



REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO
S.A.S. MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Presentado por:

Nicolás Guerrero Arango

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero de Materiales

Asesora interna:

Carmiña Gartner Vargas, Doctora (PhD) en Ciencias Químicas

Asesor externo:

Gerardo Andrés Cardona Ochoa, Ingeniero de Materiales

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería de Materiales
Medellín, Antioquia, Colombia
2024

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Cita	(Nicolás Guerrero Arango, 2024)
Referencia	Guerrero Arango, N. (2024). Reducción de riesgos y mejora de la calidad en el proceso de laminación de ALICO S.A.S, mediante análisis de modos y efectos de falla (AMEF), Informe de práctica, Ingeniería de Materiales, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano: Julio César Saldarriaga.

Jefe departamento: Francisco Javier Herrera Builes.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. El autor asume la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mis padres, Ilda Milena Arango Rodríguez y Carlos Rolando Guerrero Arenas, porque, este logro es gracias a su amor, sacrificio y constante apoyo. Vuestra fuerza y dedicación han sido mi guía en momentos difíciles. Este Informe de prácticas es un tributo a su inquebrantable apoyo.

Gracias por todo.

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera agradecer a mi familia, porque su apoyo y amor incondicional hicieron más llevadero este proceso. A la docente Carmiña Gartner Vargas por transmitirme todo su conocimiento, sin su experiencia y asesoría esto no hubiera sido posible. También, a los ingenieros Gerardo Andrés Cardona Ochoa y Catalina Vera Londoño, quienes me guiaron y capacitaron a lo largo del semestre de industria. Finalmente, a mí, que he superado cada etapa del programa académico lejos de mi ciudad de origen, con una motivación inquebrantable.

**REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE
ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)**

Tabla de contenido

Resumen	12
Abstract	13
Introducción	14
1. Planteamiento del problema	15
2. Justificación.....	16
3. Objetivos	17
4. Marco teorico	18
4.1 Diseño de máquina.....	19
4.2 Tipos de adhesivos	21
4.3 Producto y calidad.....	24
4.4 AMEF.....	27
5. Metodología	28
6. Resultados y discusión	32
6.1 Identificación y priorización de los modos potenciales de falla en el laminación.....	32
6.2 Recolección de información sobre el registro de desperdicios	33
6.3 Material mal pegado.....	37
6.4 Pérdida de tensión	51
6.5 Bajo nivel de adhesivo en la piscina	65
6.6 Montaje de capa sellante incorrecta	68
6.7 Bobina atrapada.....	70
6.8 Empate mal realizado.....	73
6.9 No uso de la fotocelda.....	77

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

6.10 No uso del ultrasonido 79

7. Conclusiones 82

8. Recomendaciones..... 84

9. Referencias 85

Lista de tablas

Tabla 1 Especificaciones y propiedades mecánicas a tracción de la estructura # 143

Tabla 2 Propiedades mecánicas de rasgado para la estructura # 143

Tabla 3 Propiedades mecánicas a tracción de la cinta utilizada para el proceso de laminación ...43

Lista de figuras

Figura 1 Esquema general de un empaque flexible trilaminado para alimentos.....	18
Figura 2 Esquema general en 2D de una laminadora base solvente	19
Figura 3 Esquema general en 3D de una máquina laminadora sin solvente (Solventless).....	20
Figura 4 Esquema general de un módulo aplicador para una máquina laminadora	22
Figura 5 Fotografías de los diversos defectos ocasionados en el proceso de laminación.....	26
Figura 6 Modos potenciales de falla seleccionados desde la matriz AMEF para el proceso de laminación	32
Figura 7 Pareto de desperdicios del proceso de laminación desde el mes de enero hasta septiembre del año 2023 para ALICO S.A.S	33
Figura 8 Tabla dinámica para el análisis de desperdicios, de todos los defectos reportados, por operario y máquina laminadora, desde el mes de enero hasta septiembre del año 2023 para ALICO S.A.S.	34
Figura 9 Gráfico en costos para el análisis de desperdicios, de todos los defectos reportados, por operario y máquina laminadora, desde el mes de enero hasta septiembre del año 2023 para ALICO S.A.S.	35
Figura 10 Gráfico en peso para el análisis de desperdicios, de todos los defectos reportados, por peso en Kg y operario, desde el mes de enero hasta septiembre del año 2023 para ALICO S.A.S.	35
Figura 11 Estructuras laminadas vs desperdicios de todos los defectos reportados, desde el mes de enero hasta septiembre del año 2023 para ALICO S.A.S.	36
Figura 12 Tabla dinámica para el análisis de desperdicios, de todos los defectos reportados por procesos posteriores hacia laminación, desde el mes de enero hasta septiembre del año 2023 para ALICO S.A.S.	36
Figura 13 Material mal pegado	37
Figura 14 Core de cartón ALICO S.A.S.....	38
Figura 15 Gráfico, comportamiento del torque vs variación en el ángulo ubicado entre dos puntos distintos a lo largo del diámetro de la bobina laminada	40

**REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE
ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)**

Figura 16 Material mal pegado, unido por tres (3) cintas en sentido máquina, obtenido en Autodesk Inventor	44
Figura 17 Simulación de la distribución de cargas sobre la superficie de un material laminado “mal pegado”, unido al Core por medio de tres (3) cintas en sentido máquina, obtenido en Autodesk Inventor	45
Figura 18 Simulación de la distribución de cargas sobre la superficie de un material laminado, unido al core por medio de una única cinta continua, ubicada con un ángulo distinto a 90° respecto al sentido máquina, obtenido en Autodesk Inventor.....	45
Figura 19 Simulación de la distribución de cargas sobre la superficie de un material laminado, unido al core en forma recta y con una única cinta a 45° del sentido máquina, obtenido en Autodesk Inventor	46
Figura 20 Simulación de la distribución de cargas sobre la superficie de un material laminado, unido al core de forma recta y por medio de una única cinta en sentido máquina, obtenido en Autodesk Inventor	46
Figura 21 Simulación de la distribución de cargas sobre la superficie de un material laminado, unido al core por medio de tres (3) cintas en forma recta y a 45° del sentido máquina, obtenido en Autodesk Inventor	47
Figura 22 Simulación de la distribución de cargas sobre la superficie de un material laminado, unido al core de forma recta por medio de tres (3) cintas en sentido máquina, obtenido en Autodesk Inventor	48
Figura 23 Simulación de la distribución de cargas sobre la superficie de un material laminado, unido al core de forma recta por medio de una única cinta continua, ubicada de forma perpendicular al sentido máquina, obtenido en Autodesk Inventor	48
Figura 24 (a) diseño láser, (b) montaje de soporte láser ubicado en el módulo rebobinador, (c) láser, (d) Láser en funcionamiento	50
Figura 25 (a) Instructivo de empate del material laminado al core para el proceso de laminación, y (b) seguimiento planteado para las auditorias de calidad.....	50
Figura 26 Bobina laminada de 1200 mm de ancho finalizada y empata con 7 cintas adhesivas, bajo el seguimiento de la lección de un punto llamada “Correcto empate del material laminado terminado” entregado a los colaboradores del proceso de laminación	52
Figura 27 Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 500 mm de ancho, unido al mismo material por medio de tres (3) cintas de 200 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor.....	54

**REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE
ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)**

Figura 28 Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 500 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de tres (3) cintas de 400 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor	54
Figura 29 Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 500 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de tres (3) cintas de 700 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor	55
Figura 30 Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 500 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de cinco (5) cintas de 200 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor	56
Figura 31 Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 500 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de cinco (5) cintas de 400 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor	56
Figura 32 Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 500 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de cinco (5) cintas de 700 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor	57
Figura 33 Simulación del comportamiento de la deformación para un material laminado de 1000 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de tres (3) cintas de 400 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor	58
Figura 34 Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 1000 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de cinco (5) cintas de 200 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor	59
Figura 35 Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 1000 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de cinco (5) cintas de 400 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor	59
Figura 36 Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 1000 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de cinco (5) cintas de 700 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor	60
Figura 37 Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 1000 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de siete (7) cintas de 200 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor	61
Figura 38 Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 1000 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de siete (7) cintas de 400 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor	61

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Figura 39 Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 1000 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de siete (7) cintas de 700 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor	62
Figura 40 Lección de un solo punto entregada al proceso de laminación para el correcto empate del material laminado terminado.....	63
Figura 41 Seguimiento del mes de enero para el cumplimiento de la LUP pegado de cintas para el material laminado terminado.....	64
Figura 42 Piscina de adhesivo entre los rodillos alimentadores R1 y R2	66
Figura 43 Lección de un solo punto para la correcta manipulación del sensor de nivel en la canoa	66
Figura 44 Control y seguimiento para uso del sensor de nivel de adhesivo en la piscina	67
Figura 45 Lección de un solo punto para la inspección de materiales a laminar.....	69
Figura 46 Cuestionario de inspección de planes de calidad y seguridad del producto	69
Figura 47 Control y seguimiento montaje de capa sellante incorrecta	70
Figura 48 Lugar de atrapamiento de la bobina laminada, ubicada entre el contacto del core y el eje del rebobinador de la máquina.....	71
Figura 49 Instructivo para la correcta inspección del core	72
Figura 50 Control y seguimiento para uso del instructivo de inspección de Core.....	72
Figura 51 Empate entre laminas con anchos diferentes	74
Figura 52 Simulación de un empate fuera de especificaciones, obtenido en Autodesk Inventor .	74
Figura 53 . Instructivos de empates por material utilizado entregados al proceso de laminación de ALICO S.A.S.	75
Figura 54 Seguimiento desde el 15 de enero hasta el 15 de febrero para el cumplimiento de los instructivos de empates por materia	76
Figura 55 (a) vista frontal de la fotocelda, y (b) fotocelda en funcionamiento.....	77
Figura 56 Ultrasonido utilizado en el proceso de laminación de ALICO S.A.S.	80

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Figura 57 Lecciones de un solo punto para el centrado de los materiales en las máquinas laminadoras, (a) uso y programación de la foto celda, y (b) uso y programación del ultrasonido 81

Figura 58 Control y seguimiento para uso de las lecciones sobre la manipulación de los dispositivos electrónicos para el adecuado centrado de los materiales en máquina81

Resumen

El proceso de laminación implica la unión de sustratos plásticos, celulósicos y/o metálicos mediante un adhesivo compatible para crear una estructura con propiedades óptimas. En Alico S.A.S., se busca reducir los defectos de calidad como arrugas, burbujas, pecas y quiebres ocasionados en esta área, para lograr impactar de manera positiva los costos asociados a los desperdicios del proceso.

En esta investigación se hizo uso de la herramienta para el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), logrando identificar los modos potenciales de falla que ocasionan múltiples defectos de calidad en los materiales laminados. La priorización de estos modos potenciales de falla se basó en los modos de detección, frecuencia de ocurrencia y severidad. Los datos recopilados evidenciaron que el proceso de laminación carece de soportes documentados que sirvan como guía para los operarios al momento de realizar varias prácticas de manufactura, que se presentan en el día a día de su trabajo. Tales actividades pueden resumirse en un manejo y manipulación adecuada de los materiales, como también, de algunos aditamentos electrónicos de las máquinas laminadoras. Se crearon mejoras y manuales para el proceso de laminación enfocados en solucionar las problemáticas seleccionadas, los cuales fueron difundidos para su uso a los operarios y líder del proceso, y finalmente entregados al departamento de calidad.

Por último, para evaluar la aplicación de las acciones correctivas entregadas al proceso, se llevaron a cabo auditorías escalonadas de calidad, enfocadas en evaluar la aplicación adecuada de las mejoras y manuales por parte del personal operativo. En general, los resultados obtenidos fueron satisfactorios. Sin embargo, dejan en evidencia la necesidad de ser constantes en las capacitaciones a los colaboradores del proceso sobre la manipulación adecuada de los materiales.

Palabras clave: Calidad, Laminado, AMEF, Mejora, Ocurrencia, Severidad, Detección, Desperdicios, Sustrato.

Abstract

The lamination process involves bonding plastic, cellulose, and/or metallic substrates using a compatible adhesive to create a structure with optimal properties. At ALICO S.A.S., efforts are made to reduce quality defects such as breaks, wrinkles, spots, and bubbles occurring in this area, thereby positively impacting the costs associated with process waste.

This research utilized the Failure Modes and Effects Analysis (AMEF) tool to identify potential failure modes causing multiple quality defects in laminated materials. Prioritization of these potential failure modes was based on detection modes, frequency of occurrence, and severity. The data collected revealed that the lamination process lacks documented evidence to guide operators in various manufacturing practices encountered in their daily work. These activities include proper handling and manipulation of materials, as well as certain electronic accessories of laminating machines. Improvements and manuals for the lamination process were created to address selected issues, which were disseminated for use by operators and process leaders, and ultimately delivered to the quality department.

To assess the proper implementation of corrective actions in the process, stepped quality audits were conducted, focusing on evaluating the appropriate application of improvements and manuals by operational personnel. Overall, the results obtained were satisfactory. However, they underscore the need for ongoing training for process collaborators on the proper handling of materials.

Keywords: Quality, Lamination, AMEF, Improvement, Occurrence, Severity, Detection, Waste, Substratum.

Introducción

En la industria de fabricación de empaques flexibles, el proceso de laminación desempeña un papel fundamental en la producción de estos productos. La laminación, que implica la unión precisa de diversos sustratos mediante adhesivos especializados, se destaca como una etapa crítica donde la calidad y la eficiencia son de vital importancia. Este informe se centra en la implementación del Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) en el proceso de laminación de Alico S.A.S., una empresa líder en el sector latinoamericano. La relevancia de este estudio radica en la necesidad estratégica de mejorar continuamente los procesos productivos para garantizar la calidad del producto final y reducir los desperdicios asociados. Desde una perspectiva empresarial, la implementación del AMEF en el área de laminación puede tener un impacto significativo en la reducción de costos y el aumento de la eficiencia operativa. Por otro lado, desde un punto de vista académico, este estudio puede proporcionar una base sólida sobre cómo aplicar herramientas de gestión de calidad en entornos industriales específicos.

Los objetivos de esta investigación son mejorar la calidad y reducir los desperdicios en el proceso de laminación de Alico S.A.S. Específicamente, se pretende identificar los modos de falla más críticos, evaluar su impacto y proponer acciones correctivas para prevenir su ocurrencia. En cuanto a la metodología, se empleará un enfoque práctico basado en la recopilación y análisis de datos del proceso de laminación de la empresa. Esto incluirá la interacción con el personal operativo, análisis de documentos y registros internos de la compañía. Los resultados obtenidos, el análisis correspondiente, las recomendaciones para futuras investigaciones y las conclusiones se presentarán de manera clara y concisa en este informe.

Por el alcance y los recursos, se reconoce la complejidad para abordar todos los posibles modos de falla en el proceso de laminación, así como las limitaciones que puedan surgir fuera del alcance del departamento de calidad. Sin embargo, se espera que este estudio proporcione una valiosa contribución a la de calidad del proceso de laminación de la compañía.

1. Planteamiento del problema

El proceso de laminación conlleva un nivel significativo de desperdicios relacionados a sus actividades, tales como: el enhebrado de materiales en la máquina, los empates entre sustratos y puesta a punto de las máquinas. Este último comprende la parametrización de temperaturas, tensiones y presiones de los rodillos. Por lo general, “estos desperdicios se incrementan cuando dichas actividades no se gestionan adecuadamente o carecen de estándares de calidad para la correcta manipulación de los materiales, ocasionando un aumento significativo en los costos” [1].

El AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Falla) se convierte en una herramienta útil en este contexto, ya que permite la evaluación de las actividades asociadas a las diferentes etapas del proceso de fabricación mediante la clasificación y priorización de los modos potenciales de falla que puedan surgir de cada una de ellas. El objetivo es disminuir la ocurrencia de los modos potenciales de falla con mayor impacto, y que registran los números más altos de prioridad de riesgo (RPN) obtenidos de la matriz AMEF, buscando así impactar los costos de calidad del proceso de laminación.

2. Justificación

La estrategia de ALICO S.A.S. es adoptar prácticas de manufactura enfocadas en la mejora continua. Las buenas prácticas y manipulación de los materiales son esenciales para disminuir los costos de calidad inherentes al proceso de transformación de materiales poliméricos en empaques flexibles. Este enfoque, no solo busca optimizar recursos y aumentar la eficiencia operativa, sino que también subraya un compromiso con la responsabilidad ambiental y la mejora de la calidad del producto. Involucrar activamente al personal en este proceso fortalece la cultura organizacional, fomenta la innovación y mejora el rendimiento en general. Al enfocar sus esfuerzos en la mejora continua, ALICO S.A.S. no solo mejora su competitividad y sustentabilidad, sino que también establece un precedente valioso para la industria, demostrando que la eficiencia operativa y la sostenibilidad ambiental pueden ir de la mano.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Mejorar la calidad y eficiencia del proceso de laminación en ALICO S.A.S, implementando el análisis AMEF para identificar y disminuir los modos potenciales de falla, generando instructivos para el proceso y ejecutando un plan de seguimiento con el propósito de reducir desperdicios.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar y analizar los principales modos de falla que tienen la mayor participación en la generación de desperdicios con el apoyo de la matriz AMEF.
- Generar instructivos para entregar al proceso de laminación, que prevengan los principales modos y efectos de falla con mayor número de prioridad de riesgo (RPN) de la matriz (AMEF), como empates, pérdida de tensión, montaje de capa sellante incorrecta, no uso de la fotocelda, material mal pegado y nivel de adhesivo en piscina.
- Implementar un sistema de seguimiento y registro, que permita evaluar el constante desempeño y la eficacia de las acciones preventivas generadas.

4. Marco teórico

La laminación de empaques flexibles es un proceso esencial en la industria del embalaje, que consiste en unir diversos sustratos como películas de polímero, papel y aluminio mediante el uso de adhesivos bicomponentes. Este proceso resulta en la creación de un material compuesto versátil que permite la producción de empaques con propiedades mejoradas (ver Figura 1). La laminación se realiza mediante equipos que aplican presión y calor para garantizar una unión sólida.

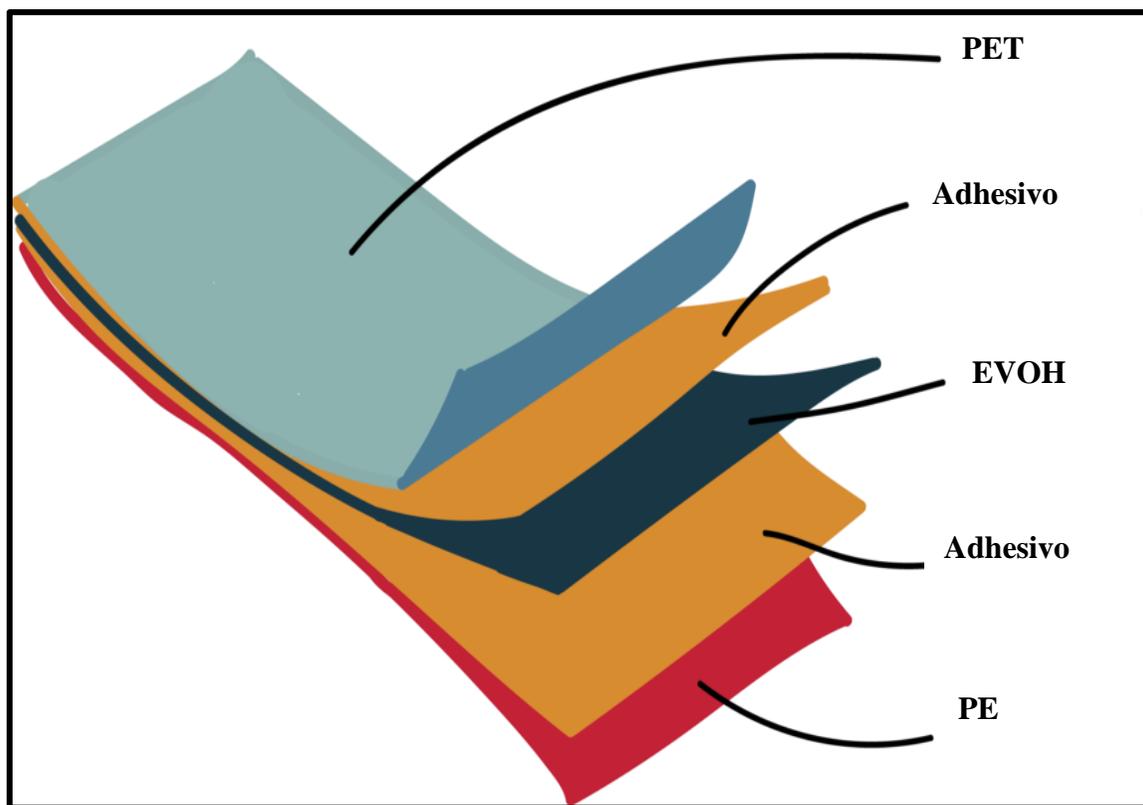


Figura 1. Esquema general de un empaque flexible trilaminado para alimentos [2].

4.1 Diseño de la maquinaria

Por lo general, existen dos diseños mecánicos distintos para las máquinas laminadoras, uno que utiliza adhesivos sin solvente y otro base solvente. Una laminadora base solvente y una sin solvente difieren principalmente en el proceso de aplicación y secado del adhesivo utilizado en el laminado.

En una laminadora base solvente, el adhesivo aplicado contiene solventes que facilitan su aplicación, pero requieren un proceso de secado posterior para evaporar dichos solventes. Este proceso de secado generalmente implica el paso de la capa laminada a través de un túnel de secado o un horno para eliminar los solventes volátiles, lo que aumenta los costos operativos y requiere de medidas adicionales de control ambiental (ver Figura 2).

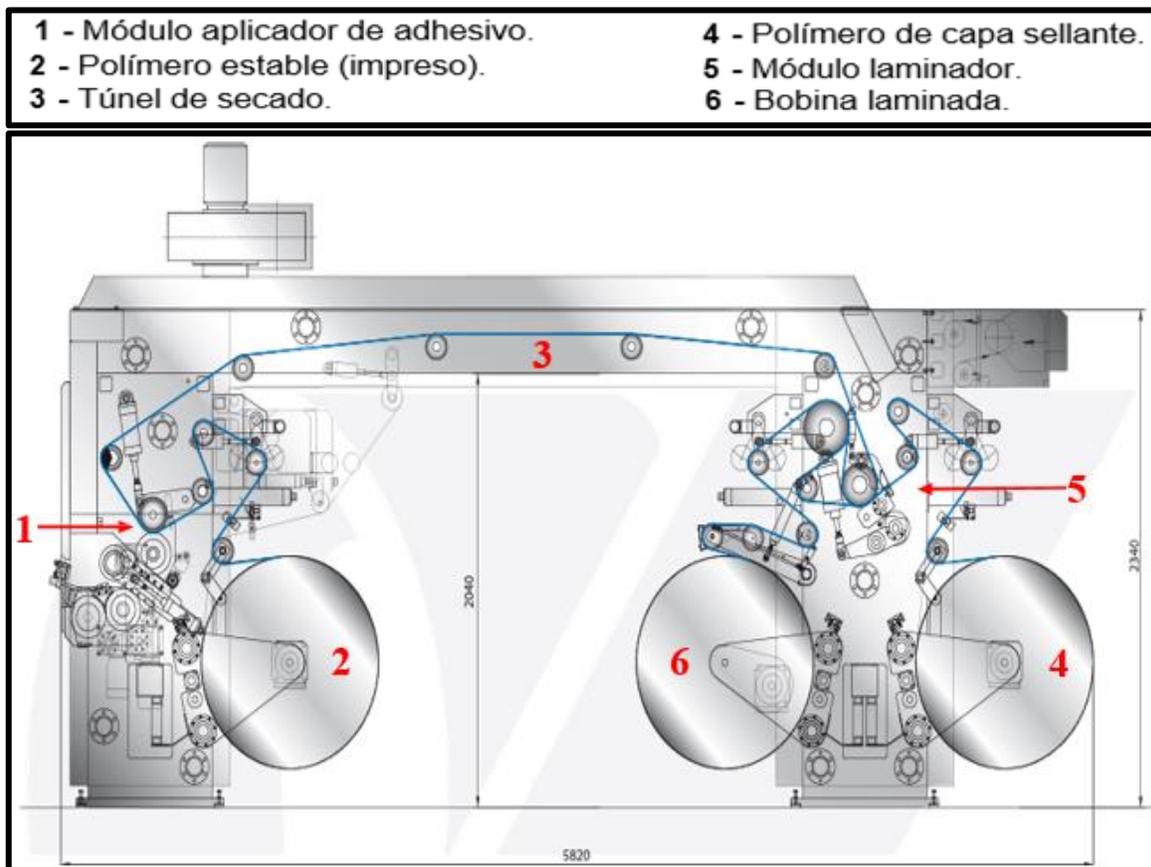


Figura 2. Esquema general en 2D de una laminadora base solvente [3].

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Por otro lado, en una laminadora sin solvente, se utilizan adhesivos libres de solventes o sistemas de laminación en seco. Esto elimina la necesidad de un proceso de secado posterior, ya que los adhesivos aplicados no contienen solventes volátiles. Como resultado, las laminadoras sin solvente pueden ser más eficientes en términos de tiempo y recursos, y pueden tener un menor impacto ambiental al no contar con emisiones de solventes nocivos (ver Figura 3).

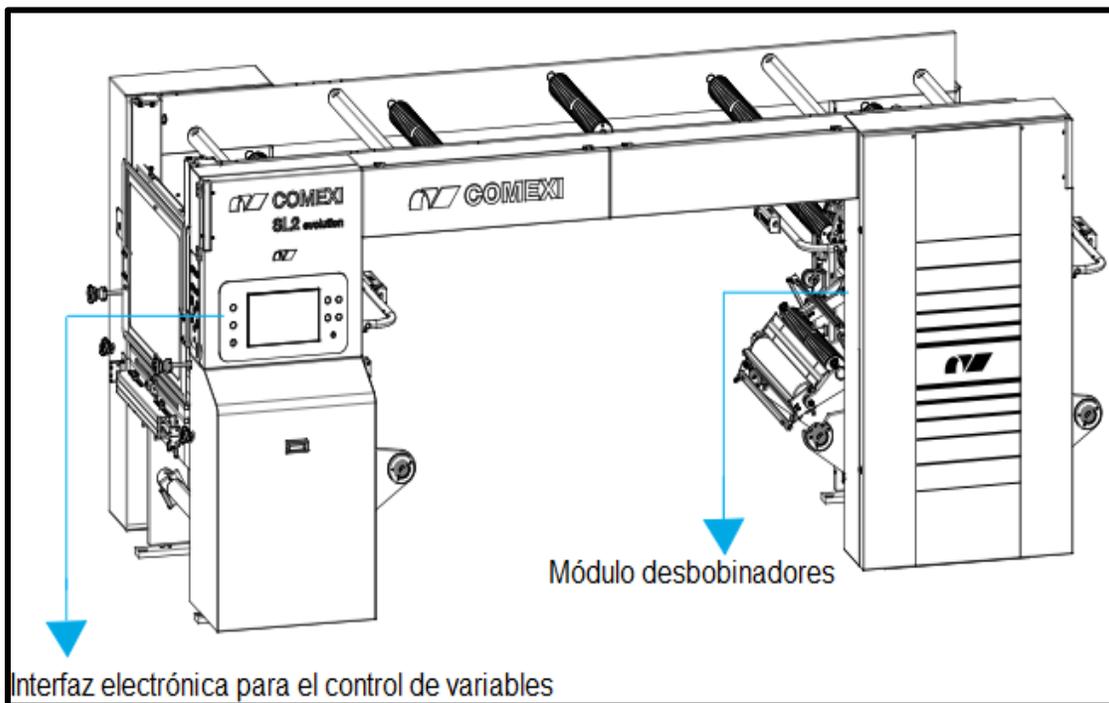


Figura 3. Esquema general en 3D de una máquina laminadora sin solvente (Solvenless) [4].

Ambos diseños incluyen un rodillo aplicador de adhesivo y un rodillo laminador, que, de manera conjunta, aplican el adhesivo y laminan los materiales. En el caso de la laminación base solvente, la capa primaria sale de la unidad de aplicación y atraviesa un túnel de secado, funcionando como un horno donde se evapora el solvente. Finalmente, la capa primaria con adhesivo entra al rodillo laminador donde se une a la capa secundaria, formando una sola lámina.

Este proceso puede presentar varios pasos: el paso uno se da cuando hay una estructura bilaminada, el paso dos se da cuando existe una estructura trilaminada y un paso tres se da cuando se tienen cuatrilaminaciones.

4.2 Tipos de adhesivos

Existen tres tipos de adhesivos según los esfuerzos a los que estará sometido el material final durante las fases de trabajo sucesivas a la laminación [5]:

- Adhesivos de propósito general: son adhesivos destinados al acoplamiento entre materiales transparentes o metalizados, que no requieren protección contra químicos abrasivos ni serán sometidos a temperaturas superiores a 40 °C durante el proceso de llenado, almacenamiento, distribución y venta del producto.
- Adhesivos de medio desempeño: se utilizan para laminar materiales transparentes, metalizados e incluso hojas de aluminio. Estos adhesivos están destinados al empaque de productos químicos industriales y pueden resistir temperaturas de proceso de llenado o pasteurizado de hasta 80 °C.
- Adhesivos de alto desempeño: Estos adhesivos se emplean en laminaciones dobles, triples y múltiples, con o sin láminas de aluminio. Están diseñados para resistir productos químicos de diversos tipos y tratamientos a altas temperaturas, como pasteurización, esterilización, retorta y cocción. Son capaces de soportar temperaturas de hasta 120 °C.

La interfaz de control de variables está ubicada en el módulo aplicador de adhesivo, que se encuentra equipado con un dosificador que llena un espacio designado como "piscina" entre los rodillos R1 y R2, con una mezcla de adhesivo y co-reactante. Los dos enfoques comunes de interés son el uso de adhesivos con solvente y adhesivos sin solvente, y la elección entre estos depende de la complejidad de la estructura. Estas dos opciones tienen implicaciones significativas desde las perspectivas de la ingeniería, la ciencia de materiales y la calidad del producto.

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Generalmente, en busca de la calidad del producto, se modifican las propiedades de viscosidad del adhesivo por medio de variaciones de temperatura y velocidades de rotación relativa de los rodillos. Otro factor importante para analizar es la relación de mezcla de los componentes que conforman el adhesivo, una relación de mezcla incorrecta puede resultar en un exceso de radicales hidroxilos (-OH) presentes en el co-reactante, lo que podría afectar el curado del adhesivo, reducir la fuerza de adhesión, y disminuir las propiedades termoquímicas de este [5].

El rodillo dosificador R3, conocido como manga de caucho, aplica una capa delgada y uniforme de adhesivo al cilindro aplicador R4. Este último transfiere el adhesivo al sustrato impreso mediante contacto directo, con la asistencia de un cilindro pisador R5 que ejerce presión sobre el material impreso contra el aplicador (ver Figura 4).

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| a- Ventanal de protección | b- Panel de control |
| c-Rodillo aplicador R4 | d-Rodillo dosificador R3 |
| e-Rodillos alimentadores R1 y R2 | f-Pomos reguladores tope mecanico |
| g-Pomos reguladores R1 y R2 | h-Bandeja |
| i-Sistema dispensador de adhesivo | |

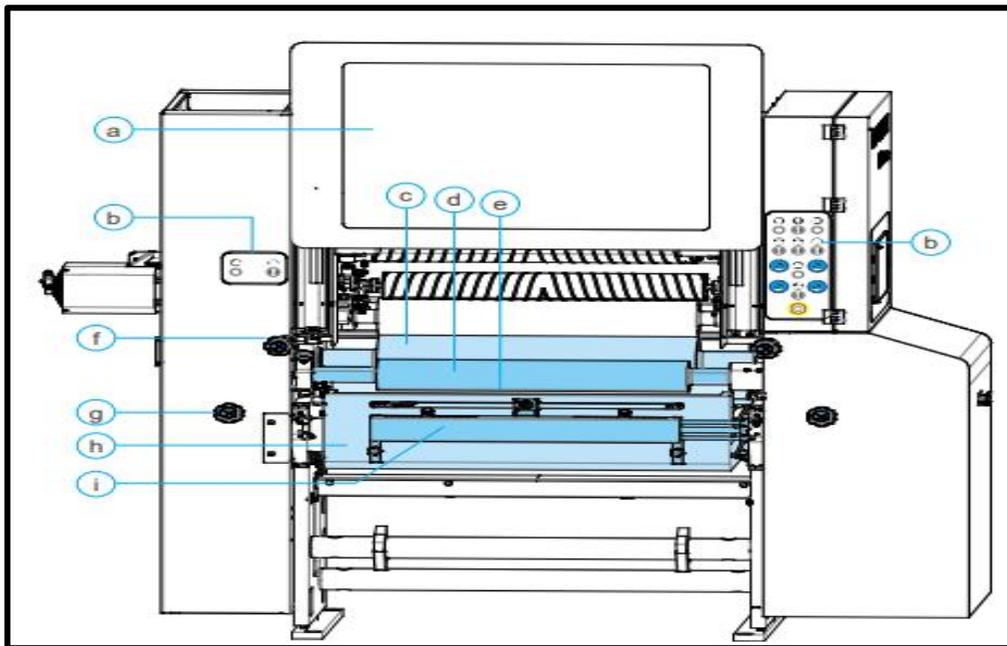


Figura 4. Esquema general de un módulo aplicador para una máquina laminadora [6].

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Los adhesivos con solvente contienen compuestos volátiles que permiten un secado rápido y eficiente, lo que acelera la producción. Además, ofrecen una adhesión fuerte en diferentes sustratos, incluyendo aquellos difíciles de unir debido su naturaleza disímil. El solvente actúa como vehículo al disminuir la viscosidad del adhesivo, aumentando la dispersión de este sobre la superficie del sustrato. Sin embargo, se plantean preocupaciones ambientales y de salud que se deben a las emisiones de compuestos orgánicos volátiles y la exposición de los trabajadores a sustancias químicas peligrosas [7].

Por otro lado, los adhesivos sin solvente, generalmente basados en un reactivo adhesivo de base poliuretano y un correactante, son más seguros desde el punto de vista ambiental y de salud laboral debido a la reducción de emisiones de componentes volátiles nocivos. Aunque pueden requerir tiempos de secado más largos y presentar desafíos en la adhesión en condiciones de alta humedad o en sustratos difíciles de manejar, son preferibles en términos de sostenibilidad y cumplimiento ambiental. La elección entre adhesivos con y sin solvente tiene un impacto directo en las propiedades del material laminado, como la apariencia, barrera a la humedad, estabilidad dimensional, calidad de impresión y resistencia mecánica [7].

La selección adecuada de adhesivos es fundamental para cumplir con los requisitos del producto final y garantizar su calidad. Los errores y defectos en la materia prima, la máquina laminadora o el proceso en sí, pueden generar grandes pérdidas económicas, ya que cuando se lamina el empaque, el producto adquiere su mayor valor económico. Además, es crucial seguir rigurosamente la ficha técnica del fabricante para evitar desviaciones de calidad. Como, por ejemplo, es el caso de una mezcla de adhesivo incorrecta, que puede ocasionar la formación de grumos dentro de los recipientes de almacenamiento de este. Estos grumos pueden circular por todo el sistema dosificador hasta llegar a los rodillos encargados de aplicar el adhesivo sobre el sustrato a laminar. Como resultado, dichos grumos pueden manifestarse como rayones en el producto final, lo que podría resultar en rechazos por parte del cliente.

4.3 Producto y calidad.

Los métodos de trabajo se encargan de definir los procedimientos, técnicas y criterios utilizados en la producción de empaques flexibles. Aunque las habilidades y enfoques del factor humano pueden variar, un proceso bien definido, guiado y controlado aumentará significativamente la probabilidad de obtener productos de calidad. Además, proporcionará una guía en caso de desviaciones en situaciones específicas [8].

Las condiciones de la máquina laminadora varían en función de los materiales que se van a unir, las variables críticas que deben ser controladas por el operador para asegurar un producto funcional y atractivo son las siguientes [9]:

- Temperaturas de los rodillos: el parámetro de temperatura de los rodillos dosificadores, aplicador, laminador y rodillo de enfriamiento determinan la viscosidad del adhesivo que afecta el coeficiente de esparcimiento de este sobre el sustrato, como también el trabajo de adhesión entre los sustratos a unir.
- Temperaturas de ollas de adhesivo: este determina la viscosidad y la temperatura con la que llega el adhesivo a la máquina.
- Temperatura del medio: afecta de manera directa la cinética y efectividad de la reacción de curado del adhesivo después de laminar ambos sustratos.
- Presión del rodillo laminador: dependerá del desgaste y la dureza del rodillo, ayuda a liberar el aire de la laminación generando una superficie plana, evitando la aparición de defectos de apariencia.
- Presión del rodillo aplicador: Este está ubicado en el módulo aplicador y al igual que el rodillo laminador la presión depende del desgaste y de la dureza de este, define el esparcimiento del adhesivo sobre el área superficial del sustrato que a su vez depende de la mojabilidad del adhesivo.

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

- Tensión del rebobinador: es la fuerza con la que los sustratos laminados se enrollaran alrededor del cilindro hueco que permite un producto final libre de arrugas, quiebres, apariencia y un correcto embobinado final.
- Tensión del desbobinador de cada sustrato por separado: dependerá de la naturaleza del material, espesor y ancho plano del mismo.
- Aplicación del adhesivo: dependerá directamente de la estructura que se esté trabajando y el uso final del producto. La baja aplicación de adhesivo puede generar un lavado de la tinta y la alta aplicación, una traslación no uniforme sobre el eje de cartón llamado Core. Debe realizarse bajo la ficha técnica que tiene en cuenta las relaciones químicas estequiométricas de ambos componentes del adhesivo.
- Relación de mezcla de adhesivo: permite que la reacción química entre los dos componentes (adhesivo + correactante) se realice de forma adecuada y se tenga una laminación exitosa.
- Humedad relativa: la humedad presente en el medio ambiente donde se almacenan los rollos para curar debe ser la idónea bajo las condiciones de ficha técnica del adhesivo. Para evitar así, reacciones químicas adversas.

Finalmente, algunos de los defectos más críticos que se pueden presentar en el proceso de laminación son: burbujas, deslaminación, quiebres, túneles y pecas (ver Figura 5). Estos afectan la calidad del empaque final en cuanto a funcionalidad y apariencia, llegando a representar grandes pérdidas económicas si no se cumplen las especificaciones del cliente. Para disminuir estos riesgos, se requiere estandarizar las variables del proceso en laminación, como temperaturas, presiones y tensiones.



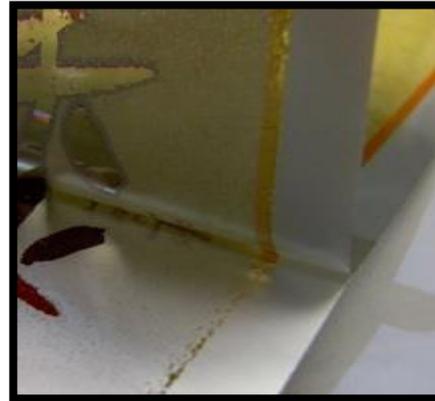
a) Pecas



b) Burbujas



c) Túneles



d) Deslaminación



e) Quiebres

Figura 5. Fotografías de diversos defectos ocasionados en el proceso de laminación: a) Pecas, b) Burbujas de aire o CO2 atrapado, c) Túneles, d) Deslaminación y e) Quiebres [10].

4.4 AMEF

El Análisis de los Modos y Efectos de Falla (AMEF) es una herramienta sistemática ampliamente utilizada en la gestión de calidad y la ingeniería para identificar, evaluar y prevenir posibles modos de falla en productos, procesos o sistemas. El objetivo principal del área de laminación de empaques de ALICO S.A.S. es analizar minuciosamente las actividades normales del proceso e identificar las posibles formas en que pueden ocurrir fallas en máquinas, sustratos de laminación y actividades del personal operativo. Posteriormente, tomar medidas preventivas para minimizar o eliminar estos riesgos [11].

A continuación, se listan los conceptos más importantes para el correcto funcionamiento del AMEF [12]:

- **Identificación de modos de falla:** En una planta de laminación, se identifican los posibles modos potenciales de falla, como los relacionados con la máquina y los defectos en los materiales o errores humanos durante la operación.
- **Evaluación de severidad:** Para cada modo de falla identificado, se evalúa la severidad de sus efectos potenciales. Se considera qué impacto tendría la falla en la seguridad del personal, la calidad del producto, la eficiencia de la producción y otros aspectos críticos.
- **Determinación de frecuencia de ocurrencia:** Se estima cuán frecuentemente podría ocurrir cada modo de falla en las operaciones diarias de la planta. Esto puede basarse en datos históricos, observaciones y la experiencia de los trabajadores.
- **Evaluación de detección:** Se analiza qué tan efectivos son los controles existentes para detectar los modos de falla antes de que causen problemas. Esto incluye sistemas de monitoreo, inspecciones regulares y procedimientos de calidad.
- **Cálculo del número mayor de prioridad riesgo:** Se calcula un número de riesgo (RPN) para cada modo de falla multiplicando la severidad, la frecuencia de ocurrencia y la capacidad de detección. Este parámetro ayuda a priorizar los modos de falla en función de su riesgo potencial. Cuanto mayor sea el RPN, mayor será el riesgo.

- Definición de acciones preventivas: Para los modos de falla identificadas con RPN alto (mayor riesgo), se definen acciones preventivas específicas. Estas acciones pueden incluir mejoras en el diseño de la máquina, variación de parámetros de proceso direccionadas en el comportamiento de los materiales, cambios en los procedimientos operativos, capacitación del personal o la implementación de sistemas de monitoreo más efectivos.
- Seguimiento y monitoreo: Una vez implementadas las acciones preventivas, se monitorean constantemente para asegurarse de que funcionen y de que los modos de falla se hayan reducido o eliminado. También se revisan periódicamente los AMEF para adaptar las estrategias preventivas según sea necesario.

El AMEF es una herramienta que proporciona una base sólida durante el proceso de laminación porque permite desarrollar estrategias de prevención para los posibles modos potenciales de falla que pueden surgir durante las actividades normales. Al abordar estos riesgos de manera proactiva, se pueden reducir las interrupciones en la producción, disminución de pérdidas económicas, mejorar la seguridad del personal y garantizar la calidad del producto [12], [13].

5. Metodología

La metodología tuvo un enfoque práctico, direccionado en obtener información a fondo del funcionamiento del proceso de laminación para garantizar una comprensión acertada, y así buscar impactar en la calidad del producto, al disminuir la ocurrencia de las actividades humanas con mayor impacto en la generación de desviaciones de calidad. Se seleccionó la laminadora LA03 como máquina piloto para llevar a cabo el análisis de los ocho (8) principales modos potenciales de falla seleccionados con el apoyo de la matriz AMEF, siendo la máquina con mayor registro de desperdicios y buscando impactar de manera positiva en la ocurrencia de estos. El orden para desarrollar el análisis de los ocho (8) principales modos potenciales de falla y demás actividades seleccionadas fue el siguiente:

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

1. Análisis de la matriz AMEF.
2. Recolección de información sobre el registro de desperdicios.
3. “Material mal pegado”.
4. “Pérdida de tensión”.
5. “Bajo nivel de adhesivo en la piscina”.
6. “Montaje de capa sellante incorrecta”.
7. “Bobina atrapada”.
8. “Empate mal realizado”.
9. “No uso de la fotocelda”.
10. “No uso del ultrasonido”.

En primer lugar, se llevó a cabo la identificación de los principales modos potenciales de falla para el proceso de laminación con ayuda de la matriz AMEF, después, de manera sistemática, se recopilaron datos relacionados con el registro de desperdicios reportados desde el proceso de laminación a la unidad de negocio empaques, iniciando por la obtención de información directa de las bases de datos de la compañía, para focalizar los operarios con mayor incidencia en malas prácticas de manufactura. También, se realizó un análisis de los documentos y registros internos relacionados con el proceso de laminación. Esto incluyó hojas de especificaciones de materiales, bases de datos de la producción, informes de calidad y otros documentos relevantes que brindaron una visión detallada del proceso y su desempeño histórico.

Los datos recopilados arrojaron luz sobre los procedimientos, las prácticas actuales, las percepciones sobre la calidad y los posibles puntos de mejora. Además, el personal operativo del proceso de laminación, quienes poseen un conocimiento práctico invaluable sobre los procedimientos y posibles desafíos, formaron parte integral y activa para el correcto direccionamiento de la información en función de mejorar las malas prácticas al momento de manipular los materiales utilizados.

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Después, se analizó la tercera actividad con ayuda de la información obtenida de la matriz AMEF, se decidió investigar el modo potencial de falla llamado “Material mal pegado” por medio del seguimiento presencial en la planta, para comprender cómo el personal al momento de empatar el material con el core genera múltiples defectos de calidad. Esta investigación se integró con herramientas de análisis de datos, gráficos, tablas y simulaciones con la ayuda de los software Excel y Autodesk Inventor [14].

El cuarto rubro fue analizar el modo potencial de falla llamado “Pérdida de tensión”. Para esto, se trabajó de la mano con el personal del proceso y se realizaron ambientes de simulación virtual con la ayuda del software Autodesk Inventor [14]. Estos últimos recrearon condiciones reales de las actividades que ocasionan este modo de falla, para posteriormente dar una solución fácil, práctica y enfocada en disminuir los costos de calidad asociados a este.

En quinto lugar, se investigó acerca del modo potencial de falla designado como “Bajo nivel de adhesivo en la piscina”, para el cual, se realizó una recopilación de información de manera visual en la planta, acerca de las prácticas comunes del personal para la manipulación de los materiales y aditamentos electrónicos de las máquinas laminadoras. Además, se recibieron capacitaciones personalizadas acerca de este modo de falla por parte del profesional encargado de liderar el proceso de laminación en la compañía durante los últimos ocho (8) años [15].

La sexta actividad llamada “Montaje de capa sellante incorrecta” se abordó de manera inmediata, debido a que el departamento de calidad ya contaba con un procedimiento a seguir para mitigar su ocurrencia. Con la ayuda de dicho documento se procedió a realizar una redifusión a los colaboradores del proceso, acompañado también de la divulgación del plan de calidad, esto se hizo por medio de reuniones semanales enfocadas en las buenas prácticas al momento de inspeccionar las materias primas usadas para laminar empaques [12], [16].

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Asimismo, para analizar la actividad número siete (7) llamada “Bobina atrapada” y evaluar las principales causas por las cuales se puede generar, se recopilaron datos por medio de seguimientos presenciales en planta, con los cuales se obtuvo información acerca de las prácticas más comunes por parte de los operarios de laminación que inducen la ocurrencia este modo potencial de falla.

En octavo lugar, la actividad llamada “Empate mal realizado” se analizó con ayuda de la información obtenida para el análisis de los modos de falla “Material mal pegado” y “Pérdida de tensión”, dada la similitud en los fenómenos físicos que explican su comportamiento mecánico. Para el análisis de este modo potencial de falla, que se presenta en el día a día del proceso al realizar empates entre materiales, se complementó la información recopilada con la simulación de un escenario real usando el software Autodesk Inventor [14].

Por último, para las dos (2) actividades que abordaron el análisis de los modos potenciales de falla llamados “No uso de la foto celda” y “No uso del ultrasonido”, se realizó un seguimiento presencial en la planta para recopilar información acerca de la manipulación de los dispositivos electrónicos que están ligados a estos modos de falla. Además, se recibieron capacitaciones personalizadas acerca del funcionamiento de los sensores integrados en las máquinas que tienen como finalidad monitorear y corregir el centrado de los materiales en las laminadoras [15], [17].

En resumen, a través del análisis de los datos recopilados, por medio de la investigación en planta y colaboración activa con el personal operativo, se logró obtener una comprensión detallada de los defectos que afectan la calidad del producto como consecuencia de los modos de falla seleccionados. Cada actividad realizada contribuyó a identificar áreas de mejora y a desarrollar soluciones específicas orientadas a optimizar el proceso de laminación.

6. Resultados y Discusión.

6.1 Identificación y priorización de los modos potenciales de falla en el proceso de laminación.

El objetivo de priorizar cada uno de los modos potenciales de falla dados por la matriz AMEF fue direccionar de manera efectiva las actividades a desarrollar a lo largo de la investigación y comprender el impacto de cada uno de estos modos de falla en los costos de calidad.

Durante la priorización de los modos potenciales de falla, se le dio preferencia a aquellos con mayor número de prioridad de riesgo (RPN) en la matriz AMEF. Los modos de falla seleccionados fueron empate mal realizado, pérdida de tensión, montaje de capa sellante incorrecta, bajo nivel de adhesivo en la piscina, bobina atrapada, empate mal realizado y el no usó de los dispositivos electrónicos para el adecuado centrado de los materiales en máquina (ver Figura 6).

ACTIVIDAD	(Todas)				
Etiquetas de fila	Cuenta de EFECTO POTENCIAL DE FALLA	Máx. de RPN	Máx. de SEV	Máx. de OCU	Máx. de DET
Empate mal realizado	6	567	8	9	9
Pérdida de tensión	4	560	8	10	7
Montaje de capa sellante incorrecta	10	540	9	6	10
Bajo nivel de adhesivo en la piscina	16	540	10	6	9
Bobina atrapada	9	512	8	8	9
Falta de contraste	4	504	8	7	9
Colas de material	15	504	8	8	9
No utilización de fotocelda	4	504	8	7	9
Material con marcas de dinas	2	504	8	9	7
Material mal pegado	3	504	8	9	9
No utilización del ultrasonido	4	504	8	7	9
Mala calibración	4	504	8	7	9

Figura 6. Modos potenciales de falla seleccionados desde la matriz AMEF para el proceso de laminación [18].

6.2 Recolección de información sobre el registro de desperdicios.

Para conocer de manera precisa el impacto de estos modos de falla en el registro de desperdicios, se segmentaron los defectos con mayor ocurrencia y severidad desde enero hasta septiembre del 2023 para el proceso de laminación. Al analizar esta información, se decidió abordar de manera prioritaria la actividad designada “empates”, la cual se posicionó como la actividad con mayor participación en los costos de calidad, con un porcentaje del 38 % (ver Figura 7).

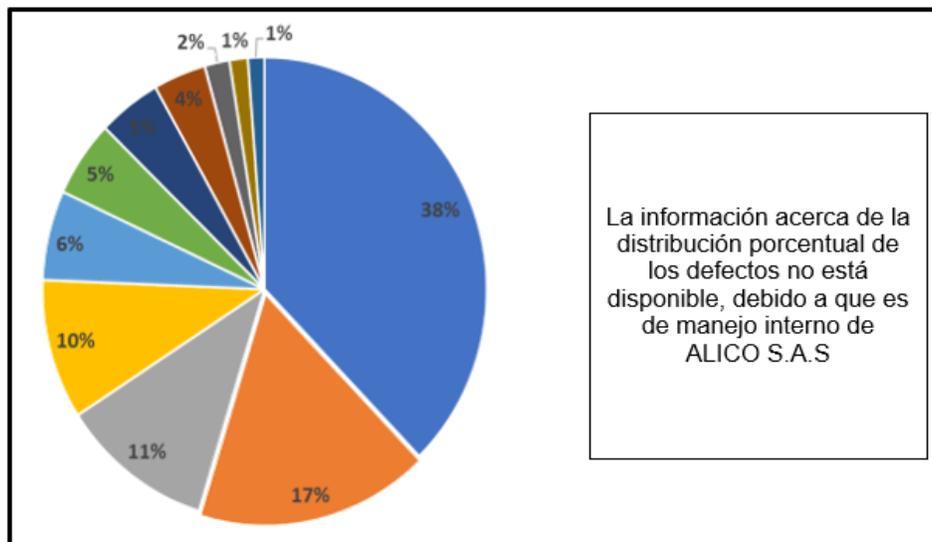


Figura 7. Pareto de desperdicios del proceso de laminación desde el mes de enero hasta septiembre del año 2023 para ALICO S.A.S. [19].

Con el propósito de llevar a cabo un análisis más preciso de la base de datos interna obtenida en colaboración con el área de producción de ALICO S.A.S., denominada “producción y desperdicio”, se crearon tablas dinámicas con ayuda del software Excel. Esta herramienta permite segmentar el desperdicio por máquina, año, mes, semana, máquina laminadora, estructura, defecto, suma de desperdicio en kilos, suma de desperdicio en costos, entre otros.

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Cada número representa un operario en el proceso de laminación. Al seleccionar un mes, se muestran los códigos correspondientes a los operarios que trabajaron en ese período. Al desplegar un código de operario, se visualizan, para ese mes en específico, los distintos reportes de desperdicio segmentados por defectos para ese operario (ver Figura 8).

Año	2023		
Recurso	LA03		
Etiquetas de fila	Suma de Kilos _producidos	Suma de Desperdicio	Suma de Costo desperdicio
March	-	2,258	\$ 52,986,228
10192	-	1	\$ 23,466
10193	-	454	\$ 10,655,441
S-ARRUGAS	-	147	\$ 3,454,195
S-DESLAMINACIÓN-MAL LAMINADO	-	10	\$ 245,454
S-EMPATES	-	221	\$ 5,191,149
S-QUIEBRES	-	46	\$ 1,072,866
S-TUNEL	-	29	\$ 691,778
10202	-	4	\$ 84,478
10203	-	891	\$ 20,918,296
10319	-	194	\$ 4,546,303
10356	-	13	\$ 300,365
11277	-	701	\$ 16,457,879
January	-	1,729	\$ 40,630,627
February	-	1,923	\$ 46,832,909
May	-	1,898	\$ 40,389,098
April	-	1,670	\$ 36,004,448
August	-	2,421	\$ 47,019,406
September	-	1,909	\$ 36,725,650
June	-	1,558	\$ 29,844,524
July	-	1,530	\$ 21,951,723
Total general	-	16,896	\$ 352,384,613

Figura 8. Tabla dinámica para el análisis de desperdicios, de todos los defectos reportados, por operario y máquina laminadora, desde el mes de enero hasta septiembre del año 2023 para ALICO S.A.S. [20].

Con este tipo de herramientas se logra recopilar información muy útil, por ejemplo, el listado y tendencia del desperdicio por defecto asociado a cada operario expresado en costos y kilogramos, así como datos que ayudan a comprender en qué se equivocan desde el proceso y cómo afectan la continuidad del producto a lo largo de las distintas áreas de la compañía (ver Figura 9 y Figura 10).

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

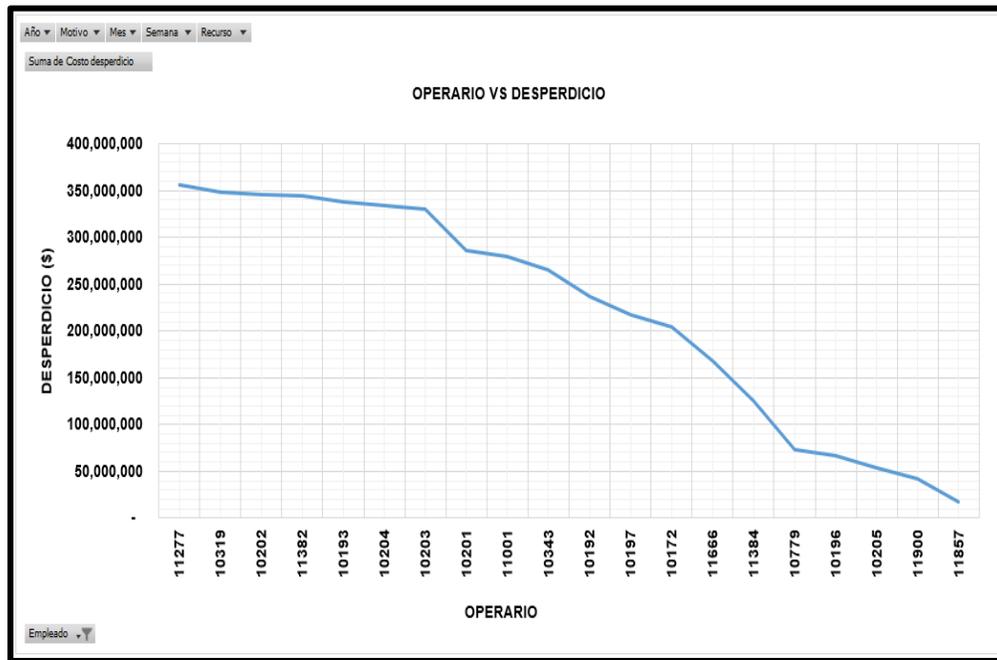


Figura 9. Gráfico en costos para el análisis de desperdicios, de todos los defectos reportados, por operario y máquina laminadora, desde el mes de enero hasta septiembre del año 2023 para ALICO S.A.S. [20].

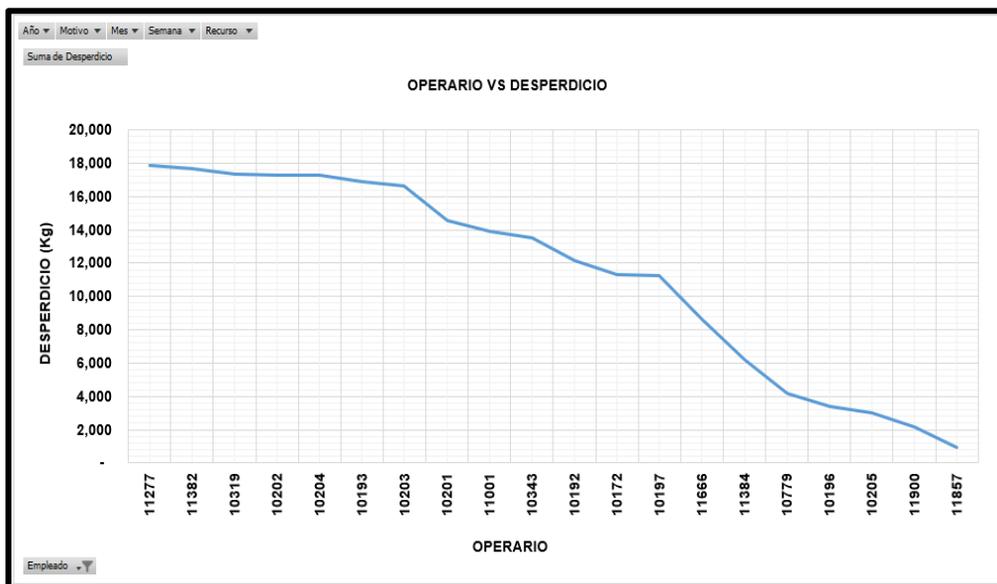


Figura 10. Gráfico en peso para el análisis de desperdicios, de todos los defectos reportados, por peso en Kg y operario, desde el mes de enero hasta septiembre del año 2023 para ALICO S.A.S. [20].

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Además, se crearon tablas dinámicas con la ayuda del software Excel para segmentar el desperdicio por máquinas, estructuras y operarios de procesos posteriores con mayor registro de desperdicios. Gracias a esta información se decidió trabajar con la estructura # 1 y se identificó que el proceso de corte fue el que evidenció mayor registro de desperdicios a laminación por defectos de calidad (ver Figura 11 y Figura 12).

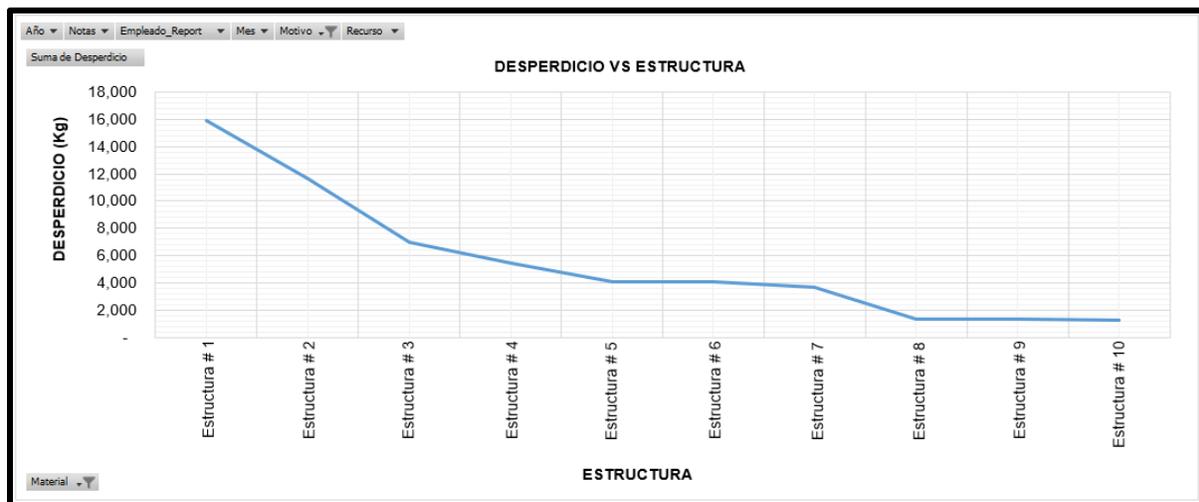


Figura 11. Estructuras laminadas vs desperdicios de todos los defectos reportados, desde el mes de enero hasta septiembre del año 2023 para ALICO S.A.S. [20].

Año	2023
Departamento_report	CORTE E
Motivo	S-EMPATES
Mes	(Todas)
Semana	(Todas)
Operario	Suma de Desperdicio2
11744	4091.4
11903	3772.3
11819	2883.8
10724	2734.2
10783	2678.3
11661	2659.8
11679	2393
11291	2292.4
11838	2213
10763	1914.6
11940	1702.4
11664	1114
11601	1103.2
11234	1008.6
11292	914.7
10234	847.1
10898	839.8
11290	818.1
10646	801.7
10859	798.1
11994	705.5

Figura 12. Tabla dinámica para el análisis de desperdicios, de todos los defectos reportados por procesos posteriores hacia el área de laminación, desde el mes de enero hasta septiembre del año 2023 para ALICO S.A.S. [20].

6.3 Material mal pegado

El “Material mal pegado” se da en el módulo rebobinador, y hace referencia a una mala unión o empate por parte del operario del material laminado, de tal forma que no está alineado con respecto al eje que soporta el core cilíndrico hueco (ver Figura 13). Esto genera múltiples defectos de calidad como quiebres, túneles y arrugas. Los cuales inducen un aumento importante en los desperdicios reportados al proceso de laminación [12].



Figura 13. Material mal pegado [Autoría propia].

Para analizar este fenómeno, se identificaron las características geométricas que describen la superficie del Core, y así relacionar matemáticamente dicha geometría con el comportamiento mecánico del material laminado en el módulo rebobinador de la máquina (ver Figura 14).

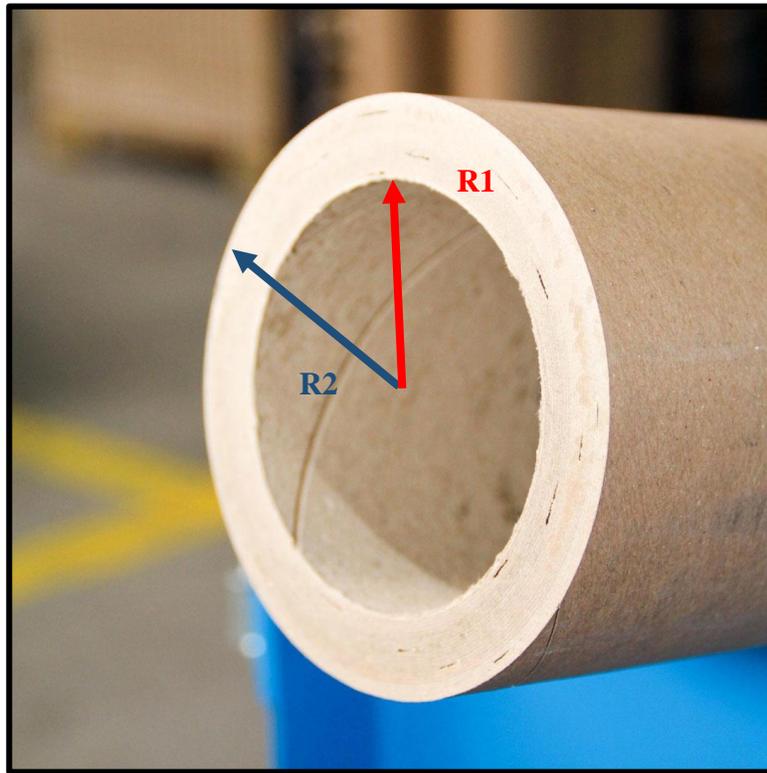


Figura 14. Core de cartón ALICO S.A.S [Autoría propia].

De la figura 14, se obtiene la siguiente relación geométrica para el radio del Core:

$$\Delta R = R2 - R1 \quad (1)$$

Podemos definir el arco AB, observado en la figura 13 de la siguiente manera:

$$AB = \alpha * \Delta r \quad (2)$$

En dos dimensiones tendríamos:

$$AB = \gamma * l \quad (3)$$

Igualamos la ecuación (2) con (3):

$$\gamma_{max} = \frac{\alpha * \Delta r}{l} \quad (4)$$

Como estamos analizando la distribución de esfuerzos en la zona elástica del material laminado, hacemos uso de las siguientes ecuaciones que describen el comportamiento mecánico para este caso [21]:

$$\tau_{max} = G * \gamma_{max}$$

$$\gamma_{max} = \frac{\tau_{max}}{G} \quad (5)$$

$$\tau_{max} = \frac{T * \Delta r}{J} \quad (6)$$

Reemplazamos la ecuación (4) en la ecuación (5):

$$\frac{\alpha * \Delta r}{l} = \frac{\tau_{max}}{G} \quad (7)$$

Por definición, se tiene que el esfuerzo cortante máximo es igual al producto entre el torque y el espesor del core dividido por el momento polar de inercia, después se reemplaza la ecuación (6) en la ecuación (7) [21]:

$$\frac{\alpha * \Delta r}{l} = \frac{T * \Delta r}{G * J} \quad (8)$$

Despejando el torque de la ecuación (8), se tiene:

$$T = \frac{J * G * \alpha}{l} \quad (9)$$

El tener un ángulo entre los puntos (A) y (B) (ver Figura 13), origina una diferencia de torque entre ambos puntos, entre mayor sea el ángulo mayor será la diferencia entre ambos valores (ver Figura 15).

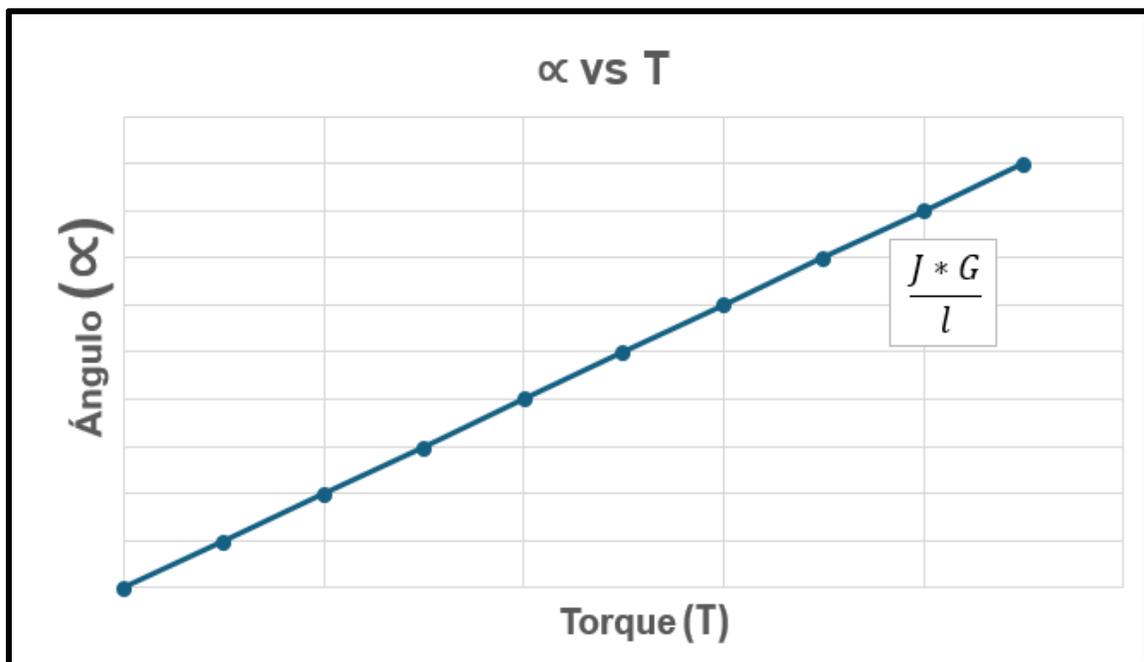


Figura 15. Gráfico, comportamiento del torque vs variación en el ángulo ubicado entre dos puntos distintos a lo largo del diámetro de la bobina laminada [Autoría propia].

El momento polar de inercia y el módulo de rigidez pueden expresarse de la siguiente manera [21]:

$$J = \left[\frac{\pi}{2} * (R2^4 - R1^4) \right] \quad (10)$$

$$G = \left[\frac{E}{2 * (1 + \nu)} \right] \quad (11)$$

Adicionalmente, las expresiones para la relación de esbeltez, modulo elástico y esfuerzo vienen dadas por [21]:

$$\nu = \left[\frac{-\xi \text{ lateral}}{\xi \text{ longitudinal}} \right] \quad (12)$$

$$E = \left[\frac{\sigma}{\xi x} \right] \quad (13)$$

$$\sigma = \left[\frac{P}{A} \right] \quad (14)$$

Finalmente, al reemplazar las ecuaciones (10), (11), (12), (13) y (14) en la ecuación (9) se tiene:

$$T = \left\{ \frac{\left[\frac{\left(\frac{P}{A} \right)}{\xi x} \right]}{2 * \left(1 + \frac{-\xi \text{ lateral}}{\xi \text{ longitudinal}} \right)} * \left[\frac{\pi}{2} * (R2^4 - R1^4) \right] * \alpha}{\text{Magnitud del ancho para el material laminado}} \right\} \quad (15)$$

Con la ayuda de esta última expresión, ecuación (15), se puede concluir que una variación en el ángulo entre el punto (A) y (B) (ver Figura 13), tiene una relación directamente proporcional con el cambio de magnitud en el torque. Es decir, al aumentar el ángulo (α), aumenta la diferencia del torque (T) entre puntos. Tomando en cuenta los resultados de este análisis, se procedió a realizar una caracterización de las propiedades físicas de la estructura laminada de mayor producción en la compañía, estructura # 1 (ver Tabla 1 y Tabla 2), como también para la cinta adhesiva utilizada en el proceso de laminación (ver Tabla 3). Esto se llevó a cabo usando una máquina universal de ensayos, bajo tracción, con el fin de tener los parámetros reales de los materiales producidos en el proceso de laminación.

Esta información fue útil para desarrollar, con ayuda del software Inventor, un entorno de simulación virtual que funcionó como punto de partida para generar acciones preventivas en pro de la calidad del producto. Gracias a este software, se puede modelar y analizar cómo se comportan estos materiales bajo diversas condiciones de proceso (ver figura 16) [14].

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Para entender las exigencias a las cuales está sometido el material laminado y encaminar acciones que brinden solución para los distintos defectos de calidad. Es importante comprender la resistencia mecánica, deformación y el comportamiento de otras propiedades del material compuesto.

Tensión en Máquina [Kg]	Ancho Plano [Centímetros]	Calibre [Micras]
12	50	70

Propiedades mecánicas a tracción de la estructura # 1		
Propiedad	Sentido máquina	Sentido transversal
Esfuerzo a la cedencia [KgF/mm ²]	2.25	1.97
% Elongacion a la cedencia	4.27	3.88
E. Tensil a la rotura [KgF/mm ²]	4.16	4.37
% Elongacion a la rotura	104.99	84.03
Módulo elastico [KgF/mm ²]	96.12	102.13

Tabla 1. Especificaciones y propiedades mecánicas a tracción de la estructura # 1 [Autoría propia].

Propiedades mecánicas de rasgado			
Muestra	Dirección	Fuerza [g/F]	Modo de fallo
Estructura # 1	Máquina	37	Rasgado recto
	Transversal	118	Rasgado recto

Tabla 2. Propiedades mecánicas de rasgado para la estructura # 1 [Autoría propia].

Propiedades mecánicas a tracción	
Propiedad	Dirección de máquina
Esfuerzo a la cedencia [KgF/mm ²]	1.84
% Elongación a la cedencia	3.41
Esfuerzo Tensil a la rotura [KgF/mm ²]	7.83
% Elongación a la rotura	131.84
Módulo elástico [KgF/mm ²]	109.56

Tabla 3. Propiedades mecánicas a tracción de la cinta para el proceso de laminación utilizada por ALICO S.A.S [Autoría propia].

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Las siguientes imágenes muestran en forma detallada el comportamiento mecánico de la estructura # 1, la cual es la que más se produce en ALICO S.A.S. Estas imágenes fueron obtenidas bajo condiciones que simulan los materiales utilizados por la compañía en términos de estructura, ancho y espesor. Esta simulación posibilita el análisis para dar una solución adecuada de la falla en el proceso, obtenida con el apoyo del software Autodesk Inventor [14].

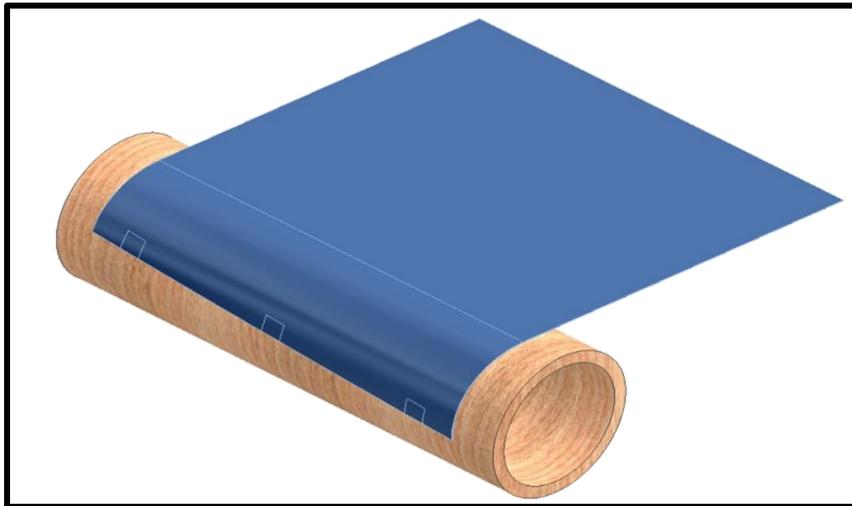


Figura 16. Material mal pegado, unido por tres (3) cintas en sentido máquina, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

Inicialmente, se modela la unión no recta de tres cintas adhesivas entre un material laminado y el core hueco, ubicadas paralelas al sentido máquina. El contorno rojo evidencia una mayor distribución de las cargas sobre uno de los costados de la superficie, lo cual implica una distribución heterogénea de las mismas (ver Figura 17). En el caso de unir el material con una única cinta y no ubicarla de forma perpendicular al sentido de la máquina, la distribución de cargas sigue mostrando un contorno de color no uniforme. Esto sigue ocasionando una distribución heterogénea de las cargas a lo largo de la superficie laminada (ver Figura 18). Otra condición se presenta cuando un material está adherido de manera recta mediante una única cinta con un ángulo de 45° respecto al sentido de la máquina. En este caso, la distribución de cargas se sigue comportando igual (ver Figura 19).

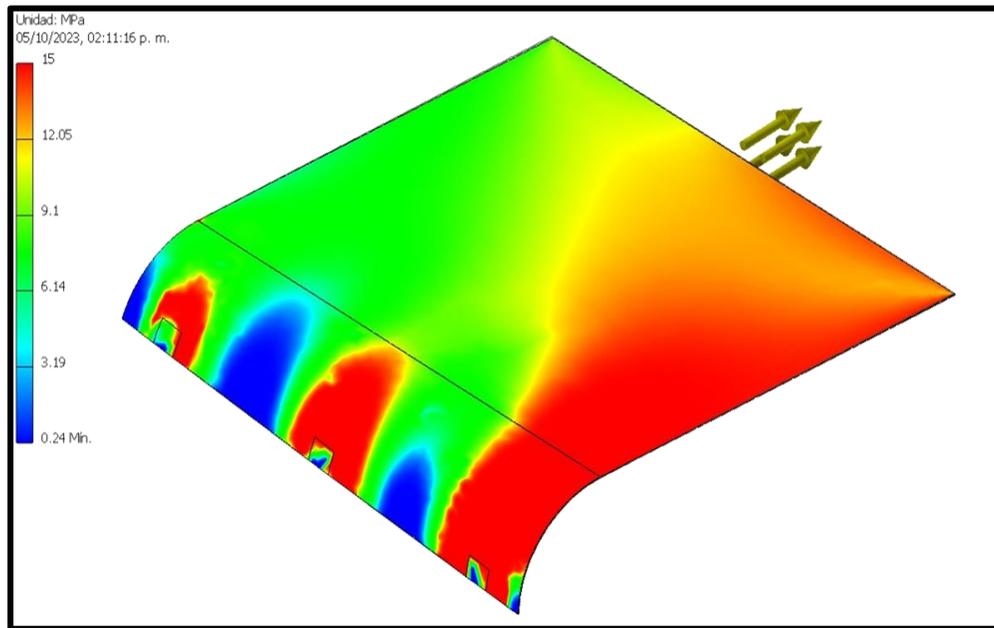


Figura 17. Simulación de la distribución de cargas sobre la superficie de un material laminado “mal pegado”, unido al core por medio de tres (3) cintas en sentido máquina, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

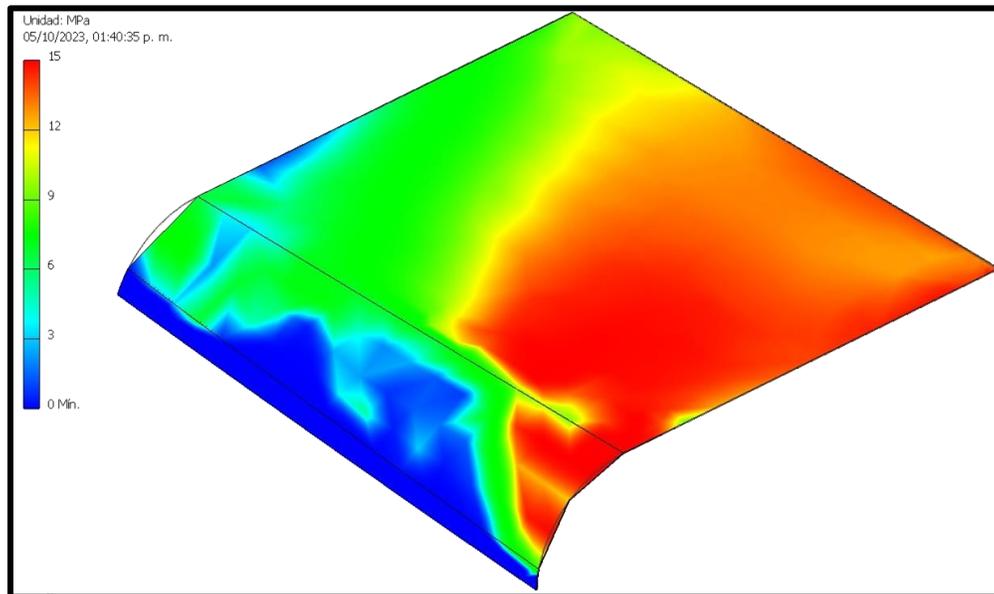


Figura 18. Simulación de la distribución de cargas sobre la superficie de un material laminado, unido al core por medio de una única cinta continua, ubicada con un ángulo distinto a 90° respecto al sentido máquina, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

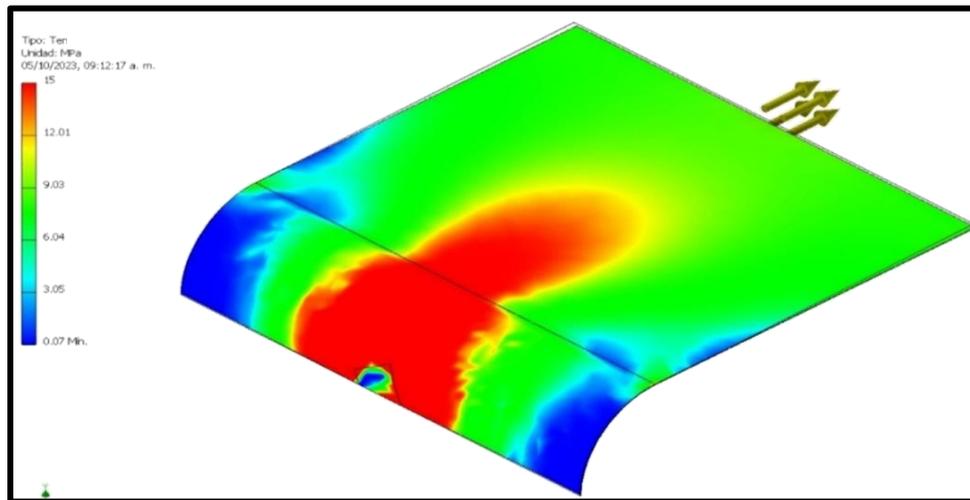


Figura 19. Simulación de la distribución de cargas sobre la superficie de un material laminado, unido al core en forma recta y con una única cinta a 45° del sentido máquina, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

Del mismo modo, cuando un material laminado está pegado de forma recta con una única cinta ubicada en sentido máquina, la distribución de cargas no es homogénea sobre la superficie de este (ver Figura 20).

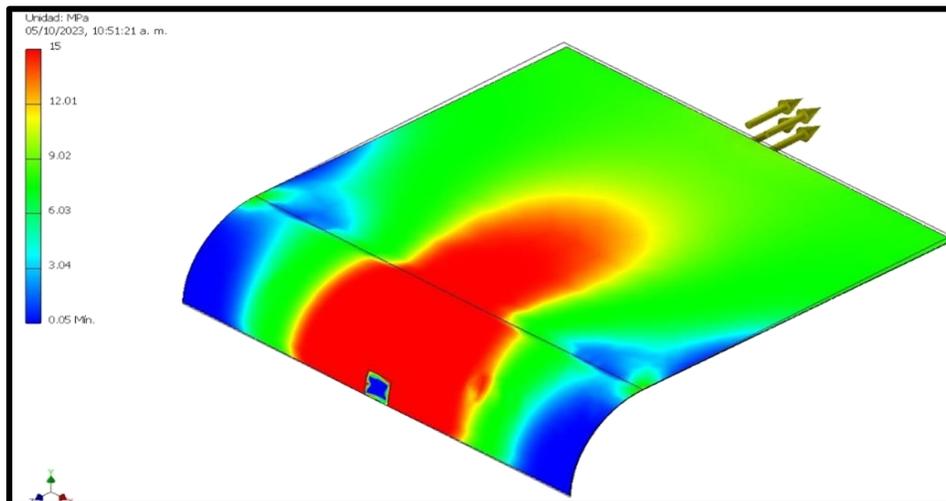


Figura 20. Simulación de la distribución de cargas sobre la superficie de un material laminado, unido al Core de forma recta y por medio de una única cinta en sentido máquina, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

Al analizar un empate del material de forma recta con tres cintas a 45° del sentido de la máquina, se evidenció una distribución de cargas que no es homogénea a lo largo de la superficie. A pesar de ello, se observa que el contorno rojo disminuye significativamente (ver Figura 21).

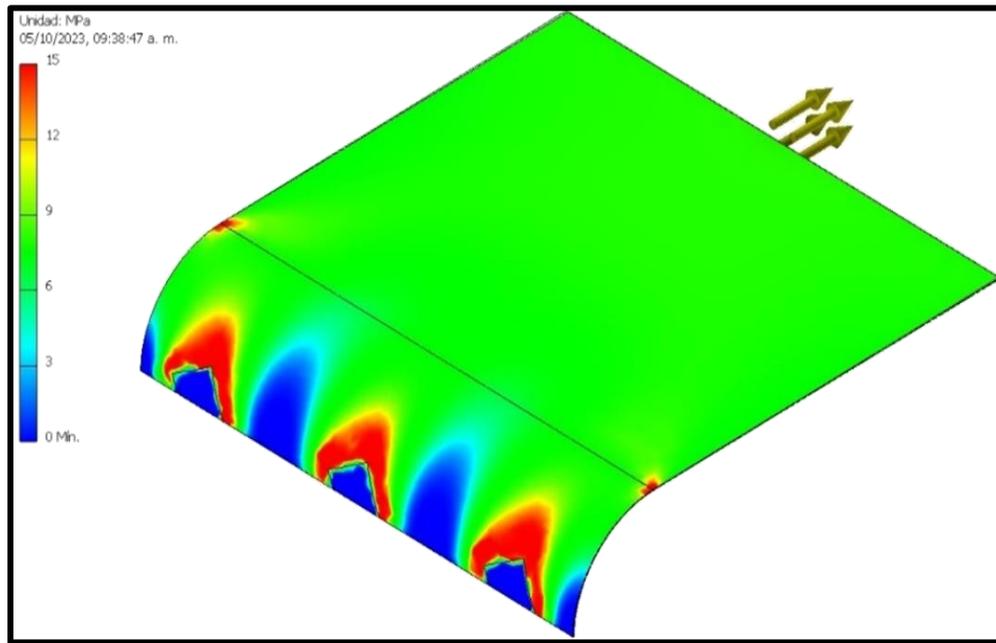


Figura 21. Simulación de la distribución de cargas sobre la superficie de un material laminado, unido al Core por medio de tres (3) cintas en forma recta y a 45° del sentido máquina, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

Un caso análogo, se presenta al unir de forma recta el material laminado con el Core de cartón por medio de tres (3) cintas en sentido máquina (ver Figura 22). Finalmente, se concluye al analizar el comportamiento del empate para el material laminado con una única cinta ubicada de forma perpendicular al sentido de la máquina, que esta es la manera adecuada de realizarlo debido que el contorno de color sobre la superficie se vuelve totalmente verde y homogéneo (ver Figura 23).

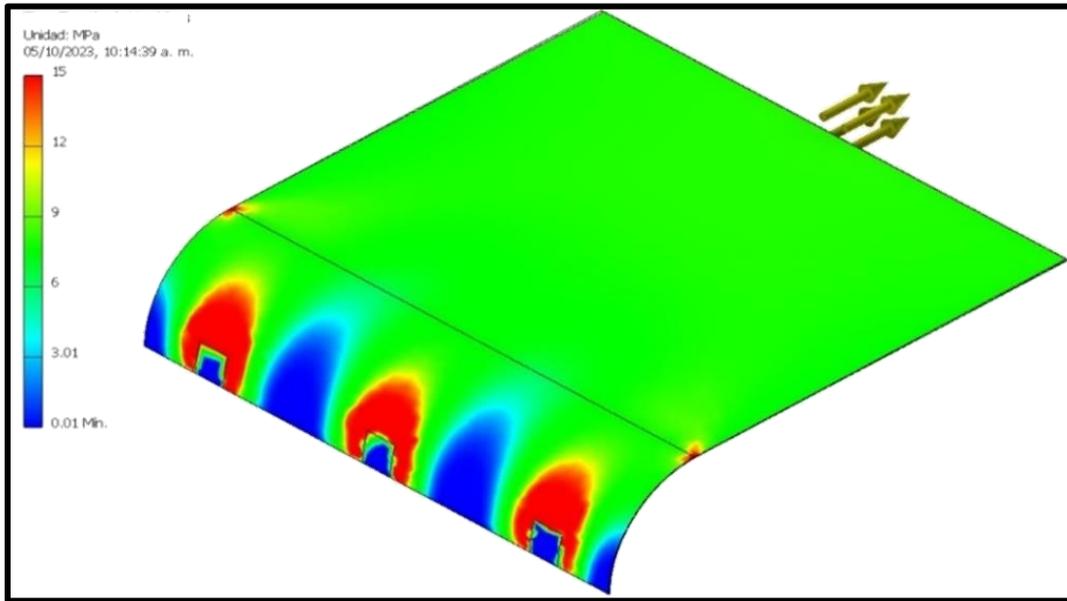


Figura 22. Simulación de la distribución de cargas sobre la superficie de un material laminado, unido al Core de forma recta por medio de tres (3) cintas en sentido máquina, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

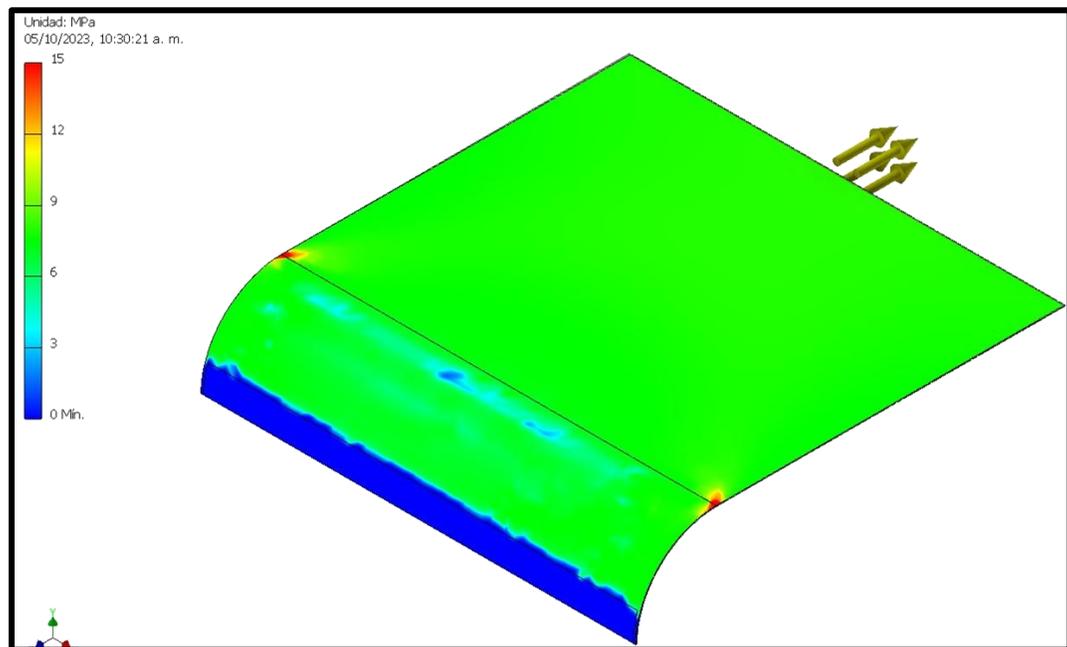


Figura 23. Simulación de la distribución de cargas sobre la superficie de un material laminado, unido al Core de forma recta por medio de una única cinta continua, ubicada de forma perpendicular al sentido máquina, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

La respuesta a este hallazgo fue la propuesta, diseño y ensamblaje de una estructura simple para ubicar tres dispositivos electrónicos denominados "láser de línea" en el módulo rebobinador de la máquina laminadora LA03. Estos dispositivos están destinados a proporcionar un soporte visual fácil y rápido para los operarios del equipo al momento de ubicar, centrar y empatar el material, no solo con respecto al core, sino también al centro de la máquina. Esto es especialmente útil cuando se inicia un nuevo pedido, se cambia una bobina y/o se realiza un empate entre materiales (ver Figura 24).

Esta mejora, gestionada por el departamento de calidad con el apoyo del área de mantenimiento e ingeniería de ALICO S.A.S., experimentó un retraso considerable en sus tiempos de entrega, finalizando tan solo diez días antes del final del periodo estipulado para las prácticas académicas. Esto se debió a la gestión inoportuna de las piezas y los permisos para la intervención de la máquina, lo que no permitió la realización de un seguimiento representativo del impacto en los desperdicios. Aun así, se entregó al líder del proceso el instructivo paso a paso para utilizar la mejora, así como una plantilla guía para llevar a cabo las auditorías de calidad enfocadas en realizar un seguimiento del correcto uso de la mejora (ver Figura 25).

En resumen, el objetivo del dispositivo fue asegurar una correcta ubicación y centrado del material a lo largo del recorrido de la máquina con respecto al módulo rebobinador, módulo en el cual se enrolla bajo tensión el material laminado terminado para su posterior paso a las torres de curado. Hasta la fecha, ninguna de las máquinas con las que cuenta la compañía tiene a disposición del operario una ayuda visual para el centrado de los materiales en el módulo rebobinador, a diferencia de los módulos desbobinadores que cuentan con dispositivos de guiado incorporados en el diseño de la máquina; el funcionamiento de estos fue analizado más adelante en este estudio. El diseño y montaje de dicha mejora se llevó a cabo en la laminadora LA03, bajo el liderazgo del departamento de calidad en el cual se realizaron las prácticas académicas. Esto fue posible al integrar de manera estratégica al área de ingeniería para realizar el diseño de la mejora y el área de mantenimiento para la gestión en la fabricación y pedido de piezas necesarias para el montaje de esta.

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

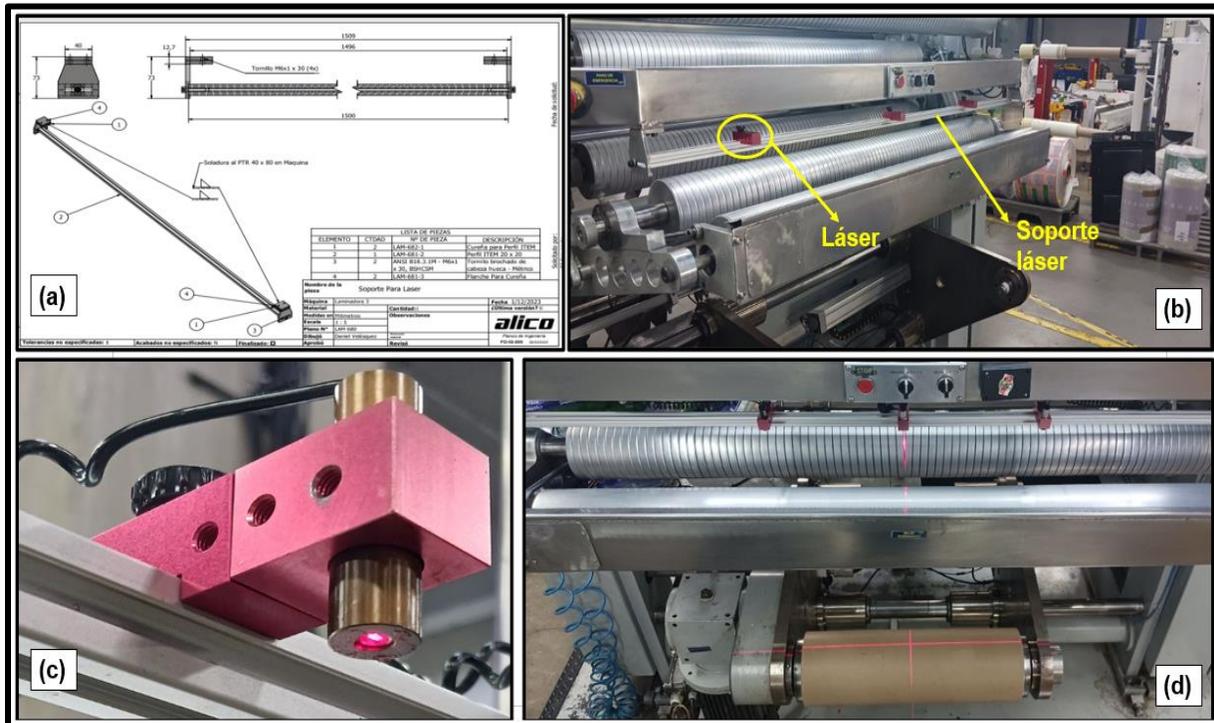


Figura 24. (a) diseño láser, (b) montaje de soporte láser ubicado en el módulo rebobinador, (c) láser, y (d) láser en funcionamiento [Autoría propia].

alico		INSTRUCTIVO ESTANDARIZADO DE ACTIVIDAD		CÓDIGO:
				VERSIÓN: 1
				FECHA:
NOMBRE DEL INSTRUCTIVO: EMPATE DEL MATERIAL LAMINADO A LA TARA				
UNIDAD DE NEGOCIO		PROCESO		
Empaques		Laminación		
CONOCIMIENTO PREVIO REQUERIDO		ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)		
		Protectores de oídos		
HERRAMIENTAS - PARTES - MATERIALES		TIEMPO DE CICLO [min]		
Cinta verde de laminación, material laminado y tara				
No	QUÉ HACER: (ETAPA -	CÓMO HACERLO: (DESCRIPCIÓN BREVE Y CONCISA DE COMO	CARGO DEL RESPONSABLE DE REALIZAR LA ETAPA	APOYOS: ESTÁNDAR, LUP, IMAGEN QUE AYUDE A EJECUTAR LA
				(a)
Fecha	Hora	Operario	Trabajo	Cumple con el instructivo de emparte del material laminado al Core, (sí o no).
				(b)

Figura 25. (a) Instructivo de emparte del material laminado al Core para el proceso de laminación, y (b) seguimiento planteado para las auditorías de calidad [Autoría propia].

6.4 Pérdida de Tensión.

Durante el seguimiento llevado a cabo en planta con los operarios y líder del proceso, se identificó que la “pérdida de tensión” se refiere al retroceso del material laminado que previamente se enrolló bajo tensión para formar una bobina finalizada. Además, se encontró que este fenómeno se debe a la naturaleza disímil de los sustratos utilizados en la laminación; debido a que cada uno de estos sustratos responde de manera única al mismo estado de esfuerzos inducido por las tensiones parametrizadas en el controlador electrónico de la máquina laminadora. Por lo tanto, “es de suma importancia manejar adecuadamente estos parámetros de tensión, asegurándose de situarlos al interior de la ventana de proceso “esfuerzo-deformación” de los materiales que conforman el producto terminado” [22]. Esto garantiza el procesamiento del material sin generar deformaciones debido a un manejo inadecuado de las tensiones en máquina. Finalmente, con el apoyo de la matriz AMEF del proceso, se asociaron los defectos como túneles, quiebres y arrugas a este modo potencial de falla.

Es importante destacar que el análisis respecto al comportamiento mecánico de los materiales fue basado principalmente en la ley de Hooke, la cual explica el principio de recuperación de forma para un material sometido a condiciones de esfuerzo en sentido axial [23]. También se identificó, que la prevención de este modo potencial de falla depende en gran medida de la habilidad y experticia del operario para llevar a cabo el “empate” de la cinta adhesiva al finalizar la bobina (ver Figura 26). En este punto del “empate”, donde se emplea la cinta adhesiva para inhibir el retroceso del material, debe realizarse de forma rápida, para evitar la pérdida de tensión en los primeros metros de la bobina debido al paro de máquina, y cuidadosamente para no inducir defectos de calidad. Un manejo inadecuado por parte del operario al adherir las cintas al material laminado puede resultar en desviaciones de calidad a lo largo de la bobina finalizada. Por lo tanto, se abordó este problema desde la perspectiva de la manipulación adecuada del material laminado por parte del personal operativo, enfocándose en entregar un procedimiento correcto para la aplicación y fijación de las cintas a los colaboradores del proceso.



Figura 26. Bobina laminada de 1200 mm de ancho finalizada y empataada con 7 cintas adhesivas, bajo el seguimiento de la lección de un punto llamada “Correcto empate del material laminado terminado” entregado a los colaboradores del proceso de laminación [Autoría propia].

A manera de resumen: dada la diversidad de productos con diferentes estructuras y geometrías manejadas por ALICO S.A.S., se optó por enfocarse en la estructura de mayor producción en el proceso de laminación, la cual es conocida como estructura # 1 para este informe, debido a ser información confidencial de la compañía. Se llevó a cabo una investigación centrada en diversas condiciones de empates con cinta que resultan en pérdida de tensión de las primeras vueltas de la bobina. Esto implicó la creación de diferentes escenarios de simulación, que arrojaron luz sobre los efectos de variables como la longitud y el número de cintas utilizadas para distintos anchos de bobina, obtenido con Autodesk Inventor [14]. Cabe destacar que la tensión se mantuvo constante en todos los escenarios de simulación; el análisis del comportamiento de este fenómeno se realizó con la colaboración del personal del proceso, observando varias condiciones de empates que afectan la unión y adherencia de la cinta al finalizar la bobina de material laminado.

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Asimismo, se utilizaron valores específicos de las propiedades del material que conforman la estructura # 1 y la cinta utilizada en el proceso para recrear los ambientes de simulación, permitiendo direccionar los resultados de manera real (ver Tabla 1 y Tabla 3). El método de investigación de este fenómeno constó de dos etapas: la primera fue analizar cómo influye el número de cintas y la longitud de estas para anchos de bobinas laminadas entre 0 mm y 500 mm, y la segunda etapa que abordó el mismo análisis, pero para anchos de bobinas laminadas de 500 mm a 1000 mm. Esta estrategia se tomó basándose en el análisis de la información obtenida con ayuda de la herramienta llamada tabla dinámica del software Excel, mediante la cual se identificaron los anchos de materiales con mayor frecuencia en el proceso (ver Figura 8). Esto permitió direccionar y acotar los experimentos para las distintas condiciones de ancho. Además, brindó la capacidad de apoyar la toma de decisiones para garantizar la rentabilidad de los materiales laminados que presentan defectos asociados a este modo potencial de falla. Para cada escenario, se consideró esencial que las cintas estén ubicadas de forma paralela al sentido de funcionamiento de la máquina. Esta práctica se basa en el estudio previo del modo potencial de falla designado “material mal pegado” y la limitante asociada al ancho de la cinta adhesiva utilizada en el proceso.

Por último, en cada escenario de simulación, se da por sentado que las longitudes de las cintas a cada lado, a partir de la mitad de estas, son iguales. Por ejemplo, al unir una bobina finalizada de 500 mm de ancho con tres cintas de 200 mm a cada lado, a partir de la mitad de estas. La bobina laminada experimenta una considerable "pérdida de tensión" en sus primeras vueltas. (ver Figura 27). Ahora, al “empatar” una bobina finalizada, utilizando tres (3) cintas de 400 mm a cada lado a partir de la mitad de estas, el material continúa experimentando "pérdida de tensión" (ver Figura 28). Finalmente, si el material bajo las mismas condiciones cuenta con tres (3) cintas de 700 mm de longitud a cada lado, a partir de la mitad de estas. Sigue predominando la pérdida de tensión, la cual se identifica por el contorno azul (ver figura 29).

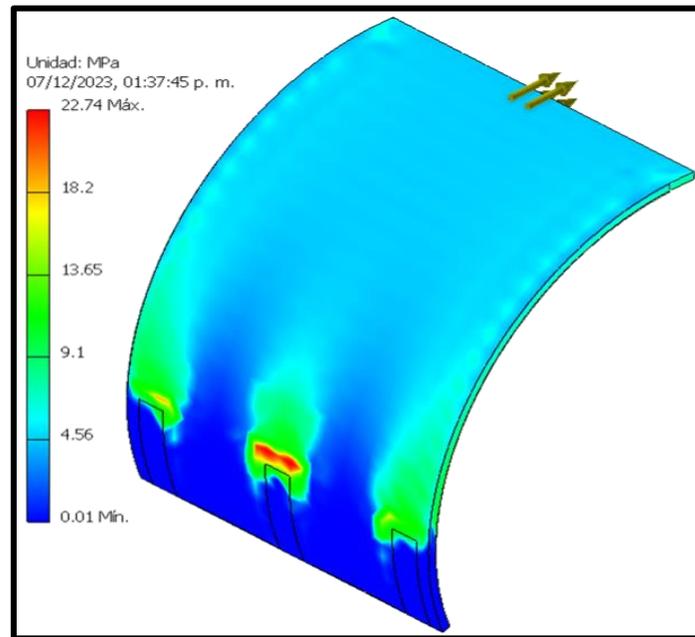


Figura 27. Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 500 mm de ancho, unido al mismo material por medio de tres (3) cintas de 200 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

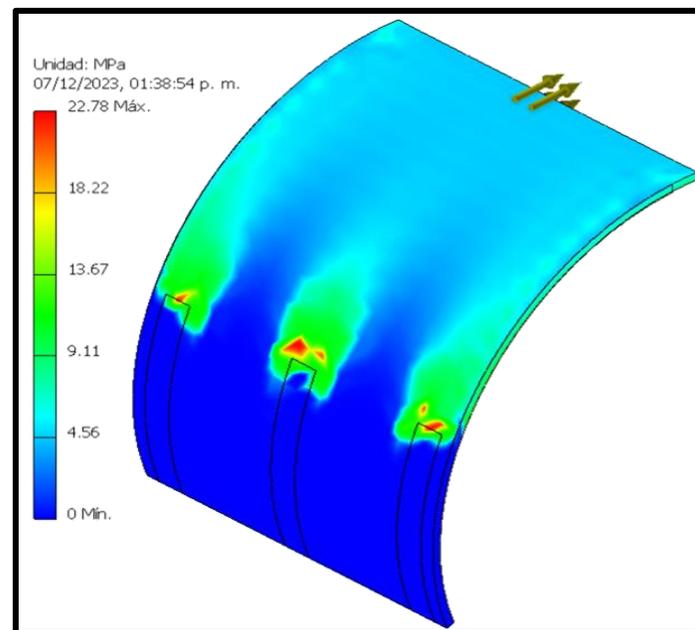


Figura 28. Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 500 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de tres (3) cintas de 400 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

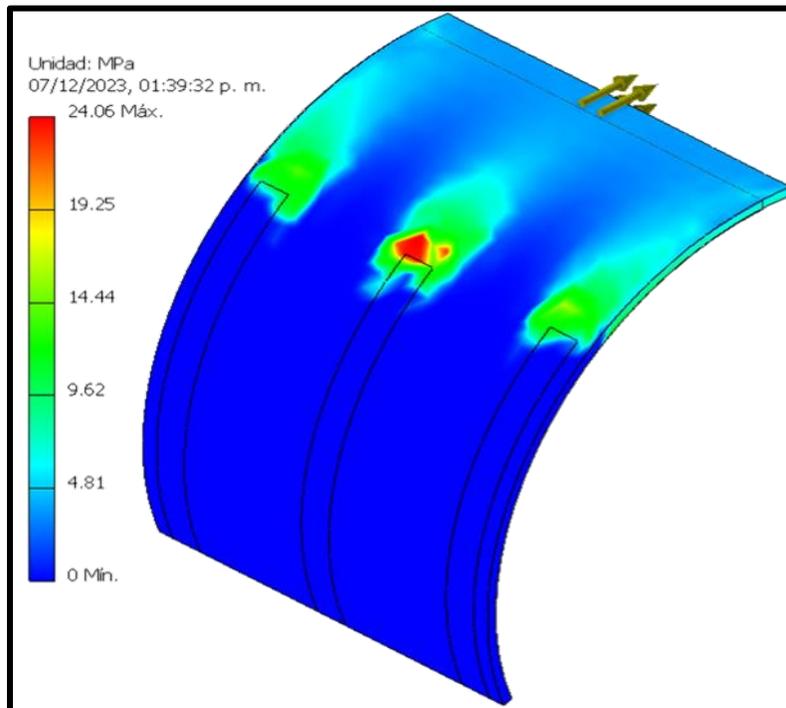


Figura 29. Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 500 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de tres (3) cintas de 700 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

Por otro lado, si se tiene un material laminado de 500 mm de ancho plano con cinco (5) cintas de 200 mm de longitud a cada lado, a partir de la mitad de estas. La zona de pérdida de tensión para el material parece desaparecer de forma considerable, al mantenerse por debajo del contorno delimitado por las cintas (ver Figura 30). Análogamente, si se hace uso de cinco (5) cintas con una longitud de 400 mm a cada lado, a partir de la mitad de estas. Se observó que la pérdida de tensión sigue siendo mínima (ver Figura 31). Por último, se evaluó para el mismo ancho de 500 mm, con cinco (5) cintas de 700 mm a cada lado, a partir de la mitad de estas, y la pérdida de tensión presentó el mismo comportamiento (ver Figura 32).

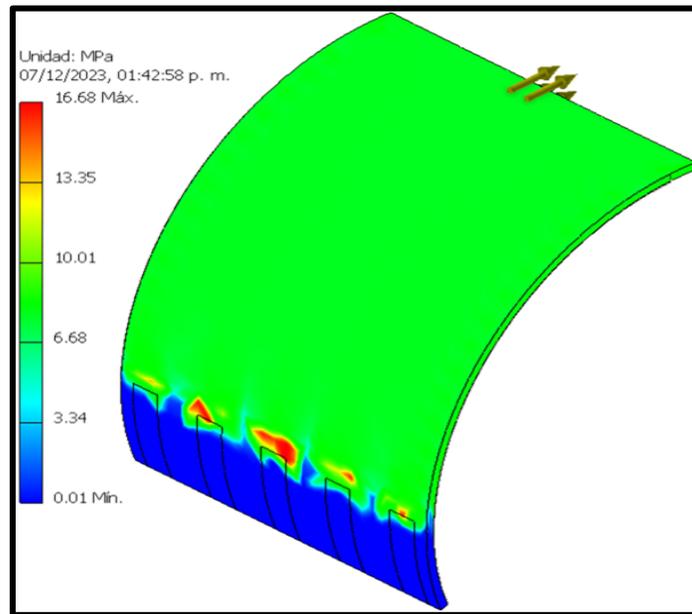


Figura 30. Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 500 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de cinco (5) cintas de 200 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

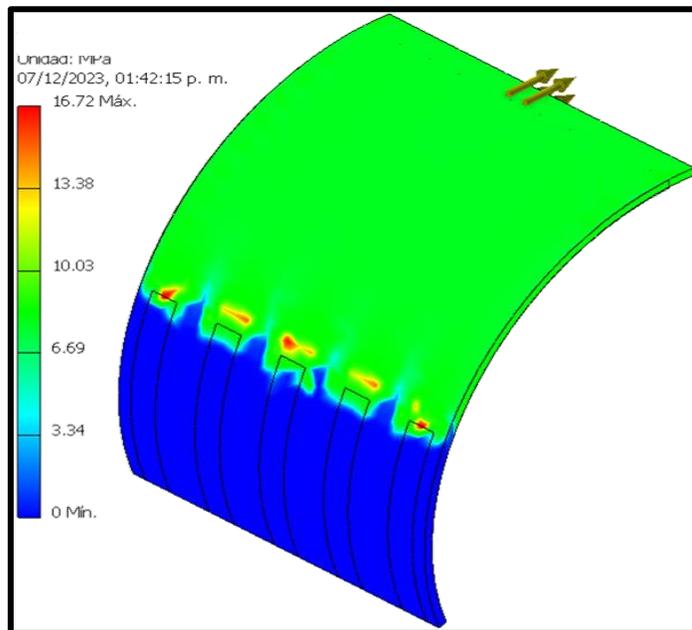


Figura 31. Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 500 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de cinco (5) cintas de 400 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

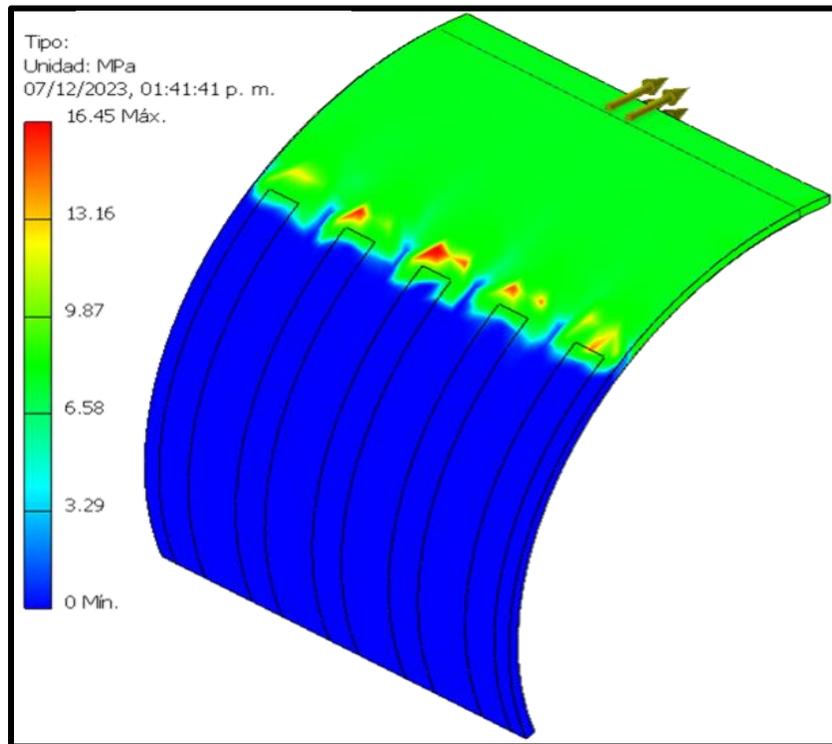


Figura 32. Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 500 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de cinco (5) cintas de 700 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

Asimismo, se identificó el comportamiento de la pérdida de tensión para bobinas finalizadas con un ancho mayor a 500 mm. Por ejemplo, para una bobina laminada de 1000 mm de ancho, unida por medio de tres (3) cintas de 400 mm de longitud a cada lado, a partir de la mitad de estas. El material presenta notables zonas de deformación inducidas por la pérdida de tensión sobre la superficie (ver Figura 33).

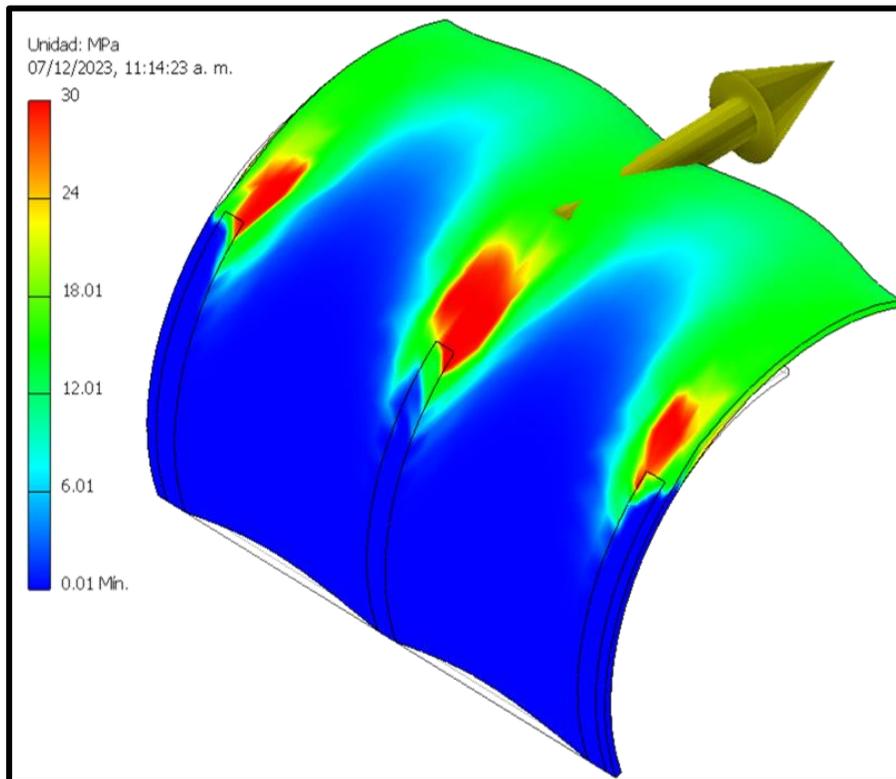


Figura 33. Simulación del comportamiento de la deformación para un material laminado de 1000 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de tres (3) cintas de 400 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

Para una bobina de un mismo material de 1000 mm de ancho a la cual se le adhieren cinco (5) cintas de 200 mm de longitud a cada lado, a partir de la mitad de estas, la pérdida de tensión es considerable (ver Figura 34). Además, si se analiza un caso similar, con cinco (5) cintas de 400 mm de longitud a cada lado, a partir de la mitad de estas, la pérdida de tensión apareció también más allá del contorno delimitado por las cintas (ver Figura 35).

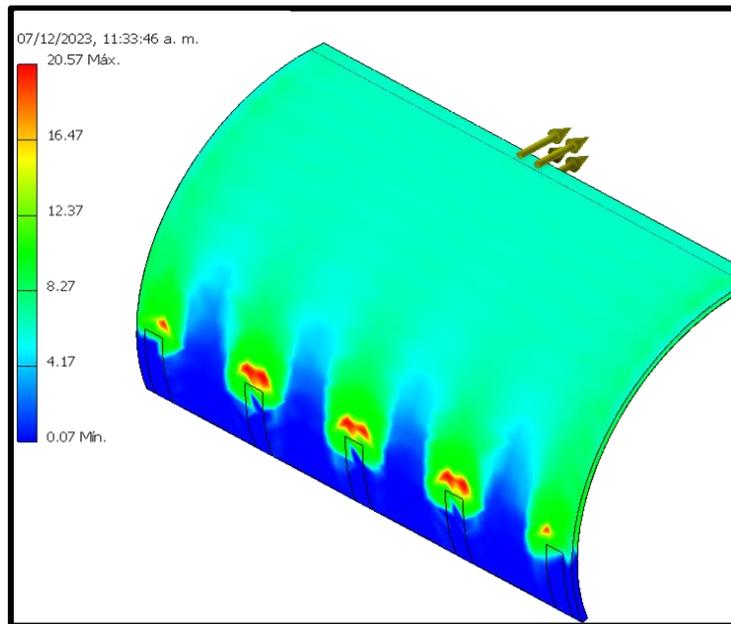


Figura 34. Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 1000 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de cinco (5) cintas de 200 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

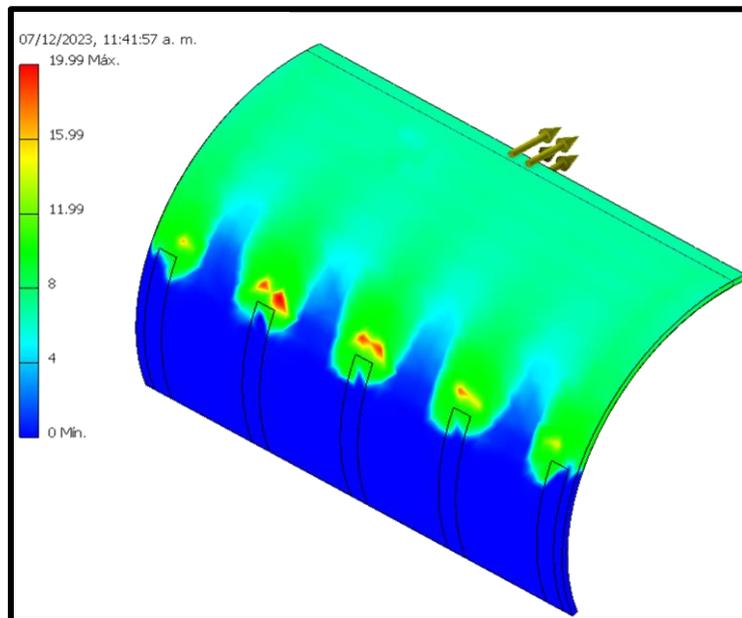


Figura 35. Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 1000 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de cinco (5) cintas de 400 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Para el caso de tener cinco (5) cintas de 700 mm de longitud a cada lado, a partir de la mitad de estas, la pérdida de tensión sigue apareciendo más allá del contorno permisible delimitado por la geometría de las cintas (ver Figura 36). Por último, se aumentó el número de cintas para unir los materiales a siete (7) con el fin de identificar que sucedía con las zonas de pérdida de tensión delimitadas por el contorno azul, y se modelaron distintos escenarios con las mismas condiciones de longitud tomadas para los otros casos. Inicialmente se hizo con una longitud por cinta de 200 mm, a partir de la mitad de estas (ver Figura 37). Se repitió el mismo procedimiento para evaluar las 7 cintas, esta vez con una longitud de 400 mm a cada lado, a partir de a mitad de estas (ver Figura 38). Finalmente, se simuló el comportamiento de pérdida de tensión al utilizar siete (7) cintas, esta vez con una longitud de 700 mm a cada lado, a partir de a mitad de estas (ver Figura 39). Se encontró que para un ancho de bobina de 1000 mm se deben utilizar mínimo siete (7) para inhibir la pérdida de tensión sin aumentar el consumo de cintas de forma considerable.

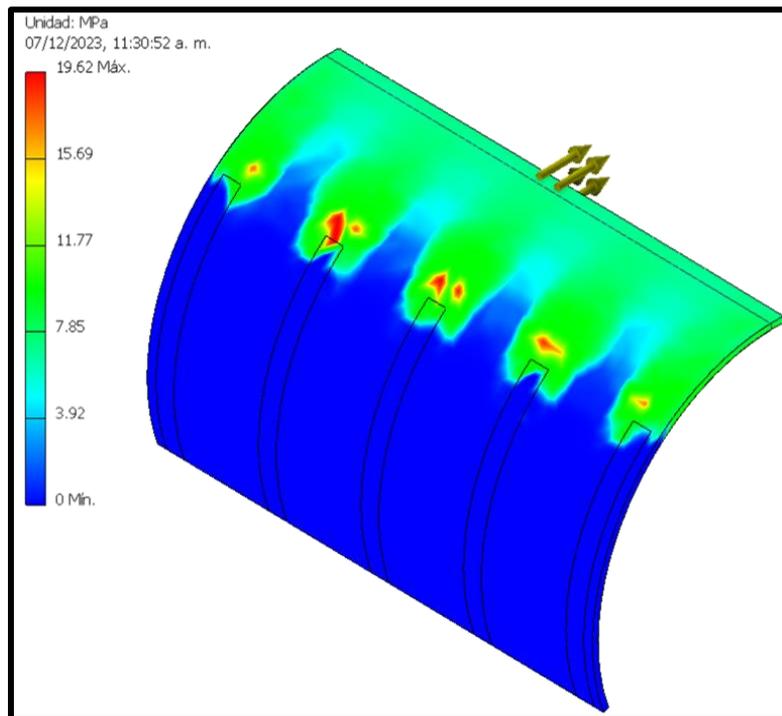


Figura 36. Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 1000 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de cinco (5) cintas de 700 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

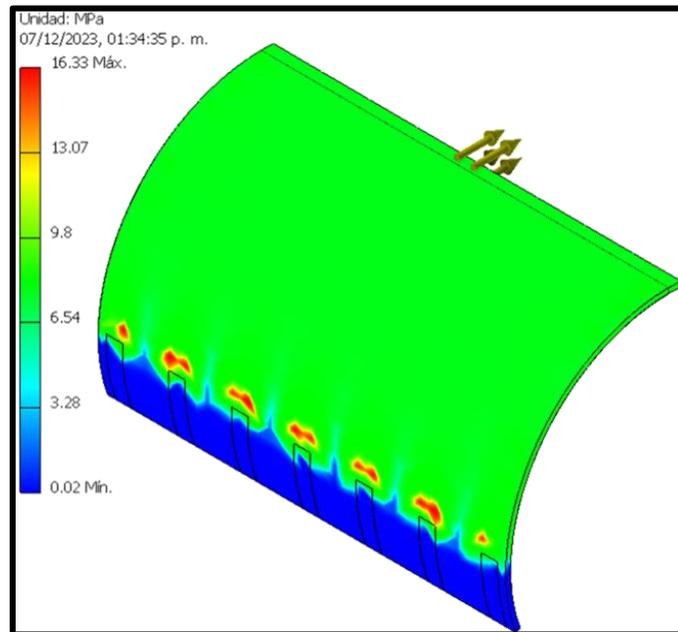


Figura 37. Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 1000 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de siete (7) cintas de 200 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

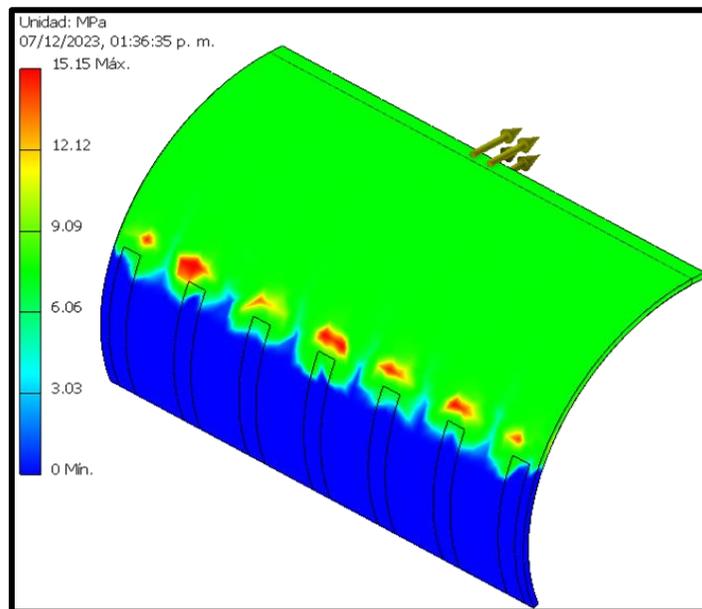


Figura 38. Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 1000 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de siete (7) cintas de 400 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

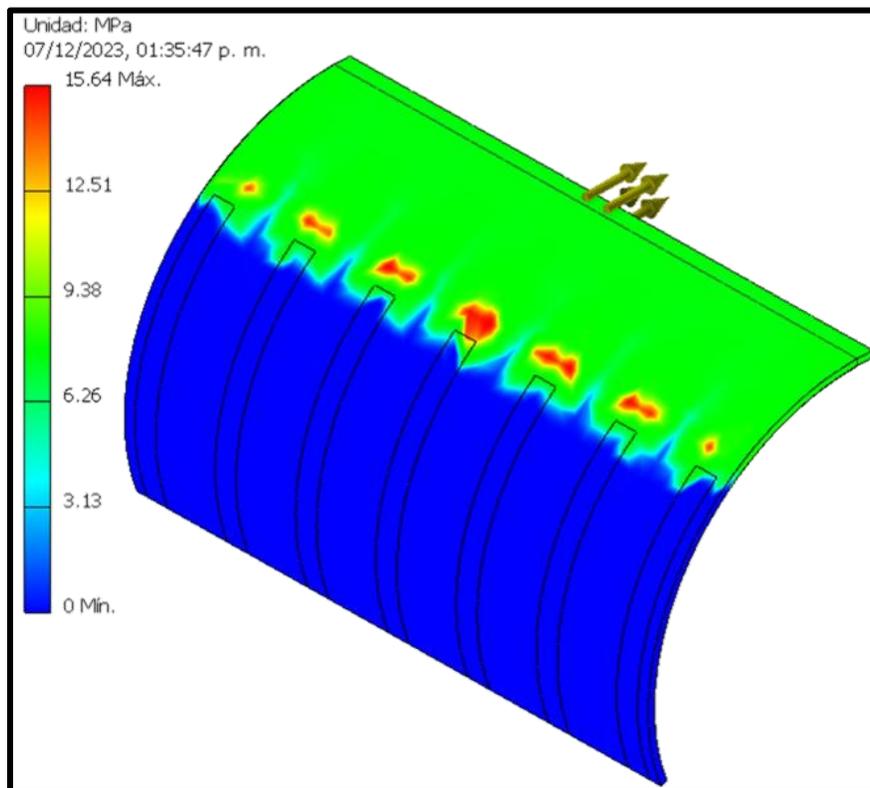


Figura 39. Simulación de pérdida de tensión para un material laminado de 1000 mm de ancho plano, unido al mismo material por medio de siete (7) cintas de 700 mm de longitud a cada lado, a partir la mitad de estas, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

En resumen, con el apoyo de los ambientes de simulación, se determinó una técnica adecuada para unir los diferentes anchos de los materiales laminados con el menor número de cintas posible, con el objetivo de evitar posibles fallos y minimizar los costos en el consumo de cinta adhesiva. Se estableció que para bobinas con anchos de 0 mm a 500 mm se requieren 5 cintas, mientras que para anchos de 500 mm a 1000 mm se necesitan 7 cintas. Además, se identificó que la longitud de las cintas no afecta la pérdida de tensión como si es el caso para el número de cintas. También, se concluye que las cintas deben situarse de forma recta y paralela respecto al sentido máquina, y ser elongadas desde sus extremos hasta alcanzar su zona de deformación plástica, evidenciando así un cuello en sus extremos, buscando evitar la elongación prolongada del material compuesto de la cinta adhesiva, lo que podría contribuir aún más en la pérdida de tensión de la bobina [21].

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Finalmente, se elaboró una lección de un solo punto que recopila toda esta información de manera clara y detallada, la cual fue divulgada a la totalidad de los operarios del proceso (Ver figura 40). La reunión para la divulgación de la información se llevó a cabo utilizando los diversos entornos de simulación obtenidos para facilitar la comprensión del fenómeno por parte del personal operativo. Por último, para asegurar la aplicación efectiva de la lección de un solo punto enfocada en el pegado de cintas al finalizar una bobina laminada, se creó e implementó un seguimiento mediante auditorías escalonadas durante todo el mes de enero (ver Figura 41). Los datos recopilados mostraron resultados satisfactorios al demostrar un buen nivel de aceptación y compromiso por parte del personal para seguir las buenas prácticas en la manipulación de los materiales.

Lecciones

-Doblar el material con el fin de apreciar el diseño, solo es necesario si este no es perceptible a simple vista. En caso de que el diseño sea visible sin necesidad de doblar, no se debe realizar el doblez.

-En cada extremo del laminado, exactamente en el límite del adhesivo aplicado, se debe pegar una cinta.

-Vista lateral de la bobina laminada.

-La cinta debe cubrir como mínimo 1/3 parte de la superficie de la bobina.

NOTA: número de cintas por bobina según su ancho plano.
-Ancho plano de .m, cintas.
-Ancho plano de cm, cintas.
-Ancho plano de cm en adelante, cintas.

-La longitud # 1 y longitud # 2 deben ser aproximadamente iguales.

-La cinta debe experimentar una deformación a lo largo de su longitud al estirarla, dando lugar a la formación de un cuello en sus extremos.

Elaboró Nicolás Guerrero Arango

Figura 40. Lección de un solo punto entregada al proceso de laminación para el correcto empare del material laminado terminado [Autoría propia].

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

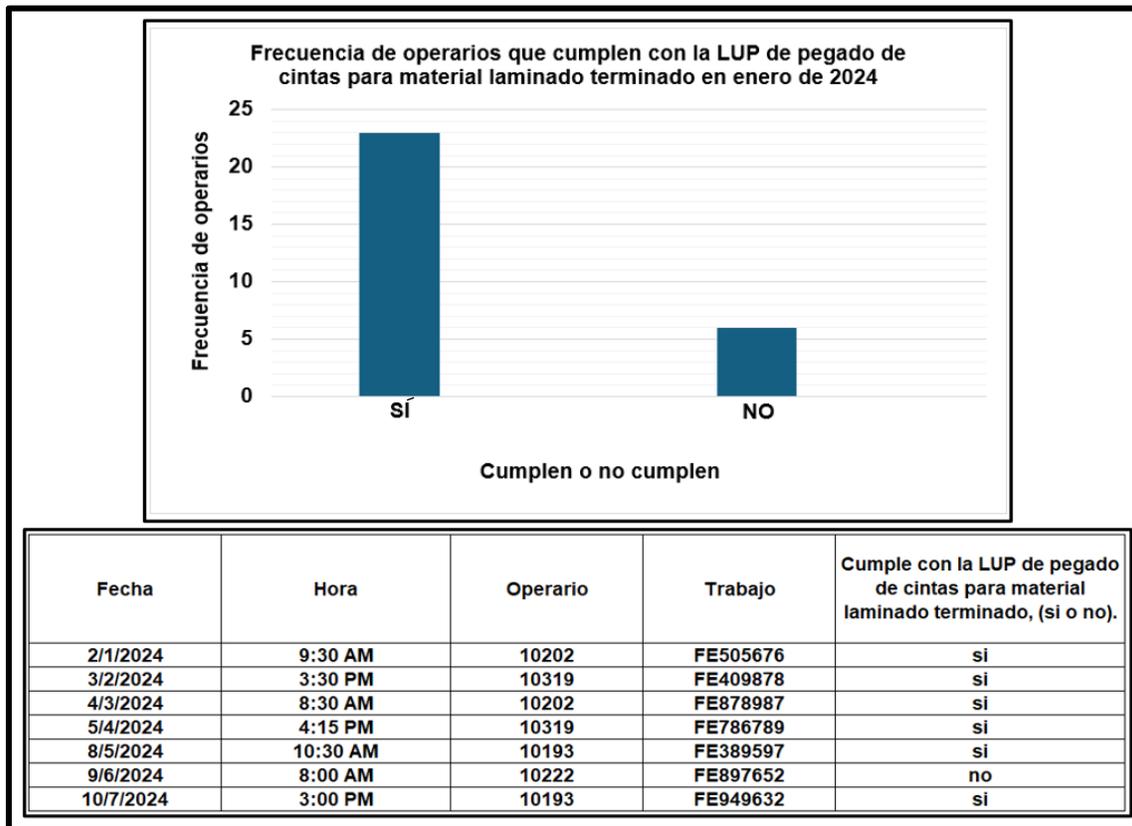


Figura 41. Seguimiento del mes de enero para el cumplimiento de la LUP pegado de cintas para el material laminado terminado [Autoría propia].

Es importante destacar que la realización de auditorías de calidad de forma continua es fundamental para garantizar estándares de excelencia, ayudan a detectar el estado actual de las prácticas de manufactura llevadas a cabo por el personal operativo, previenen defectos y aseguran la satisfacción del cliente. En un mercado competitivo, son la clave para mantener la calidad y la confianza en los productos y servicios ofrecidos. Por lo tanto, seguir realizándolas de manera constante es esencial para mantener altos estándares de calidad.

6.5 Bajo nivel de adhesivo en la piscina.

Durante el seguimiento en planta para comprender el funcionamiento de este modo potencial de falla, se identificó que el término "bajo nivel de adhesivo en la piscina" se refiere a una situación donde existe una cantidad insuficiente de adhesivo entre los rodillos alimentadores que forman parte del módulo aplicador de la máquina laminadora (ver Figura 4 y Figura 42). “Este problema puede tener diversas causas, tales como problemas en los motores que controlan el flujo de los componentes del adhesivo hacia la piscina, una relación de mezcla incorrecta, fallas eléctricas en el sensor que monitorea el nivel de adhesivo, errores operativos, daños en los rodillos, falta de limpieza en el módulo aplicador, entre otros” [15].

Por medio del estudio para este modo potencial de falla con el apoyo de la matriz AMEF se identificó que presenta una alta frecuencia de ocurrencia, una severidad elevada y un modo de detección difícil (ver Figura 6). Además, durante el seguimiento en planta, también se identificó que la principal causa de esta problemática radica en una manipulación inadecuada por parte del personal operativo del sensor que monitorea el nivel de adhesivo en la piscina, esto ocurre durante las labores de limpieza autónoma en el módulo aplicador de la máquina.

Dada la delicadeza del dispositivo, está prohibido para el personal operativo modificar o programar el sensor del nivel de adhesivo, restringiendo su manipulación únicamente para su cambio de posición. Una manipulación brusca o inapropiada podría ocasionar daños eléctricos o físicos en el sensor. Por lo tanto, se reconoció la necesidad de elaborar una guía detallada que especifica los elementos, usos y métodos apropiados para realizar la manipulación del sensor de nivel de adhesivo. Se solicitó al departamento de mantenimiento de empaques de ALICO S.A.S., encargado de garantizar el adecuado funcionamiento y uso de los instrumentos mecatrónicos de la compañía, la gestión para la elaboración de este documento (ver Figura 43).

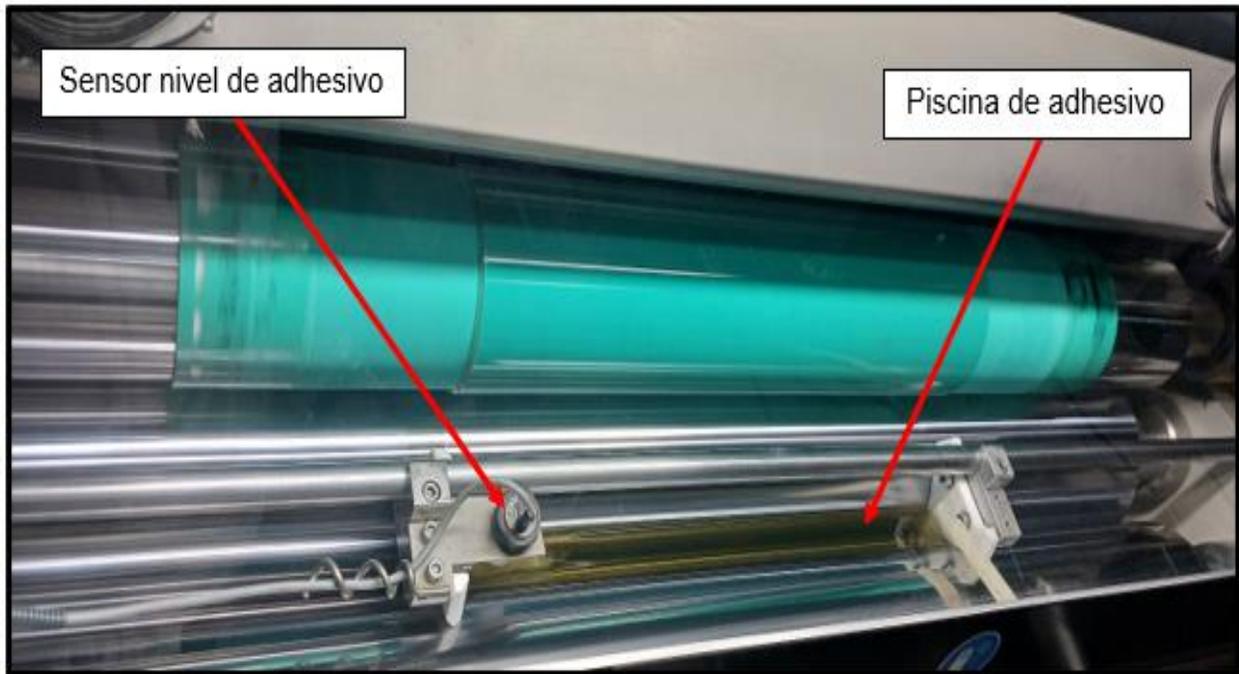


Figura 42. Piscina de adhesivo entre los rodillos alimentadores R1 y R2 [Autoría propia].

Lecciones d

Tornillo de montaje/desmontaje

Inspección estado del lente del sensor

Disposición del sensor mientras se hace aseo

¿Qué NO se debe hacer?

- ✗ NO desconectar el sensor
- ✗ NO limpiar el sensor, llamar a mantenimiento en caso de estar sucio
- ✗ NO dejar colgado cuando se desmonte, **usar el gancho**

Figura 43. Lección de un solo punto para la correcta manipulación del sensor de nivel en la canoa [Autoría propia].

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Por último, durante todo el mes de enero, se realizó un seguimiento diario de las acciones correctivas implementadas en la máquina laminadora LA03 para este modo potencial de falla. El seguimiento consistía en revisar que el dispositivo estuviese programado y posicionado de manera adecuada, para garantizar la exitosa lectura del nivel de adhesivo de acuerdo con el posicionamiento de los rodillos alimentadores. En general, los resultados mostraron un óptimo uso del sensor de nivel de adhesivo, evidenciando así el éxito de las medidas adoptadas (ver Figura 44).

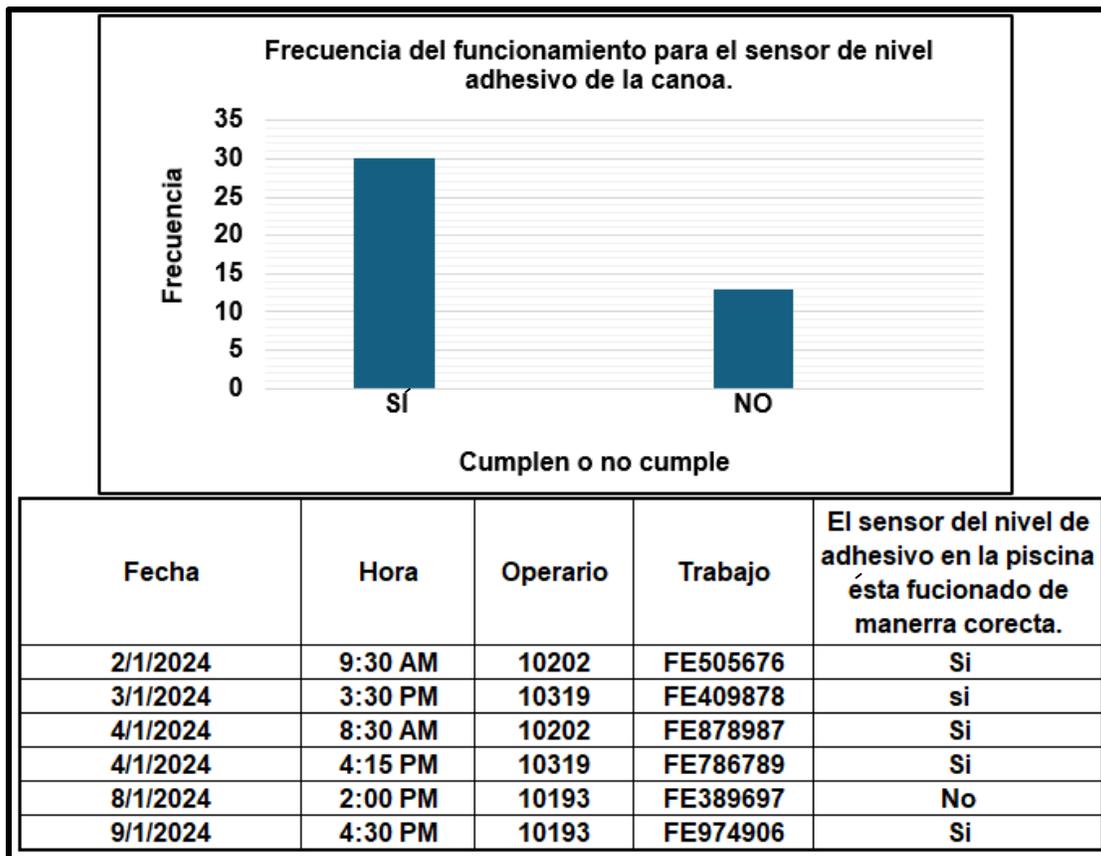


Figura 44. Control y seguimiento para uso del sensor de nivel de adhesivo en la piscina [Autoría propia].

6.6 Montaje de capa sellante incorrecta.

El término "montaje de capa sellante incorrecta" se refiere a una mala selección y uso del polímero de capa sellante, comúnmente polietileno, ubicado en el desbobinador # 2 de la máquina laminadora, donde se utiliza un material que no cumple con las especificaciones requeridas por el cliente para el producto terminado (ver Figura 1). Esta falla operativa ocasiona una serie de problemas de calidad relacionados con la funcionalidad, apariencia y rentabilidad del empaque [15].

Con la ayuda de la matriz AMEF, se identificó que este modo potencial falla presenta una ocurrencia moderadamente baja, pero con una altísima severidad y un bajo modo de detección. Esto significó que, aunque no es un evento frecuente, sus consecuencias pueden ser extremadamente graves, y además puede ser difícil de detectar a tiempo para evitar desperdicios significativos que afecten los costos de calidad. Este error puede manifestarse en la aplicación de un color o espesor inapropiado de la capa sellante, lo cual compromete la apariencia visual del empaque, afectando así, la calidad del producto para el consumidor final. Además, el uso de un material incorrecto también afecta la funcionalidad del empaque, que posiblemente no proporcionará la barrera adecuada para proteger el producto contenido durante el tiempo estipulado e incluso contar con una baja resistencia mecánica [15]. Esto puede llevar a problemas como la pérdida de frescura del producto a empacar, exposición a la humedad y un empaque fuera de especificaciones. Finalmente, para impactar en este modo potencial de falla, se realiza la redifusión del plan de calidad y la lección de un sólo punto proporcionada por el departamento de calidad de forma semanal a lo largo del mes de septiembre, octubre, noviembre y diciembre (ver Figura 45).

Además, se utilizó un formulario de Google, dado por el departamento de calidad para llevar a cabo las auditorias de calidad a lo largo de este periodo de tiempo, como medida de control de las acciones implementadas en el proceso para este modo potencial de falla (ver Figura 46) [24].

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)



Figura 45. Lección de un solo punto para la inspección de materiales a laminar [16].

FO-MN-029 INSPECCIÓN DE PLANES DE CALIDAD Y SEGURIDAD DEL PRODUCTO V.1 LAMINACIÓN

pcalidad@alico-sa.com [Cambiar de cuenta](#)

No compartido

* Indica que la pregunta es obligatoria

Nombre del cargo

Nombre *

Nicolás Guerrero

Atrás Siguiente Borrar formulario

Líder de Producción

Analista de Calidad

Practicante Calidad

Otro

Cumplimiento de las Variables del Plan de Calidad y Seguridad del Producto

Compare la ruta de trabajo, los registros de la inspección con el plan de calidad y seguridad del producto

	Cumple	No cumple	N/A
Adhesivo acorde a la ingeniería	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Material libre de suciedad que afectan a estética final	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ausencia de plagas / microorganismos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ausencia material extraño	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ausencia sustancias químicas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Solventes retenidos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Manga acorde a la ingeniería	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Conservación de altura del impreso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ubicación de las caras de los sustratos acorde al instructivo I-P-E-001 y/O ruta de trabajo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Calibre acorde a la especificación final [µm]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ancho plano del material acorde para el refilte final [mm]	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 46. Cuestionario de inspección de planes de calidad y seguridad del producto [24].

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Gracias a las auditorías de calidad se evidenció que la ocurrencia de este modo potencial de falla a lo largo del periodo de prácticas académicas en la LA03 se resume en tres (3) eventos, mostrando el impacto positivo de las reuniones semanales para la redifusión del plan de calidad y la lección de un sólo punto para la debida inspección de materiales (ver Figura 47).

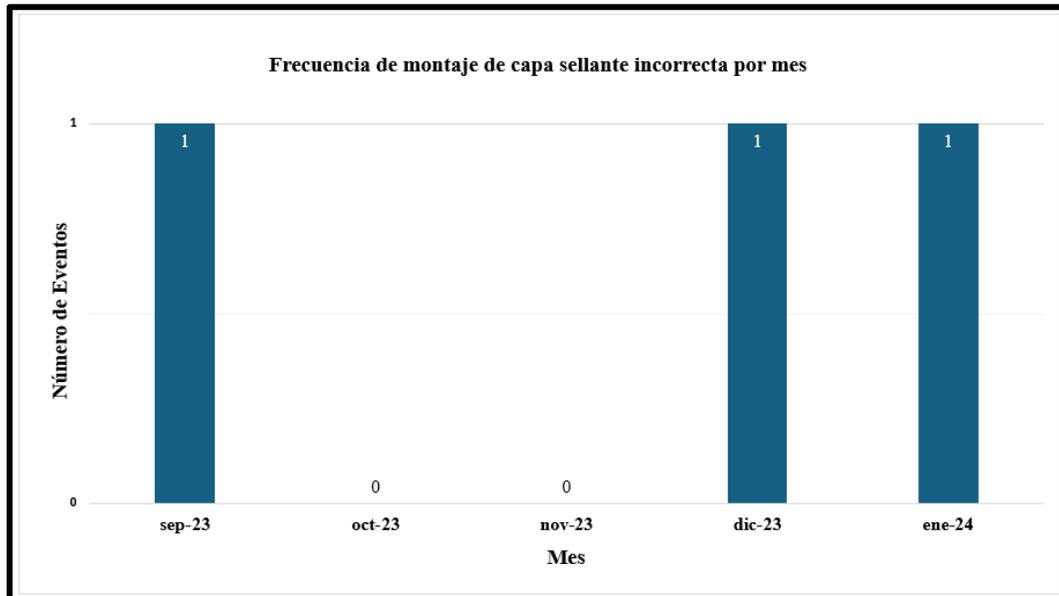


Figura 47. Control y seguimiento montaje de capa sellante incorrecta [Autoría propia].

6.7 Bobina atrapada

La "bobina atrapada" se refiere a la situación en la que se produce un atrapamiento de la bobina laminada bajo tensión en el módulo rebobinador de la máquina laminadora, sucede justo entre el contacto del core y los aditamentos de sujeción ubicados en el módulo rebobinador (ver Figura 48) [16]. Este modo de falla presentó uno de los desafíos más complejos en términos de calidad, ya que su resolución depende en gran medida de la pericia y habilidad del operario. Además, presentó una dificultad considerable al momento de mapear con precisión como afecta los costos del proceso, especialmente en términos de desperdicios, dada su "naturaleza multifactorial que puede provocar múltiples defectos de calidad como quiebres, túneles y arrugas" [12].

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Tras un exhaustivo seguimiento en la planta de procesos, se identificó que este problema está estrechamente relacionado con dos actividades específicas: la inspección del aditamento neumático-mecánico o mecánico que sostiene la bobina laminada, y la revisión del core o eje cilíndrico hueco. Para este caso, las prácticas por parte de los operarios del proceso a la hora seleccionar los cores usados para sostener la bobina laminada, es la actividad principal que induce este modo de falla, el cual tiene una alta participación en los costos de calidad.

Para abordar esta situación, se desarrolló y divulgó un instructivo detallado que proporciona orientación al personal sobre la selección y manipulación adecuada de los cores (ver Figura 49). Además, se implementó un formato en el software Excel para monitorear el uso y seguimiento del instructivo entregado a lo largo del mes de enero del año 2024. Este último arrojó datos satisfactorios de cumplimiento por parte de los colaboradores del proceso (ver Figura 50).



Figura 48. Lugar de atrapamiento de la bobina laminada, ubicada entre el contacto del Core y el eje del rebobinador de la máquina [Autoría propia].

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

alico		INSTRUCTIVO ESTANDARIZADO DE ACTIVIDAD		CÓDIGO:
				VERSIÓN:
				FECHA:
NOMBRE DEL INSTRUCTIVO:		INSPECCIÓN DE TARAS		
UNIDAD DE NEGOCIO		PROCESO		
Empaques		Laminacion		
CONOCIMIENTO PREVIO REQUERIDO		ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)		
		Proteccion auditiva		
HERRAMIENTAS - PARTES - MATERIALES		TIEMPO DE CICLO [min]		
CORE DE 6 PULGADAS				
No	QUÉ HACER: (ETAPA - ACTIVIDAD)	CÓMO HACERLO: (DESCRIPCIÓN BREVE Y CONCISA DE COMO REALIZAR LA ETAPA O ACTIVIDAD)	CARGO DEL RESPONSABLE DE REALIZAR LA ETAPA O ACTIVIDAD	APOYOS: ESQUEMA, LUP, IMAGEN QUE AYUDE A EJECUTAR LA ETAPA O ACTIVIDAD
				
5	Montar tara en el rebobinador	<p>*Se debe posicionar la tara de forma que no ocasione daños en los bordes de tara.</p> <p>*Introducir el flujo de aire comprimido de forma suave y sin ocasionar deformaciones en la tara.</p>	Operario y/o auxiliar	

Figura 49. Instructivo para la correcta inspección del Core [Autoría propia].

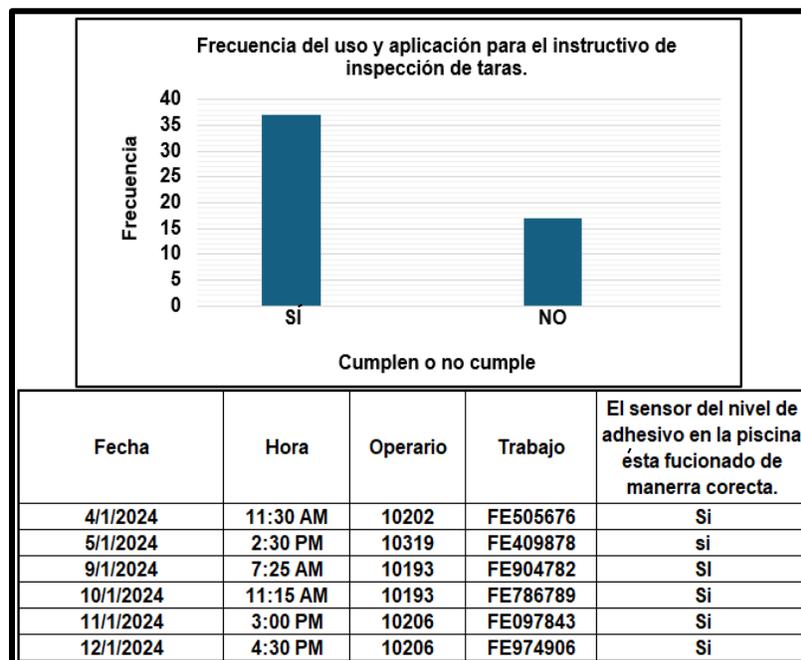


Figura 50. Control y seguimiento para uso del instructivo de inspección de Core [Autoría propia].

6.8 Empate mal realizado

Los "empates mal realizados" en el proceso de laminación, se refieren a uniones defectuosas entre dos láminas del mismo material. Este inconveniente puede surgir, por ejemplo, cuando la capa sellante ubicada en el desbobinador # 2 se agota, requiriendo detener la máquina para montar un nuevo rollo y empatar el material enhebrado con este (ver Figura 2). Otra situación adversa que se presenta con regularidad al momento de empatar materiales es contar con calibres y anchos diferentes (ver Figura 51). La falta de una correcta ejecución de esta actividad ocasiona diversos defectos en el producto final, como arrugas, túneles y quiebres. “Estos problemas no solo son atribuibles a la mala manipulación por parte del operario, sino también a la pérdida de tensión del material enhebrado debido a la parada de la máquina durante el proceso de empate” [17]. Tal detención puede provocar una disminución o descompensación en la tensión que sostenía la lámina en toda su superficie. Además, estas actividades también aumentan significativamente el número de defectos que impactan los costos de calidad.

En el análisis con el apoyo de la herramienta AMEF, se identificó que los empates mal realizados tienen una alta ocurrencia y severidad, convirtiéndolos en un problema crítico para los costos del proceso, siendo el primer modo de falla que se prioriza en la matriz del AMEF (ver Figura 6). Para abordar esta problemática, fue importante implementar acciones enfocadas hacia la prevención. En primer lugar, al tener un comportamiento similar, se procedió a realizar un análisis de la información obtenida en la sección de “material mal pegado” y “pérdida de tensión”, y para el caso particular de empatar materiales con anchos diferentes, se analizó su comportamiento por medio de una simulación de elementos finitos, obtenida con ayuda del software inventor (ver Figura 52) [14]. Se identificó que el efecto puede ser crítico dependiendo de la naturaleza del material, con base en la información recopilada, se logró comprender mejor cómo este modo de falla afecta los costos de calidad. Posteriormente, se crearon cinco (5) procedimientos que describen la manera adecuada de realizar un empate de manera específica para cada tipo de material que pueda ser utilizado en el proceso de laminación (ver Figura 53).



Figura 51. Empate entre laminas con anchos diferentes [Autoría propia].

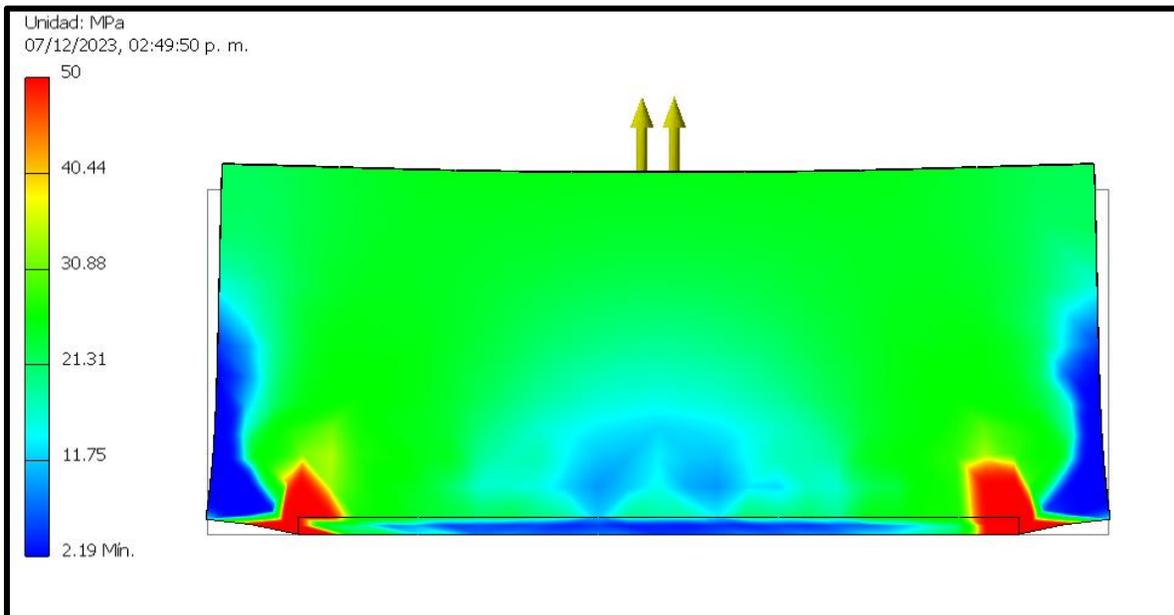


Figura 52. Simulación de un empate fuera de especificaciones, obtenido en Autodesk Inventor [Autoría propia].

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)



Figura 53. Instructivos de empates por material utilizado entregados al proceso de laminación de ALICO S.A.S. [Autoría propia].

En resumen, un empate se considera de calidad, al unir láminas de forma uniforme, plana, recta, totalmente perpendicular al sentido de la máquina y sin presencia de relieves a cada lado del empate (ver figura 23). Se evitan así deformaciones o defectos de apariencia en el material laminado terminado. Además, se concluye que al realizar el empate entre el material enhebrado y el de la nueva bobina, bajo condiciones de ancho diferentes, la distribución de cargas en los primeros metros a lo largo de la superficie no es homogénea.

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

El control de las acciones correctivas entregadas al proceso de laminación se llevó a cabo mediante auditorías diarias durante un mes, desde el 15 de enero hasta el 15 de febrero, en el cual se encontraron datos satisfactorios de la calidad de los empates realizados por los operadores de la laminadora LA03 (ver Figura 54). Es importante destacar que, para tener una medida más precisa del impacto de esta investigación en el rubro de desperdicios, se necesita un mayor registro de datos que permita contrastar la información a nivel estadístico y correlacionarla con el histórico de desperdicios por empates.

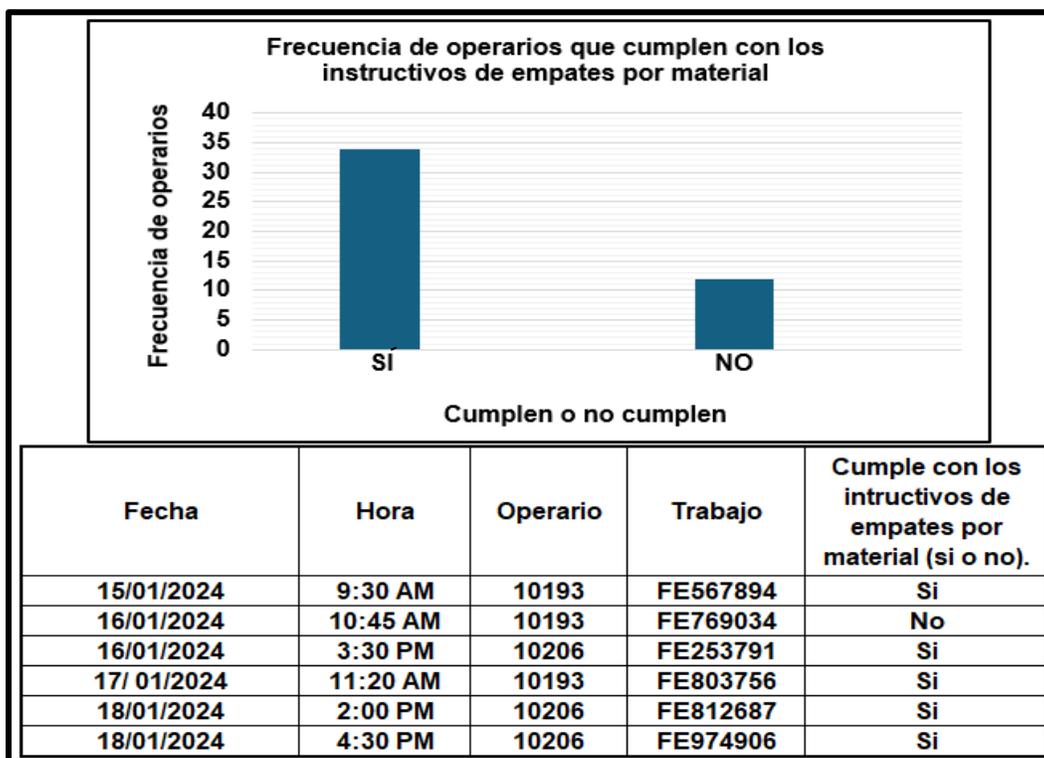


Figura 54. Seguimiento desde el 15 de enero hasta el 15 de febrero para el cumplimiento de los instructivos de empates por materia [Autoría propia].

6.9 No uso de la foto celda.

Durante el seguimiento en planta para comprender el modo potencial de falla, se identificó que el término "no uso de la foto celda", hace referencia a la situación en la que el dispositivo encargado de centrar y detectar cambios en la iluminación de un sustrato impreso no está siendo empleado de manera adecuada o no está siendo utilizado en absoluto. Esta fotocelda, que se basa en un principio de funcionamiento óptico, es capaz de identificar variaciones en el contraste del color en zonas específicas del sustrato (ver Figura 55).

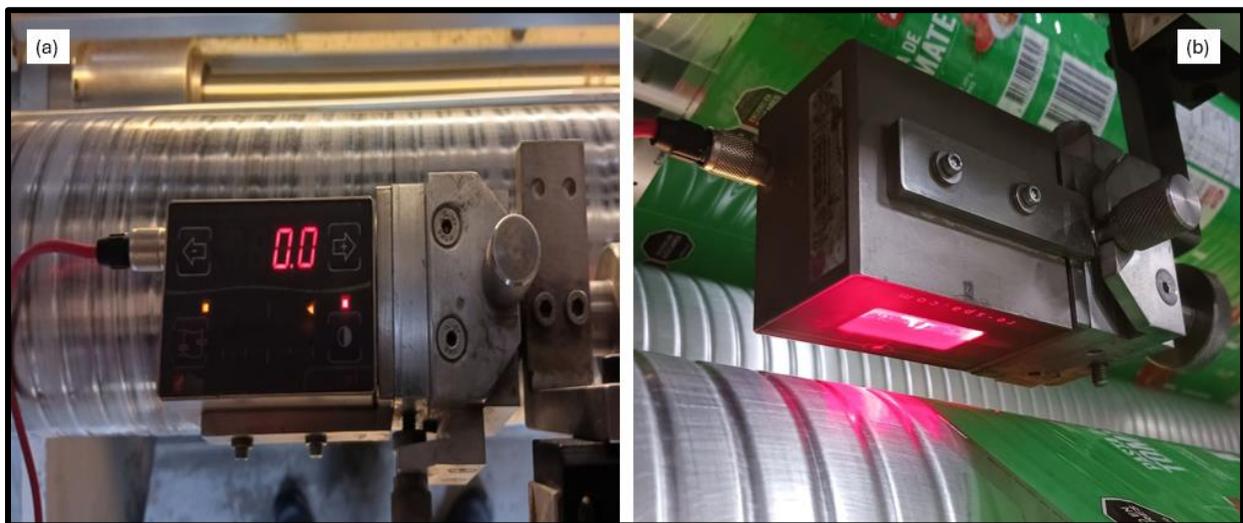


Figura 55. (a) vista frontal de la fotocelda, y (b) fotocelda en funcionamiento [Autoría propia].

Cuando la foto celda identifica una variación en el contraste programado, envía una señal eléctrica al Controlador Lógico Programable (PLC) de la máquina laminadora. Esta señal activa un algoritmo de control que determina la acción a seguir para corregir la desviación detectada, modificando así, el posicionamiento del carro que sostiene el material en máquina.

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

El movimiento del carro continúa hasta que la foto celda detecta nuevamente el contraste programado previamente, lo que indica que el material está correctamente centrado y listo para una correcta aplicación de adhesivo [16]. El no disponer del dispositivo de forma adecuada ocasiona una serie de defectos de calidad en el producto final, como variaciones en la altura de aplicación de adhesivo, pedidos parcialmente deslaminados y productos fuera de las especificaciones [12], [17].

Al realizar un análisis detallado de este rubro en la matriz AMEF, se observa que el no uso de la foto celda, presenta una alta severidad y ocurrencia, seguido de un nivel de detección muy bajo (ver Figura 6). Esto indica que tiene un impacto considerable en los costos de calidad y tiempos perdidos de producción.

Durante el seguimiento presencial en la planta, se identificó que varios de los operarios no saben utilizar el dispositivo adecuadamente. La correcta programación y calibración de la foto celda, así como el adecuado funcionamiento del sistema de posicionamiento del carro, son fundamentales para asegurar un laminado preciso y consistente. Además, es importante que el personal operativo esté capacitado para comprender y manejar correctamente estos sistemas, minimizando así la probabilidad de errores y maximizando la eficiencia del proceso de laminación. Por tal razón, se creó una guía técnica, la cual es divulgada y entregada al personal del proceso, donde se explica a detalle el principio de funcionamiento, programación y las prácticas recomendadas para el uso de la foto celda. Los resultados obtenidos para las acciones correctivas enfocadas en el correcto uso de la foto celda son presentados de manera conjunta en el análisis del siguiente modo potencial de falla, designado como “No uso del ultrasonido”, esto debido a que ambos dispositivos deben ser utilizados por el operador de la laminadora al mismo tiempo.

6.10 No uso del ultrasonido.

El "no uso del ultrasonido" se refiere a la situación en la que este componente crucial, encargado de medir y corregir el movimiento relativo del material durante el proceso de laminación mediante ondas ultrasónicas, no es usado de forma correcta. Este dispositivo es empleado especialmente para los materiales designados como polímeros de capa sellante usados en el desbobinador # 2 de la máquina laminadora (ver Figura 56) [17]. Cuando el dispositivo de ultrasonido no se utiliza adecuadamente, pueden surgir problemas de calidad similares a los discutidos en la sección de "no uso de la fotocelda". Estos incluyen, variaciones en la altura de aplicación de adhesivo, laminaciones parcialmente desprendidas y productos que no cumplen con las especificaciones requeridas. Un análisis de la información recopilada de la matriz AMEF aplicada al proceso de laminación, reveló que el no uso del dispositivo de ultrasonido, cuenta con una alta severidad y ocurrencia, con un nivel de detección muy bajo.

Esta situación tiene un impacto significativo en los costos de desperdicios y en los tiempos perdidos de producción. Para abordar este problema, fue esencial brindar al personal operativo una capacitación adecuada sobre el uso y funcionamiento para el sensor de ultrasonido. Del mismo modo que para el modo potencial de falla llamado "no uso de la foto celda", la capacitación al personal contó con de la entrega de una guía detallada, que explica el principio de funcionamiento del dispositivo y las prácticas recomendadas para su uso. Estos documentos sencillos, para el manejo adecuado de ambos dispositivos, busca minimizar las malas prácticas del personal al manipular los dispositivos de monitoreo (ver Figura 54).



Figura 56. Ultrasonido utilizado en el proceso de laminación de ALICO S.A.S. [Autoría propia].

Finalmente, se crearon documentos de control con el fin de evaluar el correcto uso de acciones correctivas entregadas al proceso, que buscan disminuir la ocurrencia de los modos potenciales de falla designados como "no uso del ultrasonido" y "no uso de la foto celda" (ver figura 57). Estos controles fueron llevados a cabo de durante todo el mes de enero de manera integrada, dado que la finalidad de los dos dispositivos es la misma, asegurar el centrado de los materiales a lo largo del recorrido de la máquina laminadora (ver figura 58).

En resumen, se desea asegurar una aplicación adecuada de adhesivo sobre los sustratos a laminar, razón por la cual, es de suma importancia el uso de ambos dispositivos. Además, se concluye que, para la laminadora LA03, los operarios del proceso han hecho un uso regular y adecuado de estos dispositivos a lo largo del mes de enero, siguiendo las instrucciones dadas por los documentos de apoyo. Es importante destacar que todos los análisis se centraron en la máquina LA03 como máquina piloto. Por lo tanto, para obtener un panorama general de los impactos de las acciones correctivas, es necesario considerar la totalidad de los operarios capacitados, aunque hayan trabajado en máquinas distintas a la elegida como piloto.

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

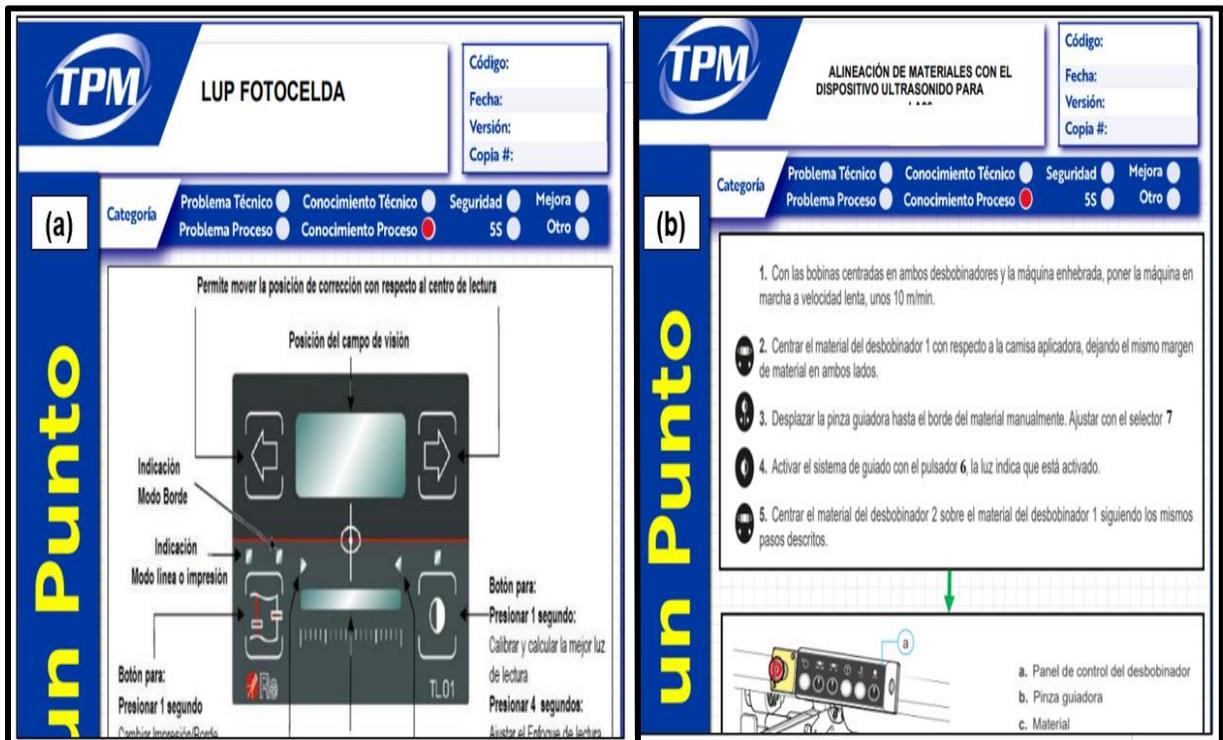


Figura 57. Lecciones de un solo punto para el centrado de los materiales en las máquinas laminadoras, (a) uso y programación de la foto celda, y (b) uso y programación del ultrasonido [Autoría propia].

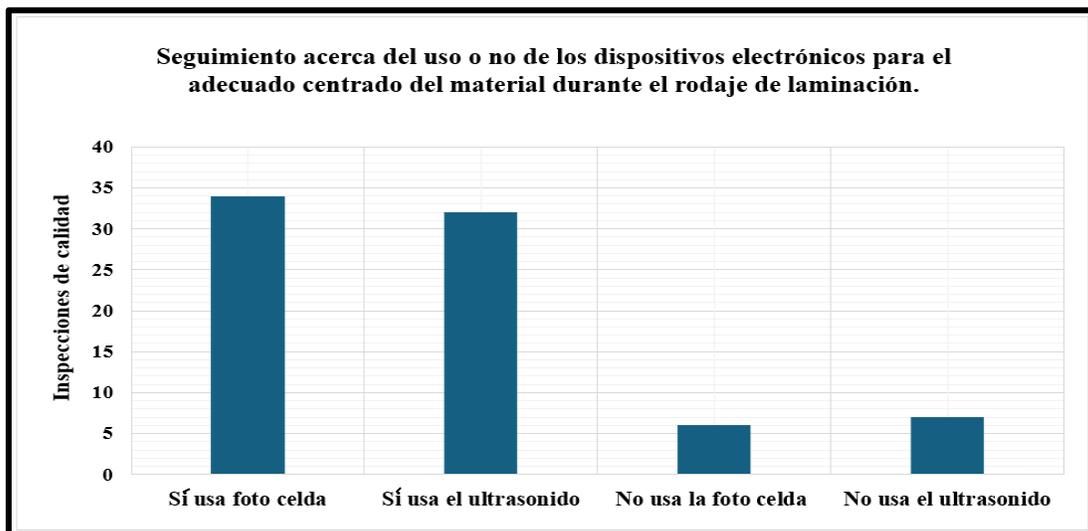


Figura 58. Control y seguimiento para uso de las lecciones sobre la manipulación de los dispositivos electrónicos para el adecuado centrado de los materiales en máquina [Autoría propia].

7. Conclusiones.

Los resultados obtenidos para los costos de calidad revelaron una situación crítica en relación con los empates que representan un 38% de los desperdicios totales reportados al proceso de laminación (ver Figura 7). Se identificó que los “empates” no sólo son un código bajo el que se puede reportar desperdicios, sino también, es una actividad del día a día realizada por los operarios, con gran influencia en la ocurrencia de otros modos potenciales de falla. Tal es el caso de empate mal realizado, material mal pegado y pérdida de tensión. Además, cabe destacar que, durante los seguimientos en planta a los desperdicios derivados de esta actividad, se encontró en repetidas ocasiones que son consecuencia de un mal reporte por parte de colaboradores desconocedores de los defectos ocasionados por el proceso de laminación, evidenciando así, que bajo este código se reporta un sin número de defectos que en muchos casos no tiene que ver con un empate. Aun así, los resultados de los seguimientos para los modos potenciales de falla asociados a esta actividad mostraron resultados exitosos que impactan de manera positiva la calidad del proceso.

En cada uno de los modos potenciales de falla se enfrentaron varios desafíos críticos que amenazaban la calidad y la rentabilidad del producto final, como lo fue el tratar con el personal del proceso para encaminarlos a realizar buenas prácticas de manufactura. Sin embargo, gracias a un enfoque meticuloso que integró al personal operativo y otras áreas de la compañía, las acciones correctivas tuvieron un nivel de aceptación exitoso por parte de los operadores de las máquinas laminadoras. Lo anterior se debe en gran medida a la implementación de procedimientos detallados para el adecuado manejo de materiales, y que cada paso se tomó con determinación y cuidado. La capacitación del personal y la creación de guías técnicas fueron clave para garantizar el uso efectivo de dispositivos como la foto celda y el ultrasonido, así como la supervisión diaria. A medida que se realizaba un seguimiento riguroso y se evaluaban los resultados, se evidenció un impacto positivo en la reducción de eventos relacionados con fallas operativas.

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

También, se identificó que para mantener las buenas prácticas de manufactura es necesario adoptar una metodología de capacitación continua con los operarios del proceso, de forma tal que las mejoras y manuales de actividades entregados a los colaboradores de laminación perduren con éxito a través del tiempo. La investigación realizada representa un paso significativo hacia la comprensión y mejora de las malas prácticas de manufactura llevadas a cabo por el personal. Al identificar y analizar detalladamente los modos potenciales de falla que estos ocasionan, se estableció un marco sólido para abordar las principales actividades que los inducen y, por ende, afectan la calidad del producto final.

El enfoque en los empates, una actividad recurrente y crítica en el proceso de laminación, demuestra un compromiso con la mejora continua y la optimización de las prácticas operativas. Mediante análisis matemáticos y digitales rigurosos, se desarrollaron acciones correctivas documentadas y difundidas al personal, fundamentadas en la ciencia de los materiales, con el objetivo de reducir los posibles modos de falla y mejorar la calidad del producto final.

Además, se realizó un análisis de otros modos potenciales de falla, como el bajo nivel de adhesivo en la canoa, montaje de capa sellante incorrecta, uso de dispositivos guidores de la máquina laminadora y problemas de atrapamiento de bobina. Se concluye que estas fallas también estaban relacionadas con acciones del personal operativo, lo que refuerza la importancia de abordar las prácticas de entrenamiento para mejorar la calidad del proceso. Es crucial resaltar que el corto alcance del período de prácticas limitó la capacidad de obtener datos sobre el impacto cuantitativo de la mejora en la maquina laminadora LA03 para el modo de falla “Material mal pegado”. Además, se requiere de un periodo de tiempo más prolongado para familiarizar de forma total y autónoma a todos los operarios proceso, desde los que tienen mayor antigüedad hasta los más nuevos. De forma tal que el impacto en los desperdicios sea representativo a nivel estadístico con respecto a su histórico.

8. Recomendaciones

Basándonos en los resultados obtenidos en la investigación, se proponen las siguientes recomendaciones como posibles líneas de profundización para abordar problemas relacionados con los desperdicios del proceso de laminación:

- Viabilidad de reutilizar cores metálicos sobrantes: Se sugiere llevar a cabo un estudio detallado para evaluar la viabilidad técnica y económica de utilizar los cores metálicos que sobran de la compra del *foil de aluminio* para su uso en el módulo rebobinador. O en su defecto, utilizar cores de naturaleza polimérica. Esta investigación podría incluir análisis de costos, pruebas de resistencia y durabilidad de los cores reutilizados, así como la evaluación de su impacto en la eficiencia y calidad del proceso de laminación.
- Desarrollo de una estrategia integral de capacitación: Se recomienda diseñar una estrategia de capacitación que abarque a los operarios de diferentes áreas involucradas en el proceso de laminación, como extrusión, impresión, sellado de bolsas y procesos finales. Esta estrategia debería enfocarse en enseñar a los operarios las condiciones de calidad básicas requeridas para llevar a cabo una laminación exitosa, así como la identificación adecuada de defectos de calidad asociados al proceso, especialmente en el caso de corte y sellado.

Estas recomendaciones representan posibles áreas de investigación que podrían conducir a mejoras significativas en el proceso de laminación, tanto en términos de eficiencia operativa como en un menor impacto en los costos de calidad. Es importante llevar a cabo una recopilación de datos a profundidad y un análisis detallado para validar la viabilidad y efectividad de estas propuestas en la práctica industrial.

9. Referencias

- [1] Gamboa Benítez, J. D. (2020). Diseño y simulación CAD de una empacadora semiautomática de bobinas de producto terminado (Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- [2] Repetco recycling solutions, 2023, Innovación y Experiencia, Recuperado de <https://www.repetco.com/quienessomos>.
- [3] Comexi. (2023). Comexi ML2 Evolution. Recuperado de <https://comexi.com/es/comexi-ml2-evolution/>
- [4] Comexi. (2024.). Comexi SL2 Evolution. Recuperado de <https://comexi.com/es/comexi-sl2-evolution/>.
- [5] AIMPLAS. (2011). Laminación de Films Complejos. Instituto Tecnológico del Plástico.
- [6] ALICO S.A.S. (2024). [Información confidencial sobre la maquinaria laminadora].
- [7] Huanaco Choquehuanca, R. (2014). Control de calidad en una empresa de empaques flexibles (Informe de suficiencia para optar el título profesional de Ingeniero Químico por la modalidad de actualización de conocimientos). Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Química y Textil. Lima, Perú.
- [8] Herrera Arango, F., Alegría Gómez, D. M., (2022). Optimización en el proceso de laminado en la producción de empaques flexibles mediante estudio de métodos y tiempos (Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Industrial). Director de proyecto: Henao, C. J. Institución Universitaria Antonio José Camacho, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Industrial.
- [9] Catalán Dávila, H.R. (2018). Creación de un sistema de control de proceso en la fabricación de un empaque flexible, en la empresa Polímeros y Tecnología S.A. (Informe científico). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial. Asesorado por la Ing. Sigrid Alitza Calderón de León. Guatemala.
- [10] ALICO S.A.S. (2023). Catálogo de defectos para laminación de empaques [Fuente confidencial].
- [11] Fernández Mozo, J.M. (2019). Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF) (Trabajo de investigación para optar al grado de Bachiller en Ingeniería Industrial). Universidad del norte, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Industrial. Lima, Perú.
- [12] Cardona Ochoa, G.A (2023, 7 de septiembre). Reunión para la explicación del sistema de calidad enfocado en el proceso de laminación, y metodología para el uso de la herramienta AMEF. [Transcripción]. ALICO S.A.S., Medellín Colombia.

REDUCCIÓN DE RIESGOS Y MEJORA DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN DE ALICO S.A.S MEDIANTE ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

- [13] Arabian, H & Oraee, H. (2009). Modos De Falla Y Análisis De Efectos (AMEF) Para Aerogeneradores: (Tesis inédita de Doctorado). Universidad Sharif, Teheran, Irán.
- [14] Autodesk. (2023). Autodesk Inventor [Software de computadora versión 2021].
- [15] Vera Londoño, C. (2023, 27 de octubre). Reunión de capacitación personalizada acerca del funcionamiento del módulo aplicador, modulo rebobinador y sensores de las máquinas laminadoras. [Transcripción]. ALICO S.A.S., Medellín Colombia.
- [16] ALICO S.A.S. (2023). Documento interno para la inspección de materiales en el proceso de laminación [Fuente confidencial].
- [17] Vera Londoño, C. (2023, 1 de noviembre). Reunión para capacitación personalizada acerca del funcionamiento de los módulos desbobinadores y aditamentos electrónicos de las máquinas laminadoras. [Transcripción]. ALICO S.A.S., Medellín Colombia.
- [18] ALICO S.A.S. (2023). Matriz AMEF del proceso de laminación [Fuente confidencial].
- [19] ALICO S.A.S. (2023). Costos de calidad – laminación de empaques [Fuente confidencial].
- [20] ALICO S.A.S. (2023). Producción y desperdicios – laminación de empaques [Fuente confidencial].
- [21] Núñez Álvarez, C., Roca Valmayor, A., & Jorba i Peiró, J. (2002). Comportamiento mecánico de los materiales. Volumen 1: Conceptos fundamentales. Universidad de Barcelona.
- [22] Giraldo Vásquez, D.H (2023). Coextrusión de termoplásticos y soplado de películas termoplásticas, Diapositivas del curso Procesamiento de Materiales Poliméricos. Universidad de Antioquia, Semestre 2023-2.
- [23] Salazar Trujillo, J. E. (2007). Resistencia de Materiales Básica para Estudiantes de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- [24] Google LLC. (2024). Google Formularios [Herramienta en línea]. Recuperado de <https://docs.google.com/forms/>