacidad de absorción de humedad aumentada

Figura 28. Espina de pescado para la capacidad de absorción de humedad aumentada del papel



Fuente: Autor

A partir del análisis realizado con el Diagrama de Ishikawa, se identificaron diversas causas potenciales que contribuirían a los defectos asociados al papel, se seleccionaron tres causas principales, cada una destacada en rojo, debido a su impacto significativo en los defectos críticos observados.

Para cada una de estas causas seleccionadas se utilizarán como la primera pregunta del método de los 5 Porqués, enfocándose en los problemas asociados con las propiedades del papel. Estas preguntas iniciales serán:

1. **¿Por qué se utilizan fibras de baja calidad?**

(Causa seleccionada: Fibras de baja calidad).

2. **¿Por qué las fibras envejecen con el paso del tiempo?**

(Causa seleccionada: Fibras envejecen con el tiempo).

3. **¿Por qué las fibras absorben humedad del ambiente?**

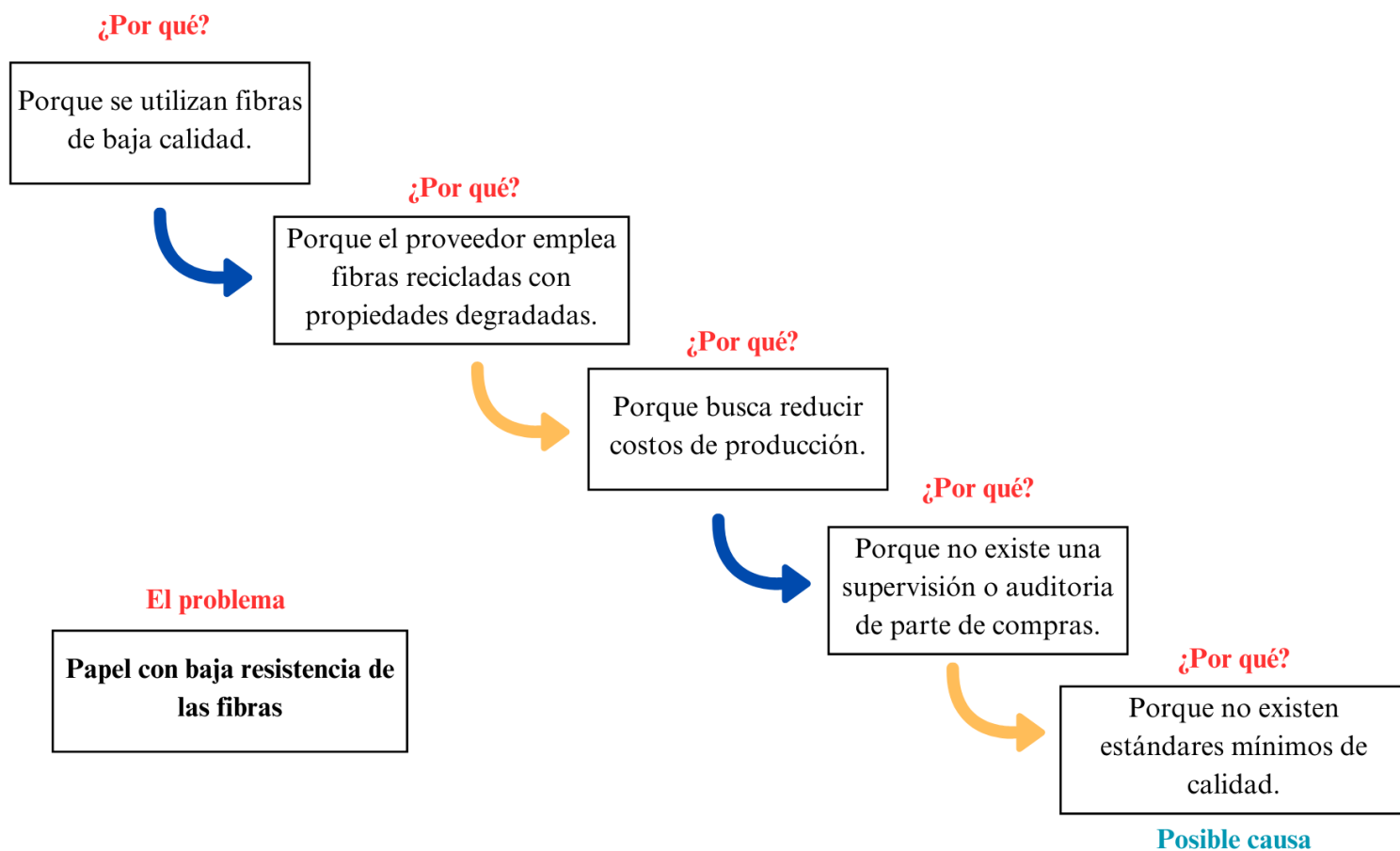
(Causa seleccionada: Fibras absorben humedad del ambiente).

Cada una de estas preguntas guiará el análisis del método de los 5 Porqués para identificar las causas raíz de los problemas asociados al papel y así establecer medidas específicas que permitan mitigar su impacto en los defectos observados en las láminas de cartón.

3.16 ANÁLISIS DE CAUSAS CON EL MÉTODO DE LOS 5 PORQUÉS

Analisis del SCT

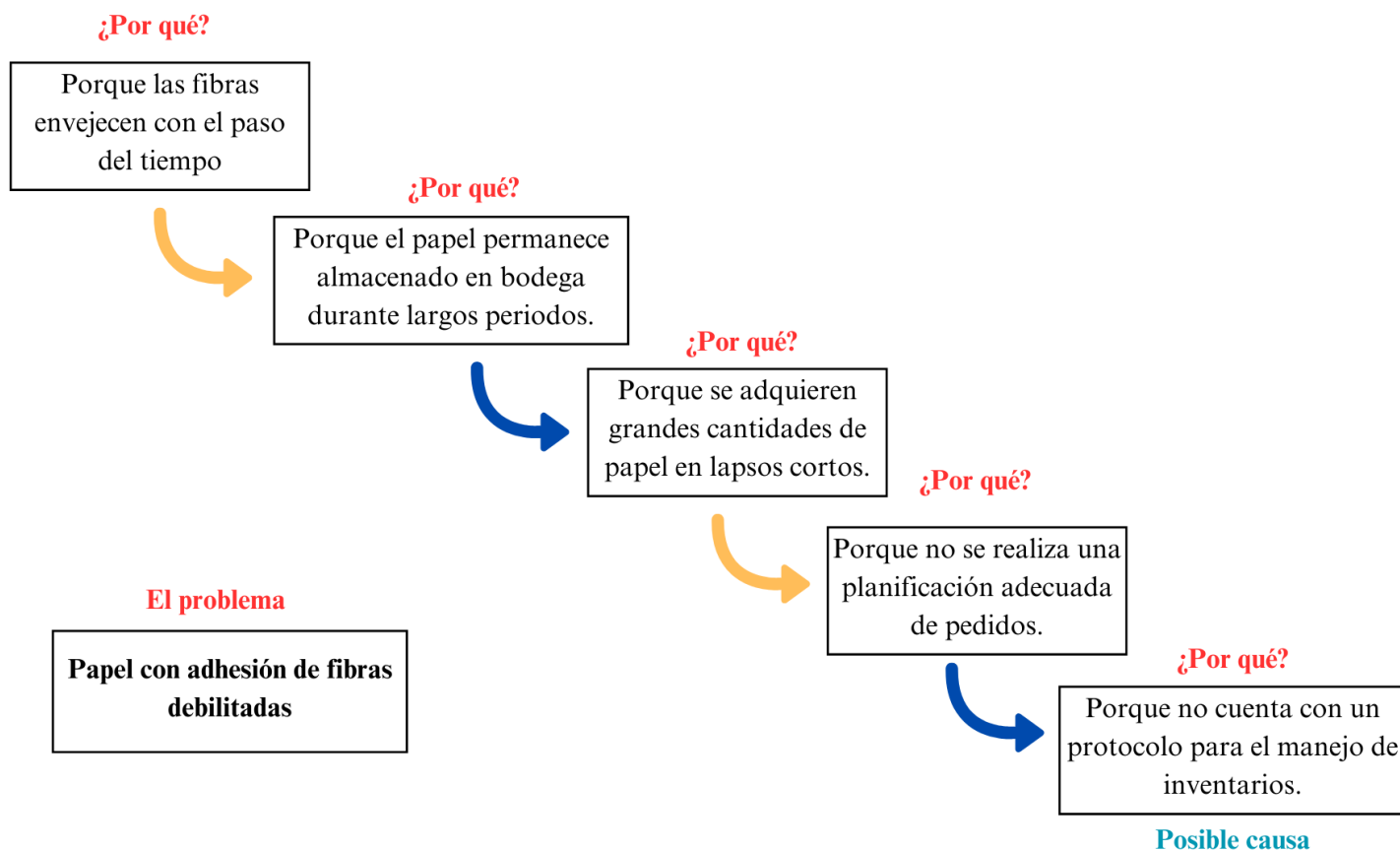
Figura 29. 5 porqués para la baja resistencia a las fibras del papel



Fuente: Autor

Analisis del Internal Bond

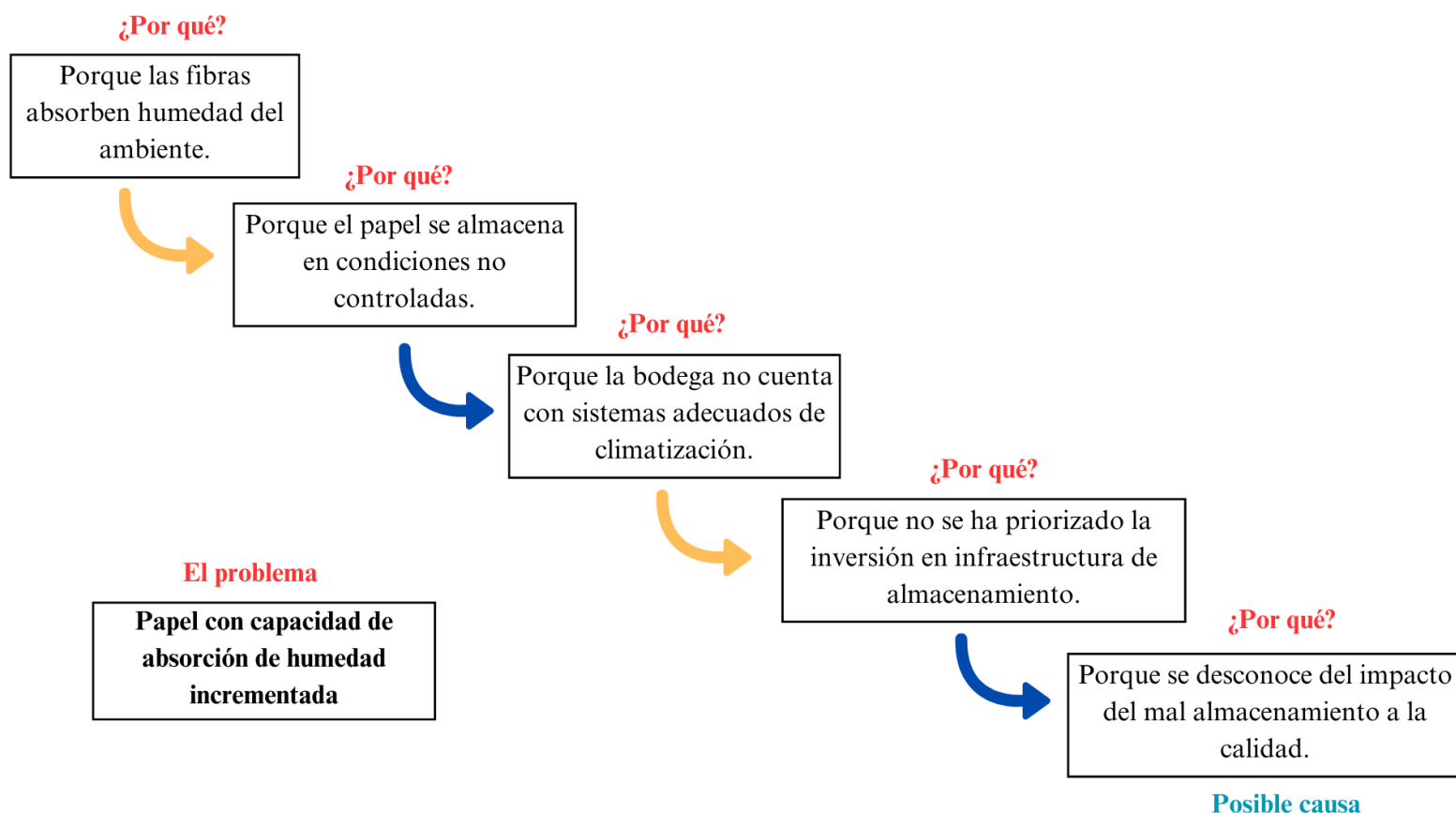
Figura 30. 5 porqués para la adhesión de fibras debilitadas del papel



Fuente: Autor

Analisis del COOB

Figura 31. 5 porqués para la capacidad de absorción de humedad incrementada del papel



Fuente: Autor

A partir del análisis realizado con el método de los 5 Porqués, se identificaron las causas raíz que contribuyen a los problemas críticos relacionados con las propiedades del papel y los defectos en las láminas de cartón.

Con base en estos resultados, se procederá a desarrollar un plan de acción enfocado en abordar cada una de las causas identificadas, este plan incluirá estrategias específicas y medidas correctivas orientadas a mitigar los problemas detectados.

3.17 PLAN DE ACCIÓN

TÍTULO DEL PROYECTO

MEJORA DE DEFECTOS EN EL PAPEL

ADMINISTRADOR DEL PROYECTO

EMPRESA CARTONERA

FECHA DE INICIO

02/03/25

FECHA DE FINALIZACIÓN

08/08/25

DURACIÓN DEL PROYECTO

en días

160

NOMBRE DE LA TAREA	ESTADO	ASIGNADA A	REDUCCIÓN DE %	FECHA DE INICIO	FECHA DE FINALIZACIÓN	DURACIÓN (días)	RESULTADOS ESPERADOS
MEJORA EN LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD	No se ha iniciado	Jefe de calidad	16%	02/03/2025	15/04/2025	45	CONTROL MEJOR A LOS PROVEEDORES
Analizar propiedades actuales de las fibras usadas y compararlas con estándares industriales para establecer requisitos mínimos de calidad.	No se ha iniciado	Inspectores de calidad	4%	02/03/2025	15/03/2025	14	Definir estándares mínimos de calidad para la selección de fibras, mejorando la resistencia del papel.
Contactar a los principales proveedores, solicitar muestras y evaluar su calidad mediante pruebas de laboratorio específicas.	No se ha iniciado	Inspectores de calidad y asistente de adquisiciones	3%	02/03/2025	28/03/2025	27	Garantizar que los proveedores seleccionados cumplan con los estándares de calidad establecidos.
Diseñar e implementar un protocolo de auditorías periódicas para garantizar la calidad de las fibras suministradas.	No se ha iniciado	Jefe de calidad	9%	15/03/2025	15/04/2025	32	Monitorear y mantener la calidad de las fibras suministradas a lo largo del tiempo.
CREAR UN PROTOCOLO DE INVENTARIOS	No se ha iniciado	Jefe de logística	7%	21/04/2025	13/06/2025	54	MEJOR MANEJO DE BODEGA
Realizar un inventario de las bobinas almacenadas y analizar el tiempo promedio de almacenamiento para identificar excesos.	No se ha iniciado	Coordinador de bodega	0%	21/04/2025	05/05/2025	15	Reducir el tiempo promedio de almacenamiento y minimizar la pérdida de resistencia interna del papel.
Revisar políticas de compra para ajustar los volúmenes adquiridos según el consumo real, reduciendo el exceso de inventarios.	No se ha iniciado	Asistente de adquisiciones	2%	05/05/2025	12/05/2025	8	Optimizar los niveles de inventario para evitar exceso y deterioro por almacenamiento prolongado.
Implementar un sistema de rotación de inventarios basado en la metodología FIFO (First In, First Out) para evitar almacenamiento prolongado.	No se ha iniciado	Gerencia de logística	5%	12/05/2025	13/06/2025	33	Asegurar que las bobinas más antiguas se utilicen primero, reduciendo el impacto en la resistencia interna.
MEJORA DE LAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO	No se ha iniciado	Gerencia de servicios generales	11%	16/06/2025	08/08/2025	54	MATERIA PRIMA EN MEJORES CONDICIONES
Realizar un análisis de las condiciones actuales de las bodegas y medir los niveles de humedad y temperatura mediante dispositivos especializados.	No se ha iniciado	Técnico de infraestructura	0%	16/06/2025	30/06/2025	15	Identificar las condiciones inadecuadas en las bodegas para corregirlas de manera inmediata.
Adquirir e instalar equipos de control ambiental como deshumidificadores y termómetros digitales en todas las áreas de almacenamiento.	No se ha iniciado	Coordinador de infraestructura	8%	01/07/2025	31/07/2025	31	Controlar los niveles de humedad y temperatura, reduciendo los defectos asociados al mal almacenamiento.
Capacitar al personal de logística y mantenimiento en la gestión de ambientes controlados y monitoreo continuo de las condiciones de almacenamiento.	No se ha iniciado	Asistente de calidad	3%	04/08/2025	08/08/2025	5	Fortalecer las competencias del personal para mantener condiciones de almacenamiento óptimas y prevenir futuros defectos.
RENDIMIENTO/MONITOREO DEL PROYECTO	No se ha iniciado		-				
Registrar semanalmente los niveles de humedad y temperatura en las bodegas para verificar su estabilidad.	No se ha iniciado	Auxiliar de bodega	-				
Comparar mensualmente la incidencia de defectos antes y después de implementar las acciones correctivas.	No se ha iniciado	Coordinador de calidad	-				
Realizar reuniones trimestrales para evaluar el cumplimiento de estándares y realizar ajustes si es necesario.	No se ha iniciado	Gerencia operativa	-				
		TOTAL	34%				

Para abordar las causas raíz identificadas, se diseñó un plan de acción estructurado en tres áreas principales: mejora en los estándares de calidad, creación de un protocolo de inventarios y mejora de las condiciones de almacenamiento. Cada acción está orientada a reducir los defectos asociados al papel, con un impacto acumulado esperado del 34% en la disminución de defectos al finalizar las tareas propuestas

El plan establece responsables, plazos y metas específicas, priorizando la mejora de las prácticas de almacenamiento, la optimización de inventarios y el control de la calidad.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

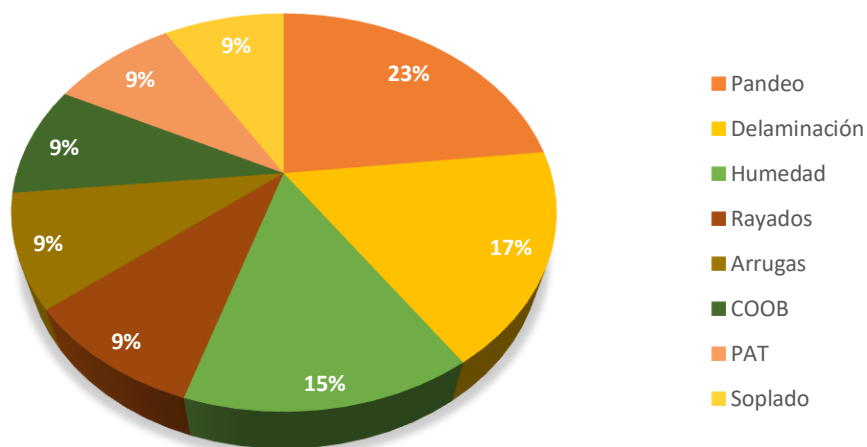
4.1 DEFECTOS CRÍTICOS

Una vez analizada la merma y evaluado su impacto tanto operativo como económico, se llevó a cabo un análisis de los defectos que la generan, utilizando el diagrama de Pareto.

Los resultados indicaron que los defectos de pandeo, delaminación y humedad son los más críticos, con una contribución acumulada del 54.91% al total de la merma anual. A continuación, se detalla su impacto:

- **Pandeo:** representó el 23.20% de la merma total, posicionándose como el defecto con mayor incidencia.
- **Delaminación:** con una contribución del 17.56%, este defecto ocupa el segundo lugar en impacto.
- **Humedad:** representó el 14.15% de la merma total, completando el grupo de defectos prioritarios.

Figura 32. *Priorización de defectos que generan la merma*

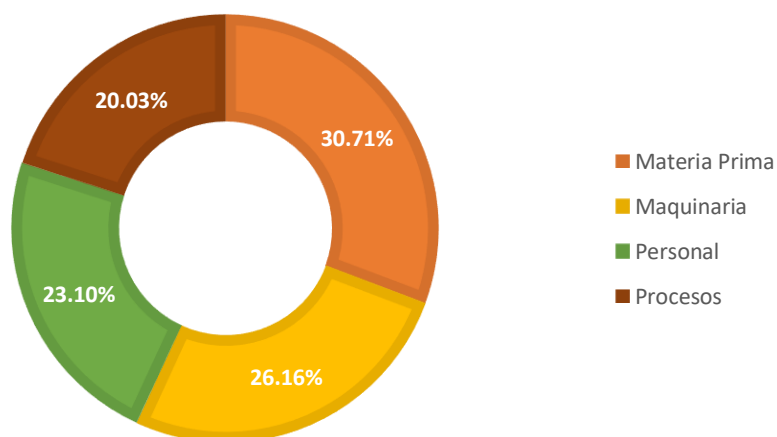


Fuente: Autor

4.2 EVALUACIÓN DE ASPECTOS QUE GENERAN LA MERMA

La matriz GUT permitió evaluar los factores que contribuyen a la merma, identificando las áreas críticas con mayor responsabilidad en los defectos. Los resultados mostraron que la materia prima con un 30,71% podría ser la principal causa.

Figura 33. *Aspectos que intervienen en la merma*



Fuente: Autor

Dado que la materia prima se proyectaba a tener mayor participación en la generación de la merma, se realizó dicho análisis de correlación entre las especificaciones del papel y los defectos críticos del papel.

4.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

Las siguientes tres propiedades fueron las que obtuvieron un mayor coeficiente de correlación durante el año, relacionándose directamente con los defectos críticos ya antes analizados.

Tabla 14. *Resumen de coeficientes de correlaciones fuertes*

Mes	Internal Bond - Delaminación	SCT - Pandeo	COOB - Humedad
Enero	-0.95	-0.76	0.78
Febrero	-0.94	-0.79	0.82
Marzo	-0.95	-0.77	0.83
Abril	-0.87	-0.87	0.77
Mayo	-0.92	-0.79	0.80
Junio	-0.91	-0.85	0.84
Julio	-0.95	-0.71	0.86
Agosto	-0.94	-0.79	0.88
Septiembre	-0.92	-0.85	0.84
Octubre	-0.93	-0.79	0.86
Noviembre	-0.96	-0.66	0.81
Diciembre	-0.93	-0.81	0.89
Promedio	-0,92	-0,75	0,84

Fuente: Autor

4.3.1 HALLAZGOS CLAVES – PROMEDIO ANUAL

- En la relación negativa significativa entre internal bond y delaminación, destaca valores promedio de $r = -0.92$; esto quiere decir que mientras más baja sea la adhesión de fibras, mayor es la posibilidad de que se presente el defecto de delaminación.
- Una correlación negativa fuerte entre SCT y pandeo, con valores promedio de $r = -0.75$; esto indica que mientras más disminuya la resistencia de las fibras, habrá más probabilidades de que aumente el defecto del pandeo.
- Una correlación positiva destacada entre COOB y humedad, con valores promedio de $r = 0.84$; explicado por la absorción de agua, mientras más agua se retenga en las fibras, mayor será la probabilidad de que se presente el defecto de la humedad

4.4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DETERMINACIÓN

El coeficiente de determinación (R^2) se utilizó para medir qué porcentaje de la variabilidad en cada defecto prioritario puede explicarse por las propiedades del papel. Los resultados permitieron identificar las propiedades con mayor impacto en cada defecto crítico.

Tabla 15. *Resumen de coeficientes de determinación*

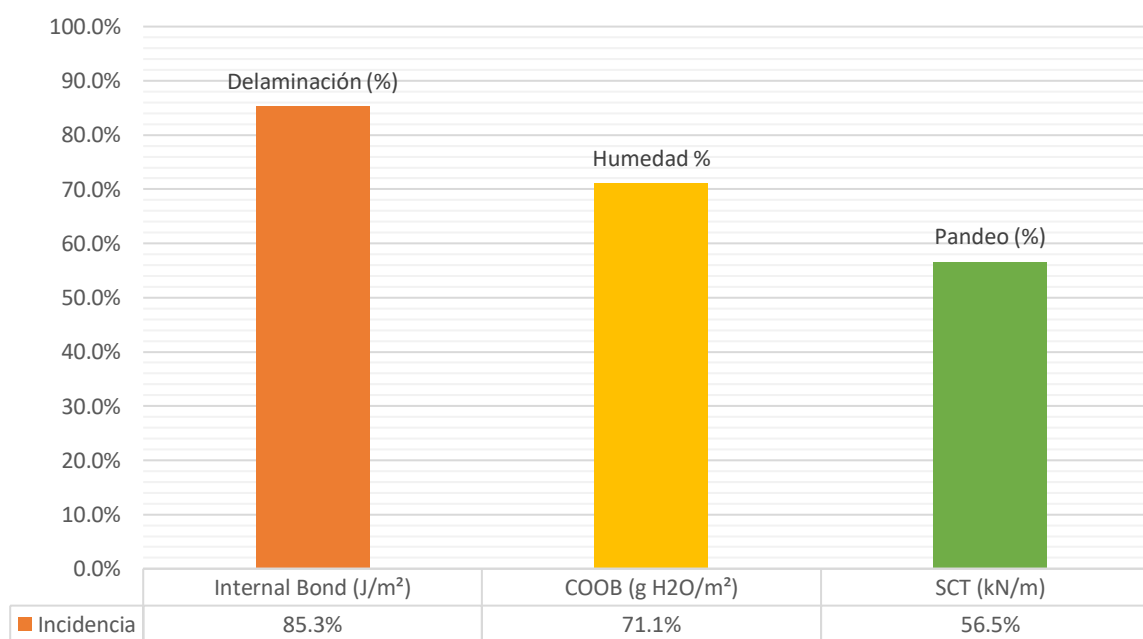
Mes	Internal Bond	SCT	COOB
Enero	87,2%	57,57%	60,25%
Febrero	88,3%	58%	67,4%
Marzo	87,5%	56,8%	68,7%
Abril	86,9%	55,9%	59,7%
Mayo	85,8%	55,5%	63,2%
Junio	85%	54,7%	70,1%
Julio	89,7%	56,5%	73,4%
Agosto	88,4%	56,8%	77,6%
Septiembre	87,9%	55,4%	83,9%

Octubre	86,6%	56,1%	71,1%
Noviembre	87,3%	43,6%	65,4%
Diciembre	86,68%	65,0%	65,4%
Promedio	85,26%	56,53%	71,05%

Fuente: Autor

- Internal Bond explicó el 85.26% de la variabilidad en delaminación.
- SCT explicó el 56.53% de la variabilidad en pandeo.
- COOB explicó el 71.05% de la variabilidad en humedad.

Figura 34. *Porcentaje de influencia de las propiedades en los defectos del cartón*



Fuente: Autor

Con base en la incidencia porcentual previamente calculada y mostrada en la gráfica, que refleja cuánto influyen las propiedades del papel (Internal Bond, COOB y SCT) en los defectos críticos (Delaminación, Humedad y Pandeo), se procederá a calcular el impacto de dichos defectos en términos de kilogramos. Este análisis permitirá cuantificar de manera precisa la merma generada por la materia prima, ya posicionándose como un factor clave debido a los altos porcentajes de incidencia reflejados.

Tabla 16. Merma en kg asociada al porcentaje correspondiente de incidencia del papel según lo calculado con el coeficiente de determinación

Mes	Delaminacion en 2024	Merma asociada 85%	Humedad en 2024	Merma asociada 71%	Pandeo en 2024	Merma asociada 57%
Enero	615,36	523,05	435,74	309,37	925,08	527,30
Febrero	661,92	562,63	563,75	400,26	953,52	543,51
Marzo	692,06	588,25	542,08	384,87	929,37	529,74
Abril	691,18	587,51	535,31	380,07	981,22	559,29
Mayo	678,37	576,61	481,68	342,00	924,54	526,99
Junio	663,11	563,64	511,54	363,19	880,23	501,73
Julio	815,37	693,06	721,97	512,60	1015,25	578,69
Agosto	829,11	704,75	743,81	528,10	1012,01	576,85
Septiembre	687,35	584,25	558,93	396,84	925,87	527,74
Octubre	811,58	689,84	747,46	530,70	1009,81	575,59
Noviembre	809,15	687,77	723,05	513,36	1112,74	634,26
Diciembre	917,41	779,80	813,28	577,43	1224,02	697,69
Total	8871,97	7541,17	7378,57	5238,79	11893,65	6779,38
Promedio	739,331	628,431	614,881	436,565	991,138	564,949

Fuente: Autor

4.5 RESULTADOS DE HERRAMIENTAS CAUSAS RAÍZ

4.5.1 RESULTADOS DIAGRAMA DE ISHIKAWA

El análisis de los diagramas de Ishikawa permitió identificar las posibles causas asociadas a las propiedades del papel, esto sirvió como herramienta inicial para organizar y clasificar las causas potenciales.

A partir de los diagramas, se seleccionaron tres causas principales, que se consideraron representativas para cada caso. Estas causas fueron posteriormente analizadas con el método de los 5 Porqués, con el objetivo de llegar a las causas raíz. Las posibles causas seleccionadas son:

- **Fibras de baja calidad (Internal Bond - Adhesión interna debilitada):**

Identificada como la causa que afecta la adhesión interna del papel. Este problema está relacionado con inconsistencias en la materia prima recibida, lo que provoca defectos como la delaminación.

- **Fibras envejecen con el paso del tiempo (SCT - Baja resistencia de las fibras):**

Seleccionada como una causa vinculada a la resistencia de las fibras. Este problema surge del almacenamiento prolongado del papel sin ser utilizado, lo que provoca el deterioro de las fibras con el paso del tiempo. Esto no se debe a la naturaleza del papel, sino a la falta de rotación oportuna en su uso, generando defectos como el pandeo.

- **Fibras absorben humedad del ambiente (COOB - Capacidad de absorción incrementada):**

Identificada como una causa clave que incrementa la capacidad de absorción del papel. Este incremento se observa al momento de su uso o durante las pruebas realizadas tras su almacenamiento en la bodega. Este comportamiento no se debe a la naturaleza intrínseca del

papel, sino a la exposición prolongada a altos niveles de humedad ambiental, lo que contribuye a defectos relacionados con la humedad.

4.5.2 RESULTADOS DE 5 PORQUÉS

El análisis con el método de los 5 Porqués permitió identificar las causas raíz de los problemas críticos relacionados con las propiedades del papel, los cuales generan defectos en las láminas de cartón. A continuación, se presentan las causas raíz identificadas para cada problema:

- **SCT (Papel con baja resistencia de las fibras):**

La causa raíz identificada es la ausencia de estándares mínimos de calidad en los procesos de adquisición, lo que permite el uso de fibras recicladas con propiedades degradadas por parte de los proveedores.

- **Internal Bond (Papel con adhesión de fibras debilitadas):**

Se determinó que la causa raíz es la falta de un protocolo para el manejo de inventarios, lo que genera almacenamiento prolongado del papel en bodega, causando el envejecimiento de las fibras.

- **COOB (Papel con capacidad de absorción de humedad incrementada):**

La causa raíz identificada es la carencia de infraestructura adecuada en las bodegas, como sistemas de climatización, lo que expone al papel a condiciones ambientales no controladas que incrementan su capacidad de absorción de humedad.

4.6 RESUMEN DE PROPUESTAS DE MITIGACIÓN

Tabla 17. *Resumen de propuestas de mitigación*

Defecto Asociado	Causa Raíz	Acción Correctiva Propuesta	Efecto Esperado
Pandeo	Fibras de baja calidad por parte de proveedores	Definir especificaciones técnicas claras para las fibras y realizar pruebas de calidad internas. Optimizar la selección de proveedores con estándares de calidad estrictos y auditorías periódicas.	Aumento en la calidad de las fibras utilizadas y disminución del defecto de pandeo.
Delaminación	Almacenamiento prolongado de bobinas en bodega	Implementar un sistema de gestión de inventarios eficiente y políticas de rotación FIFO. Establecer un sistema de compras ajustado a la demanda para reducir el tiempo de almacenamiento.	Reducción de la incidencia de delaminación y mejora en la resistencia interna del papel.
Humedad	Ambiente inadecuado en las bodegas (alta humedad relativa)	Capacitar al personal en prácticas adecuadas de almacenamiento y manejo de materiales sensibles. Implementar sistemas de monitoreo y deshumificadores Controlar y monitorear el ambiente en las bodegas mediante sensores de humedad	Reducción de defectos relacionados con humedad y mejora en la estabilidad dimensional del cartón.

Fuente: Autor

4.7 IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN

El plan de acción desarrollado en la parte metodológica tiene como objetivo abordar las principales causas raíz identificadas durante el análisis, con un enfoque en la reducción efectiva de los defectos asociados a las propiedades del papel. Para ello, las tareas se han dividido en tres áreas clave: mejora en los estándares de calidad, creación de un protocolo de inventarios y mejora de las condiciones de almacenamiento, complementadas con un proceso de monitoreo y evaluación del proyecto.

Se han definido porcentajes específicos de reducción para cada área de trabajo, con un impacto acumulado esperado del 34% en la disminución de defectos al finalizar el proyecto.

Entre las áreas más destacadas:

1. **Mejora en los estándares de calidad:** Se espera una reducción del 16% en los defectos, enfocándose en garantizar que los proveedores cumplan con estándares mínimos de calidad para el papel suministrado. Esto incluye la supervisión continua de la calidad de las fibras y la mejora en los procesos de selección de materia prima.
2. **Creación de un protocolo de inventarios:** Con un impacto esperado del 7%, esta iniciativa tiene como objetivo optimizar los tiempos de almacenamiento, reducir el deterioro de las fibras debido a tiempos prolongados y evitar excesos de inventario que puedan comprometer la calidad del papel.
3. **Mejora de las condiciones de almacenamiento:** Esta área busca una reducción del 11%, asegurando que las bobinas de papel se almacenen en condiciones controladas de temperatura y humedad. Además, se implementarán medidas para corregir las condiciones inadecuadas actuales y prevenir futuras incidencias.

4.8 RESULTADOS ESPERADOS

4.8.1 REDUCCIÓN DE MERMA

En el año de 2024 el promedio de merma mensual fue de 1,13%, esto represento un total de 51.256,127 kg en el año generado por todos los efectos que se presentaron en las láminas, el impacto generado por los defectos como delaminación, pandeo y humedad fue de 28.144,19.

Tabla 18. *Distribución de la merma en sus causas*

DEFECTOS	MERMA	PROPIEDADES	INCIDENCIA	MERMA ASOCIADA
Pandeo	11.893,65	Pandeo	57%	6.779,38
Delaminación	8.871,97	Internal Bond	85%	7.541,17
Humedad	7.378,57	Coob	71%	5.238,79
TOTAL	28.144,19		TOTAL	19.559,34

Fuente: Autor

Los 19.559,34 kg de merma se deben a la variabilidad de las 3 propiedades, es decir, esto representa el 38,16% de la merma asociada a la merma total. Con las propuestas de mitigación, se espera reducir un 34% de la merma asociada a las características del papel que generan los defectos críticos que causan este gran porcentaje de la merma.

$$\frac{19.559,34 \text{ kg}}{51.256,127 \text{ kg}} = 0,3816 \times 100 = 38,16\%$$

Se realizarán los siguientes cálculos, teniendo los siguientes datos:

- **Merma total:** 51.256,127 kg
- **Defectos asociados a las tres propiedades:** 19.559,34 kg
- **Porcentaje actual de merma:** 1,13%
- **Reducción esperada a la merma asociada:** 34%

reducción total en defectos = defectos asociados $\times$ reducción esperada

$$\text{reducción total en defectos} = 19.559,34 \times 0.34 = 6.650,17 \text{ kg}$$

nueva merma total = merma total - reducción total en defectos $\times$ reducción esperada

$$\text{nueva merma total} = 51.256,127 - 6.650,17 = 44.605,95 \text{ kg}$$

$$\text{Reducción en porcentaje} = \left(\frac{\text{Reducción total en defectos}}{\text{Merma total}} \right) \times \text{Porcentaje actual de merma}$$

$$\text{reducción de porcentaje} = \frac{6.650,17}{51.256,127} \times 0,0113 = 0,00146 = 0,146\%$$

$$\text{porcentaje de merma esperado} = 1,13\% - 0,146\%$$

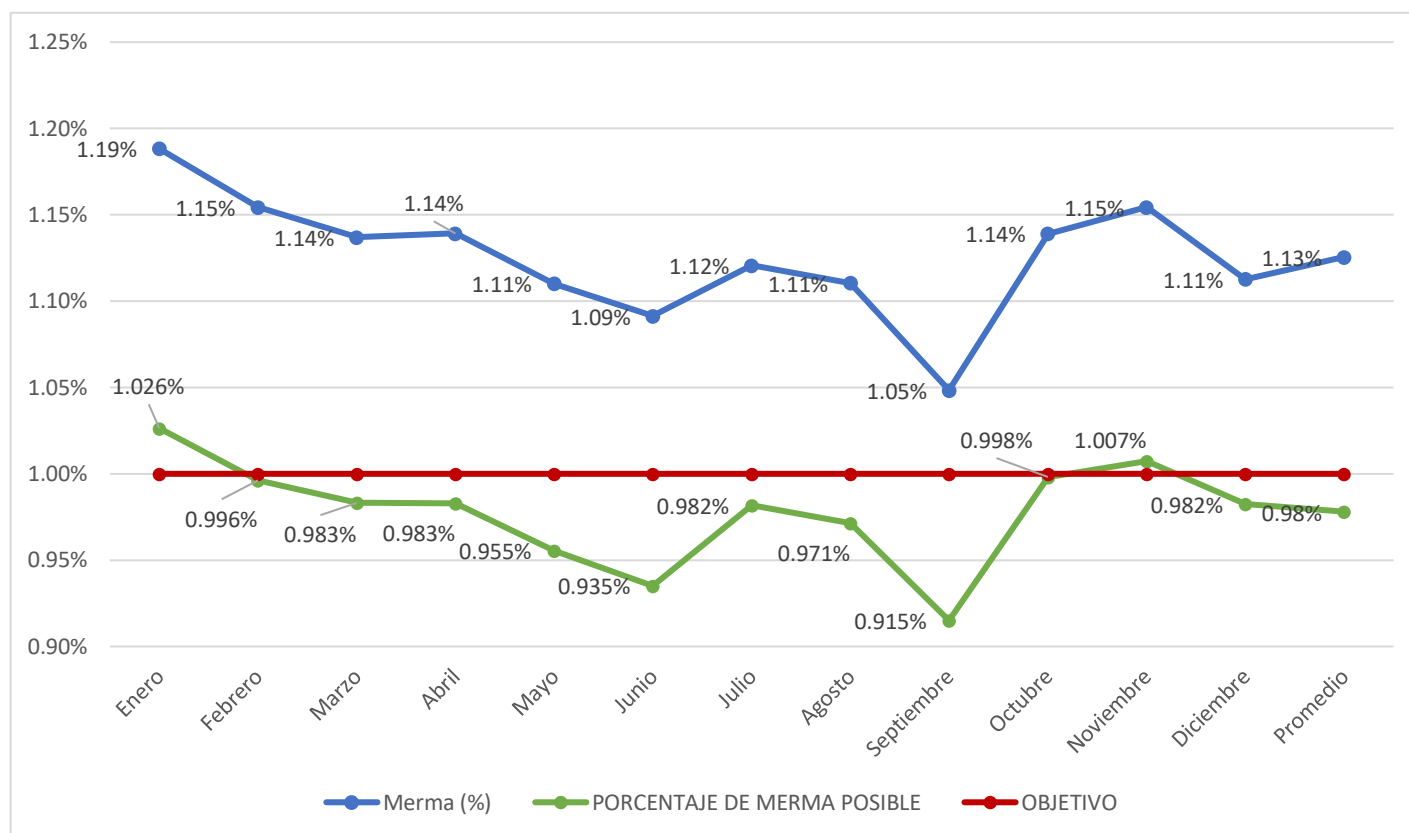
$$\text{porcentaje de merma esperado anual} = 0,98\%$$

A continuación, más a detalle se presentan los datos del 2024 y un escenario posible de cómo pudo haber sido ese mismo año, si se hubieran tomado las medidas correctivas a tiempo.

Tabla 19. *Escenario posible del 2024 con medidas implementadas*

Mes	Merma del 2024 (Kg)	Merma alternativa del 2024 (Kg)
Enero	3.393,81	2.931,50
Febrero	3.738,86	3.226,68
Marzo	3.777,59	3.266,62
Abril	3.780,89	3.261,76
Mayo	3.526,87	3.035,37
Junio	3.393,21	2.907,50
Julio	4.901,16	4.294,48
Agosto	4.915,26	4.299,96
Septiembre	4.033,00	3.520,00
Octubre	4.936,14	4.325,46
Noviembre	4.897,40	4.273,37
Diciembre	5.961,93	5.263,26
Total	51.256,13	44.605,95
Promedio	4.271,34	3.717,16

Fuente: Autor

Figura 35. Porcentajes de la merma, del 2024 vs escenario posible del 2024

La merma proyectada habría iniciado con un 1.026% en enero y mostrado una tendencia constante a la baja, alcanzando su punto más bajo en septiembre con un 0.915%. En promedio, este escenario habría permitido mantener la merma en un 0.98%, acercándose al objetivo planteado del 1% (línea roja). Esto contrasta con la línea azul, que representa los valores reales de la merma del 2024, los cuales superaron consistentemente el 1%, con un promedio anual de 1.13%.

Este análisis destaca que, con las medidas adecuadas, el 2024 pudo haber registrado una merma mucho más controlada, especialmente en los meses más críticos. Además, estas proyecciones sirven como una base para evaluar lo que podría lograrse en el 2025 tras la implementación de las propuestas del plan de acción. Si estas estrategias se aplican de manera

efectiva, se espera que la merma real del 2025 se acerque a los valores estimados en este escenario (línea verde), con un promedio anual cercano al 0.98%, logrando estabilizar los procesos productivos y alcanzar el objetivo del 1%. Esto permitiría reducir los picos más altos observados en años anteriores y mantener una merma más controlada y consistente.

4.8.2 REDUCCIONES DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS

Las pérdidas económicas debido a la merma fueron de \$29.228,06; esto debido al coste de la lámina y a su reproceso.

Debido a que la mitigación de las 3 propiedades: Internal Bond, COOB, SCT representan el 38,16% de la merma total, se calcula dicha pérdida económica a la cual se espera reducir un 34%.

$$\$29.228,06 \times 0.3816 = \$11.153,43$$

Se procede a realizar los siguientes cálculos:

reducción de pérdidas económicas = gasto total por merma $\times$ reducción porcentual de merma

$$\text{reducción de pérdidas económicas} = 11.153,43 \times 0.34 = \$3.792,17$$

$$\text{pérdidas económicas} = 29.228,06 - 3.792,17 = \$25.495,89$$

Se proyecta ahorrar **\$3.792,17** anuales en pérdidas por la producción de merma asociada a dichas características del papel.

CRONOGRAMA

Tabla 20. *Cronograma de actividades*

Etap	Semanas			Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre				Enero				
	Inicio	Duración	Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Fase 1	1	1	Formulación del problema, objetivos y justificación del estudio																		
	2	2	Revisión y desarrollo del marco teórico																		
	3	2	Definición del diseño de investigación y métodos de recolección de datos																		
Fase 2	5	1	Recopilación de datos para el análisis cuantitativo																		
	6	3	Análisis de correlaciones y determinación																		
	9	1	Interpretación de los resultados obtenidos en el análisis de correlación.																		
Fase 3	10	2	Desarrollo del análisis cualitativo																		
	12	1	Revisión y ajustes según observaciones del tutor.																		
Fase 4	13	1	Diseño de las propuestas de mitigación																		
	14	2	Elaboración del capítulo de resultados y discusión.																		
	18	2	Preparación de conclusiones y recomendaciones finales.																		
	20	1	Validación de consistencia en datos y análisis																		
	21	2	Revisión y corrección del trabajo																		
Fase 5	23	1	Entrega de trabajo final																		

Fuente: Autor

PRESUPUESTO

Tabla 21. *Presupuesto de propuestas del plan de acción*

Descripción	Categoría	Cantidad	Precio	Monto
Compra de software para gestión de inventarios con soporte anual	Personal	1	\$ 500,00	\$ 500,00
Capacitación técnica del personal en uso del software	Personal	2	\$ 150,00	\$ 300,00
Rediseño de layout en bodega	Software y herramientas	1	\$ 800,00	\$ 800,00
Capacitación del personal de calidad en auditorias	Personal	4	\$ 125,00	\$ 500,00
Revisión y certificación técnica de proveedores de papel	Personal	1	\$ 300,00	\$ 300,00
Desarrollo e impresión de manuales de calidad y protocolos	Personal	1	\$ 300,00	\$ 300,00
Adquisición de deshumidificadores industriales	Materiales y equipos	2	\$ 850,00	\$ 1.700,00
Sensores digitales para monitoreo continuo en bodega	Materiales y equipos	4	\$ 250,00	\$ 1.000,00
Mantenimiento preventivo del equipo de deshumidificación (anual)	Materiales y equipos	1	\$ 400,00	\$ 400,00
Fondo adicional para ajustes	Presupuesto	1	\$ 700,00	\$ 700,00
			Total costos	\$ 6.500,00

Fuente: Autor

CONCLUSIONES

El análisis realizado confirmó que el papel tiene una alta incidencia en la generación de defectos críticos en las láminas de cartón, estableciéndose como el principal responsable. Con base en el Diagrama de Pareto, se analizaron tres defectos principales: delaminación, pandeo y humedad. A través de herramientas estadísticas, se determinó que las propiedades del papel, como Internal Bond, SCT y COOB, representan aproximadamente el 38.16% de la merma total. Internal Bond mostró una correlación negativa fuerte con la delaminación (-0.92), explicando el 85.3% de su variabilidad, mientras que SCT presentó una correlación de -0.75 con el pandeo, explicando el 56.5%, y COOB una correlación positiva de 0.84 con la humedad, explicando el 71.1%. Estos resultados destacan la relación directa y significativa entre las propiedades del papel y los defectos críticos.

El análisis con herramientas cualitativas, como el diagrama de Ishikawa y el método de los 5 porqués, permitió identificar las principales causas de los defectos críticos en las láminas de cartón. Entre los hallazgos más relevantes, se determinó que la falta de estándares mínimos en la calidad del papel, el almacenamiento prolongado sin rotación adecuada y las condiciones ambientales no controladas fueron las principales causas raíz de los defectos.

A partir de estos hallazgos, se diseñaron propuestas de mitigación enfocadas en solucionar estas problemáticas. Estas estrategias incluyen la optimización de la selección de proveedores mediante auditorías y estándares técnicos claros, la implementación de un sistema de gestión de inventarios con políticas de rotación FIFO, y la instalación de equipos de control ambiental como deshumidificadores en las áreas de almacenamiento.

Los resultados esperados de la implementación de estas estrategias incluyen una reducción potencial de la merma asociada a las características del papel del estudio en un 34%, reduciendo 6.650,17 kg de merma correspondiente al mejor control del papel; el porcentaje promedio de merma mensual de 1.13% en un 0.15%, es decir 0.98% con lo que se cumpliría con el objetivo propuesto del 1%; además representa un ahorro económico estimado de \$3.792,17 en el costo anual de producción, además de una mejora significativa en la calidad de las láminas de cartón.

RECOMENDACIONES

Con base en los hallazgos y estrategias propuestas, se recomienda continuar con el monitoreo constante de las propiedades del papel mediante auditorías periódicas y análisis estadísticos, asegurando que los estándares de calidad establecidos se mantengan y actualicen según sea necesario, así como ampliar el enfoque hacia otras áreas críticas del proceso productivo, como la maquinaria y los métodos operativos, con el objetivo de identificar y corregir otros factores que puedan contribuir a la merma.

También es importante establecer un sistema de mejora continua que incluya indicadores clave de desempeño (KPIs) para medir el impacto de las estrategias implementadas, además de realizar ajustes en función de los resultados que se obtendrían.

Asimismo, se debe promover la capacitación del personal en temas de gestión de calidad y buenas prácticas operativas, para garantizar la sostenibilidad de las mejoras implementadas y fomentar una cultura organizacional enfocada en la excelencia. Desarrollar alianzas estratégicas con proveedores para garantizar el cumplimiento de los estándares establecidos resulta fundamental, promoviendo la comunicación y el compromiso mutuo hacia la mejora de la calidad. Finalmente, se sugiere evaluar periódicamente el impacto económico y operativo de las estrategias implementadas, asegurando un balance positivo entre costos y beneficios para la empresa.

Este proyecto establece una base para futuras investigaciones en la industria cartonera, promoviendo la competitividad, al garantizar productos de mejor calidad. La implementación de las estrategias propuestas proyecta un impacto positivo en costos, competitividad y eficiencia empresarial.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Banco Central del Ecuador. (2022). Informe de la evolución de la economía ecuatoriana en 2021 y perspectivas para 2022. Obtenido de:

https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Administracion/EvolEconEcu_2021pers2022.pdf

Guevara Fiallo, E. M. (2021). Análisis de la industria papelera nacional y su impacto en el desarrollo socio-económico del cantón CMM. Universidad Agraria del Ecuador. Obtenido de: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/GUEVARA%20FIALLO%20ELENA%20MARGARITA.pdf>

Productora Cartonera S.A. (2021). Presentación del proyecto CO-LABORA para el impulso del reciclaje del papel y cartón. Obtenido de:

<https://procarsa.com.ec/comunicacion/presentacion-del-proyecto-co-labora-para-el-impulso-del-reciclaje-del-papel-y-carton/>

Vistazo. (2022). Las empresas alinean sus acciones hacia el cuidado del ambiente. Obtenido de: <https://www.vistazo.com/enfoque/las-empresas-alinean-sus-acciones-hacia-el-cuidado-del-ambiente-EA1277710>

El Universo. (2024). Industria cartonera, en alerta por alza de costos internacionales, advierte un inminente incremento de precios a sus clientes. Obtenido de:

<https://www.eluniverso.com/noticias/economia/industria-cartonera-en-alerta-por-alza-de-costos-internacionales-advierde-una-inminente-incremento-de-precios-a-sus-clientes-nota/>

Asociación de Industriales del Cartón y Papel del Ecuador (2020). Informe anual del sector cartonero. Quito, Ecuador.

Corporación Financiera Nacional (CFN). (2021). Ficha sectorial: Productos de papel (2.º trimestre). Obtenido de: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2021/fichas-sectoriales-2-trimestre/Ficha-Sectorial-Productos-de-papel.pdf>

Corporación Mucho Mejor Ecuador. (2022). ¿Por qué son tan importantes las industrias de cartón, papel y plástico para Ecuador? Obtenido de: <https://muchomejorecuador.org.ec/porque-son-tan-importantes-las-industrias-de-carton-papel-y-plastico-para-ecuador/>

Jiménez, J. & Acuña, H. (2014). Aplicación de producción más limpia en el proceso de microcorrugado en una industria gráfica. Escuela Politecnica Nacional. Obrenido de: <https://1library.co/document/q7w4r7dz-aplicacion-produccion-limpia-proceso-microcorrugado-industria-grafica.html>

Soroka, W. (2014). Fundamentals of Packaging Technology (5th ed.). Institute of Packaging Professionals.

Jimeno León, A. A. (s. f.). Capítulo 2: Revisión de literatura. Obtenido de: https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/jimeno_l_aa/capitulo2.pdf

Pipo, W. (2020). Propiedades de los materiales y equipos utilizados en la industria papelera. Corporacion Universitaria Iberoamericana. Obtenido de: <https://www.docsity.com/es/docs/propiedades-de-los-materiales-y-equipos-utilizados-en-la-industria-papelera/9321333/>

Corredor, C. & Mendez, W. (2015). Análisis del ciclo de vida de empaques de cartón plegadizo fabricados en Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido

de: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/16511/CorredorMontesCarlosMauricio2015.pdf?sequence=1>

Gómez Casero, G. (2018). Impacto ambiental del papel reciclado y ecológico: Una revisión crítica. *Espacio Tiempo y Forma. Serie VI*. Obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6405830.pdf>

Silva, I. (2015). *Industrias del papel*. Universidad Santiago del Estero. Obtenido de: <https://fcf.unse.edu.ar/wp-content/uploads/2015/10/Industrias-del-Papel.pdf>

ASPapel. (s. f.). Química y aditivos en la fabricación de papel. Recuperado de https://www.aspapel.es/sites/default/files/adjuntos/doc_562_quimica_y_aditivos.pdf

Vergara Cañas, C. (2021). Desarrollo de un modelo de cálculo para la predicción de la resistencia a la compresión de una lámina de cartón corrugado tomando como base las propiedades mecánicas del papel. Universidad de Antioquia. Obtenido de: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/21592/1/VergaraCristian_2021_ResistenciaCompresiónCartón.pdf

Turrado, José, Saucedo, Alma R, Ramos, Juan, & Reynoso, Maria L. (2008). Comportamiento de la Fibra de Celulosa Reciclada en el Proceso de Hidratación. *Información tecnológica*, 19(5), 129-136. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642008000500014>

Martinez, I. (2023). Cartón corrugado: Pruebas a producto terminado. Instituto Politecnico Nacional de Azcapotzalco. Obtenido de: <https://1library.co/document/zgw5jxg8-cartón-corrugado-pruebas-a-producto-terminado.html>

Polit, P. (2021). Propuesta de mejora para la gestión de calidad en el proceso de producción de cartón corrugado. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Obtenido de: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52586/1/T-88984%20Polit%20Suárez%2C%20Paül.pdf>

Plata Martínez, L. (2021). Evaluación del cartón corrugado por medio de la prueba Edge Crush Test (ECT). Universidad de Antioquia. Obtenido de: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/23457/1/PlataLaura_2021_EvaluaciónCartónECT.pdf

Carbone, J. T. (2001). Manual de defectos/remedios en la corrugación (6ª ed.). TAPPI Press. Obtenido de: <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/01/RCD/0101R153CDS.aspx>

De Sousa, R. R., & Dos Ramos, K. R. (2008). Proceso de elaboración del papel reciclado: Diseño y evaluación de sus propiedades físicas y mecánicas. Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela, 23(4), 13-24. Obtenido de: https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-48212008000400003&script=sci_arttext

García-Sánchez, J., Martínez-Galván, D. F., & Morales-Bautista, J. P. (2022). Uso de desechos agrícolas en la producción de papel: Una revisión. Revista Mexicana de Ingeniería Química. Obtenido de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-57052022000100217&script=sci_arttext

Montgomery, D. C. (2017). Design and Analysis of Experiments (9th ed.). Wiley. Obtenido de: <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=Py7bDgAAQBAJ>

ANEXOS

Anexo 1: Lotes de láminas rechazadas



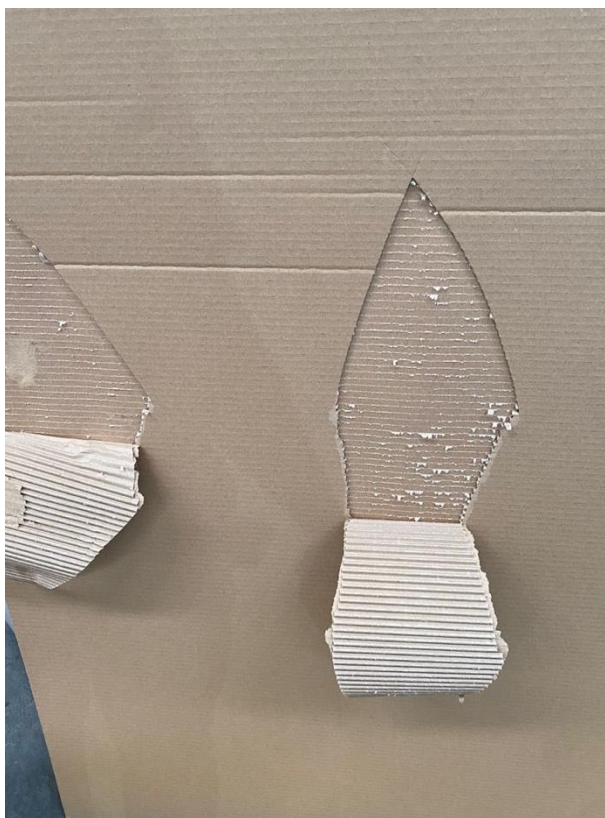
Fuente: Autor





Fuente: Autor

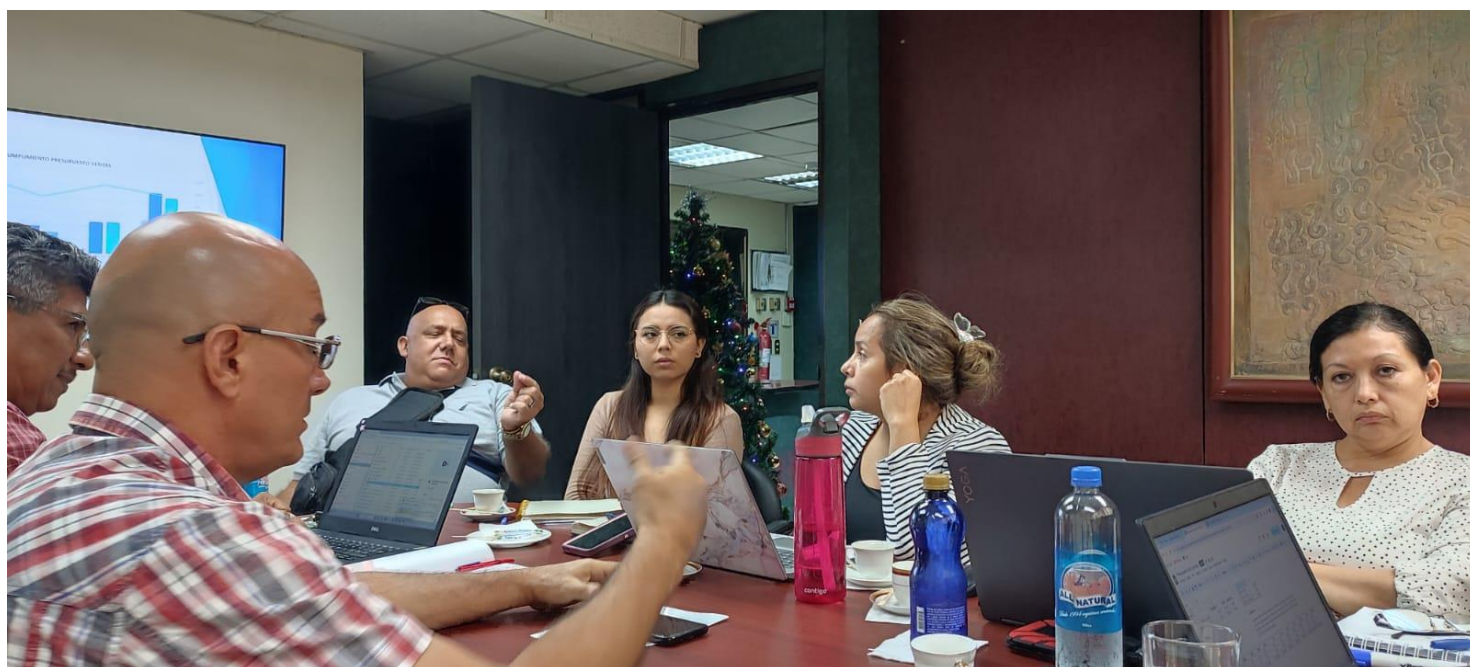
Anexo 2: *Defectos comunes en láminas*





Fuente: Autor

Anexo 3: *Reuniones para evaluación de factores y causas*



Fuente: Autor

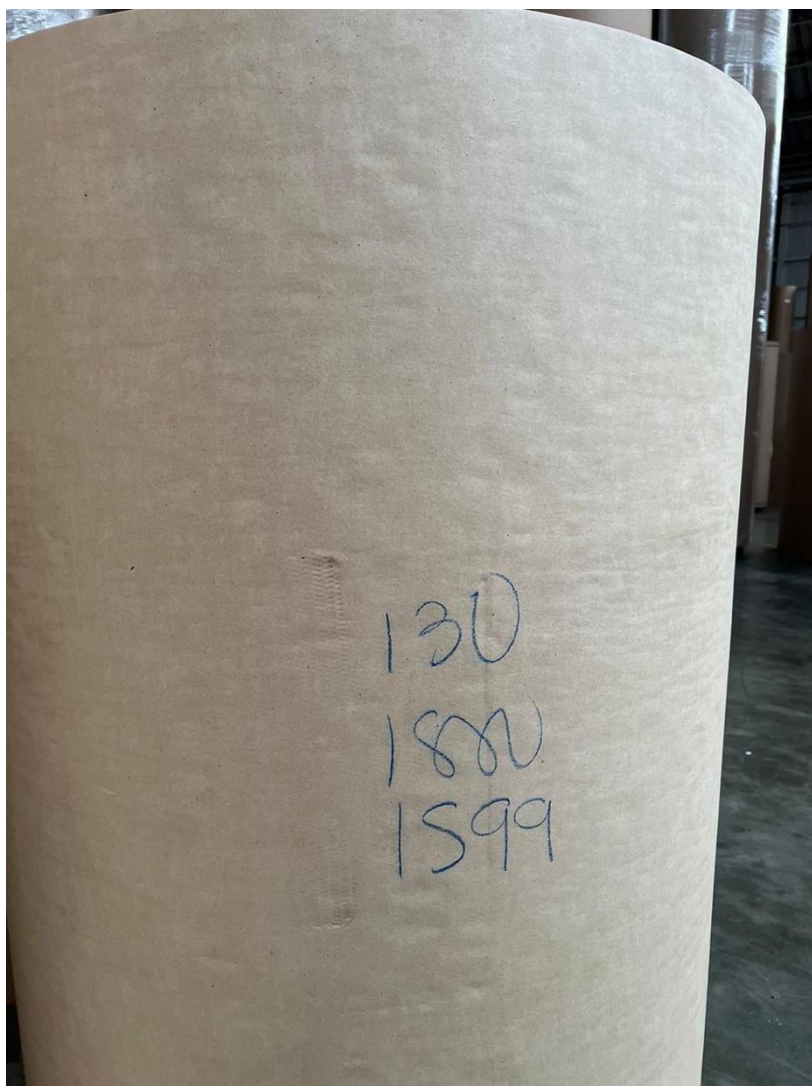
Anexo 4: *Bodega con bobinas agrumadas*



Fuente: Autor



Anexo 5: *Bobinas de papel en mal estado*



Fuente: Autor