



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Aumento de la confiabilidad operativa de los transportes de cajas y botellas en la línea de
envasado número 5 en la Cervecería Unión**

Juan Pablo Olaya Mesa

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria o Práctica Empresarial

Asesores

Andrés Felipe Agudelo Santamaría, PhD en Energías Renovables y Eficiencia Energética,
Termoeconomía

Darío Fernando Escobar Cerón, Ingeniero de Procesos

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia, Colombia

2026



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Cita	Olaya Mesa [1]
Referencia	[1] Olaya Mesa, “Aumento de la confiabilidad operativa de los transportes de cajas y botellas en la línea de envasado número 5 en la Cervecería Unión”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Mecánica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2026.
Estilo IEEE (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

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. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Dedico este logro a mi familia, en especial a mi mamá, mi papá, mi hermana y mi hermano mayores, quienes han sido el pilar fundamental en mi camino. Gracias por su amor incondicional, por su apoyo constante y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

Ellos no solo me brindaron la motivación para alcanzar mi sueño de convertirme en Ingeniero Mecánico, sino que también aportaron parte de los recursos necesarios para hacerlo posible. Su esfuerzo, sacrificio y confianza fueron la fuerza que me impulsó a seguir adelante. Por eso, este triunfo no es solo mío, sino de todos nosotros. Con profunda gratitud y amor, les dedico este sueño cumplido.

Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento a todos mis profesores, quienes compartieron su conocimiento con una pasión contagiosa, fortalecieron mi potencial y siempre estuvieron dispuestos a resolver mis dudas con dedicación y compromiso.

A aquel profesor que reconoció mi talento desde la materia de Introducción a la Física; al profesor de Dibujo que me brindó su confianza para diseñar partes de motores; al profesor de Termodinámica que me permitió apoyar su grupo de investigación; al profesor de Métodos Numéricos que me enseñó a programar; y al profesor de Máquinas Térmicas que siempre respaldó mi futuro profesional.

Asimismo, agradezco a los profesores de Diseño Mecánico, Potencia Fluida y Control, quienes me brindaron su apoyo y comprensión en momentos difíciles de salud.

De manera especial, expreso mi gratitud al gerente del envase y asesor de este trabajo, un gran ser humano que me brindó mentorías de liderazgo, confianza y apoyo, permitiéndome desempeñarme satisfactoriamente en el escenario de prácticas y cumplir los objetivos propuestos.

A ellos y a todos, porque cada uno de los profesores que hicieron parte de este proceso fueron fundamentales, infinitas gracias por su guía, confianza y por contribuir a hacer posible este sueño hecho realidad.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
I. INTRODUCCIÓN	13
II. OBJETIVOS	16
A. Objetivo general	16
B. Objetivos específicos.....	16
III. MARCO TEÓRICO	18
A. Transporte mecánico de cajas y botellas en líneas de envasado	18
B. Mesas transportadoras de rodillos y banda	19
C. Mesas transportadoras de cadena cardánica.....	20
D. Mesas transportadoras de cadena Table Top.....	20
E. Productos transportados	21
1) Línea 5.....	21
2) Línea 8.....	22
3) Línea 7.....	23
IV. METODOLOGÍA	24
A. VPO (Voyager Plant Optimization)	24
B. Análisis del problema.....	24
C. Espina de pescado	24
D. Priorización	25
E. 5 WHY's	26
F. Plan de acción.....	28
G. Indicadores	28

1) KPI (Key Performance Indicators).....	28
2) Tiempos perdidos	29
3) Afectación a la LEF.....	30
4) PI (Performance indicators)	30
5) SDCA (Estandarizar, Hacer, Verificar, Actuar) Check List	30
6) SIC (Short Interval Control).....	31
7) GOP (Buenas Prácticas Operativas).....	32
V. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	34
A. Análisis del problema.....	34
B. Mapas de calor	35
C. Verificación del método	35
D. SOP.....	35
VI. PRESUPUESTO	35
VII. RESULTADOS	36
A. Indicadores claves de desempeño	36
B. Indicadores de desempeño	38
C. Acciones	39
1) Apoyo de personal operativo para limpieza de canales guía en transportes cardánicos	41
2) Cambio de material en platinas curvas de deslizamiento para tramos cardánicos M1 ..	42
3) Cambio de estructura y material para riel de deslizamiento en cadenas cardánicas	43
4) Análisis de falla en rodillos y propuesta de mantenimiento.....	44
5) Adaptación de palometas de acumulación y aumento en concentración de lubricante .	46
6) Visita de experto en transportes de botellas de la empresa Regina.....	48
VIII. CONCLUSIONES.....	49

IX. RECOMENDACIONES	51
REFERENCIAS	52
ANEXOS.....	53

LISTA DE TABLAS

TABLA I PESO DE PRODUCTOS TRANSPORTADOS FORMATO 330 ML.....	22
TABLA II PESO DE PRODUCTOS TRANSPORTADOS FORMATO 1000 ML	23
TABLA III TABLA DE PRIORIZACIÓN.....	25
TABLA IV 5 WHYS.....	27
TABLA V CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	34
TABLA VI PRESUPUESTO.....	36
TABLA VII PLAN DE ACCIÓN RESULTANTE	40

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Horas perdidas por categoría de máquina durante los últimos 5 años	13
Fig. 2. 52 - 12 - 4 porcentaje de afectación a la LEF por categoría de máquina.....	14
Fig. 3. Porcentaje de afectación a la LEF debido al T. de cajas por línea durante los últimos 5 años	15
Fig. 4. Porcentaje de afectación a la LEF debido al T. de botellas por línea durante los últimos 5 años.....	15
Fig. 5. Horas perdidas debido al T. cajas y T. botellas en la línea 5 durante el 2025	16
Fig. 6. Porcentaje de afectación a la LEF debido al T. de cajas por línea durante el año 2025	17
Fig. 7. % de afectación a la LEF debido al T. de botellas por línea durante el año 2025	17
Fig. 8. Imagen de una línea de envasado similar	18
Fig. 9. Mesa transportadora de rodillos	19
Fig. 10. Mesa transportadora de cadenas cardánicas	20
Fig. 11. Mesa transportadora por cadenas Table Top	21
Fig. 12. Dimensiones caja para botellas 330 ml.....	22
Fig. 13. Dimensiones de cajas para 1 L.....	23
Fig. 14. Esquema de espina de pescado resultante.....	25
Fig. 15. Seguimiento al KPI	29
Fig. 16. Plataforma SUITE 360.....	29
Fig. 17. Check List SDCA	31
Fig. 18. Ejemplo de un SIC utilizado en el envase	32
Fig. 19. Check List GOPS.....	33
Fig. 20. Tendencia de KPI de transportes en la línea 5	37
Fig. 21. Tendencia del KPI de LEF por medio del grafico 52 – 12 - 4.....	38
Fig. 22. Seguimiento a KPIs de las líneas 7, 8 y 9	38
Fig. 23. Tendencia de PIs en la línea 5.....	39
Fig. 24. Rampa de checklist GOPs y SDCA en la línea 5.....	39
Fig. 25. Suciedad en canales guía de transportes cardánicos y operario de línea realizando labores de limpieza	42

Fig. 26. Desgaste de platina A36 luego de 12 semanas y desgaste de platina Brinell 450 luego de 6 semanas	43
Fig. 27. Desprendimiento de platina sufridera y nuevo sistema de rieles con ángulos.....	44
Fig. 28. Modo de falla de los rodillo y desgaste en los agujeros para eje del chasis	45
Fig. 29. Seguimiento al cambio de rodillos.....	46
Fig. 30. Adaptación en palometa y generación de botella caída por vacíos	47
Fig. 31. Momento de giro causante de botella caída y aumento de concentración de lubricante ..	48
Fig. 32. Recomendación de catenaria para cadena a la salida del piñón conductor.....	49

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

B3CM	<i>Best 3 consecutive months</i>
COP	Peso Colombiano
DTO	Diagnostico de Trabajo Operativo
g	Gramos
GLY	<i>Gross Line Yield</i>
GOP	<i>Good Operating Practices</i>
kg	Kilogramos
KPI	<i>Key Process Indicator</i>
kWh	Kilo Watt Hora
L	Litros
LEF	<i>Line Efficiency Factor</i>
m	Metros
ml	Mililitros
mm	Milímetros
SDCA	<i>Standardize, Do, Check, Act</i>
SIC	<i>Short Interval Control</i>
SOP	<i>Standard Operating Procedure</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
PEL	<i>Packaging Extract Losses</i>
PET	Poli Etileno Tereftalato
PI	<i>Process Indicator</i>
VPO	<i>Voyager Plant Optimization</i>
W1-52	<i>Week 1 – 52</i>

RESUMEN

La Cervecería Unión, ubicada en la ciudad de Itagüí - Antioquia, fue fundada en 1930. Está adjunta a Bavaria desde 1995 y a su vez es propiedad de la multinacional AB-InBev desde el año 2016, momento en el cual comenzó a implementarse el sistema de gestión VPO (*Voyager Plant Optimization*) en todas las plantas de Bavaria. Actualmente la Cervecería Unión fabrica y envasa cerveza en botellas de vidrio, conocidas como Pilsen, Aguila, Aguila Light, Poker, Costeñita, Club Colombia y Pony Malta. La cervecería se divide en 7 gerencias encargadas de los procesos de Gestión y personal, Calidad, Elaboración, Logística, Ingeniería y servicios, Envasado, y Seguridad. El área que compete a esta propuesta es el salón de envasado el cual consta de cuatro (4) líneas de envasado, tres (3) para formatos en botella de vidrio y una (1) para formatos en botellas PET. Cada una de las líneas de envasado consiste en un conjunto de máquinas conectadas en serie o paralelo entre sí, que trabajan simultáneamente para mantener un funcionamiento constante en la máquina más lenta de la línea. El desempeño del área de envase se mide principalmente a través de los indicadores de productividad (**GLY**), eficiencia (**LEF**) y las pérdidas (**PEL**). Los cuales representan respectivamente el volumen de producción, la eficiencia de la línea y el porcentaje de producto o materia prima perdida durante el envasado [1]. Los dos primeros indicadores se ven afectados cuando ocurren paradas no programadas de la máquina llenadora (tiempos perdidos), y estos tiempos perdidos pueden ser causados por fallas en alguna máquina específica, o por fallos en los transportes de botellas y cajas. Actualmente, los transportes mecánicos de cajas y botellas hacen parte de las principales causas de afectación a los indicadores de desempeño, por lo que el objetivo de este proyecto de semestre de industria es disminuir los tiempos perdidos por transporte mecánico de cajas y botellas, logrando un aumento de la confiabilidad por medio de la correcta implementación del sistema de gestión **VPO** en el equipo de mantenimiento interno y tercerista, ya que es una empresa externa la encargada de ejecutar los mantenimientos, mientras que el personal propio de la empresa se encarga de la planeación, supervisión y auditoria de los trabajos realizados.

Palabras clave — Cervecerías, Líneas de envase, Mesas transportadoras, Indicadores de producción, VPO, Mantenimiento.

ABSTRACT

Cervecería Unión, located in the city of Itagüí, Antioquia, was founded in 1930. It has been part of Bavaria since 1995 and, in turn, has been owned by the multinational AB InBev since 2016, at which time the VPO (Voyager Plant Optimization) management system began to be implemented in all Bavaria plants. Currently, Cervecería Unión produces and bottles beer in glass bottles, including the brands Pilsen, Águila, Águila Light, Poker, Costeñita, Club Colombia, and Pony Malta. The brewery is divided into seven management areas responsible for the processes of Management and Personnel, Quality, Brewing, Logistics, Engineering and Services, Packaging, and Safety. The area addressed in this proposal is the packaging hall which consists of four (4) packaging lines, three (3) for glass bottle formats and one (1) for PET bottle formats. Each packaging line consists of a set of machines connected in series or parallel that operate simultaneously to maintain constant operation at the slowest machine in the line. The performance of the packaging area is mainly measured through the indicators of productivity (GLY), efficiency (LEF), and losses (PEL), which respectively represent production volume, line efficiency, and the percentage of product or raw material lost during packaging [1]. The first two indicators are affected when unplanned stoppages of the filling machine occur (lost time), and these lost times may be caused by failures in a specific machine or by failures in the bottle and case conveying systems. Currently, the mechanical conveying systems for cases and bottles are among the main causes affecting performance indicators. Therefore, the objective of this industrial semester project is to reduce lost time due to the mechanical transport of cases and bottles, achieving increased reliability through the proper implementation of the VPO management system in both the in-house and outsourced maintenance teams, since an external company is responsible for executing maintenance while the company's own personnel handle the planning, supervision, and auditing of the work performed.

Keywords — **Breweries, Packaging lines, Conveyor tables, Production indicators, VPO, Maintenance.**

I. INTRODUCCIÓN

El transporte de producto en líneas de empaquetado de alimentos puede alcanzar la suma de hasta un 25% de pérdida de eficiencia total de la planta [2], y en el caso de Cervecería Unión, aunque no alcanza a llegar a estos niveles, si representa un equipo Pareto para todas las líneas, lo cual evidencia posibles problemas de mantenimiento.

Considerando la información presentada en la **Fig 1**, los transportes de botellas y cajas han representado la quinta (5) y la novena (9) causas principales de tiempos perdidos para todas las líneas de envasado durante los últimos 5 años; lo cual a su vez ha generado impactos negativos a los indicadores de **LEF** (eficiencia) y **GLY** (productividad) del salón de envasado en general.

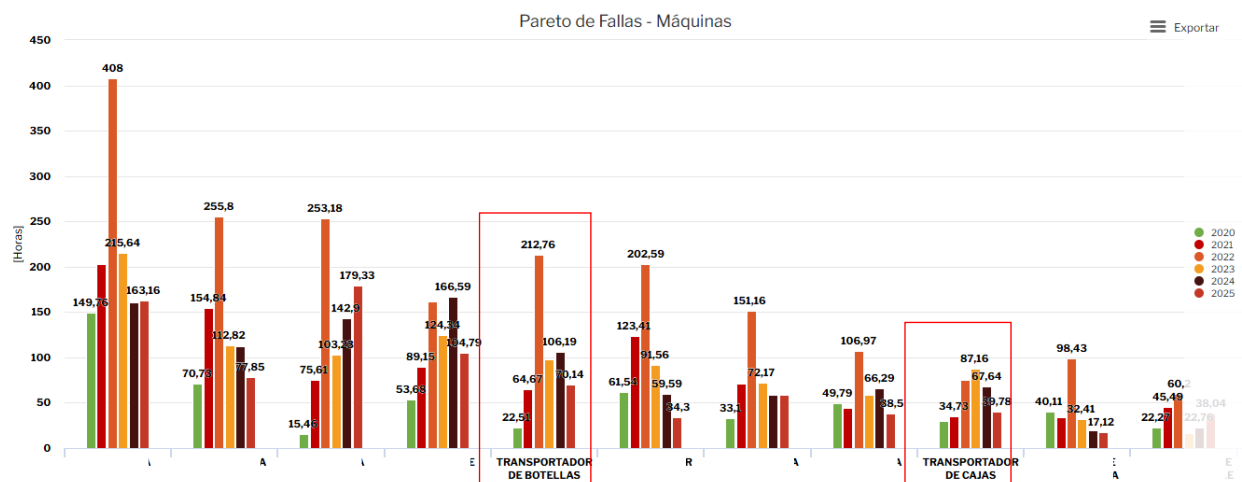


Fig. 1. Horas perdidas por categoría de máquina durante los últimos 5 años

Adicionalmente como se puede apreciar en la **Fig 2**, durante el último año (2025) se evidencia una tendencia de aumento en el porcentaje de afectación a la **LEF** por parte de los transportadores mecánicos de botellas y cajas. Es por lo anterior que surge la necesidad de realizar un plan de acción enfocado a disminuir y estabilizar el porcentaje de afectación de dichos transportes, por medio de la correcta implementación del sistema de gestión **VPO** a los procesos de mantenimiento.

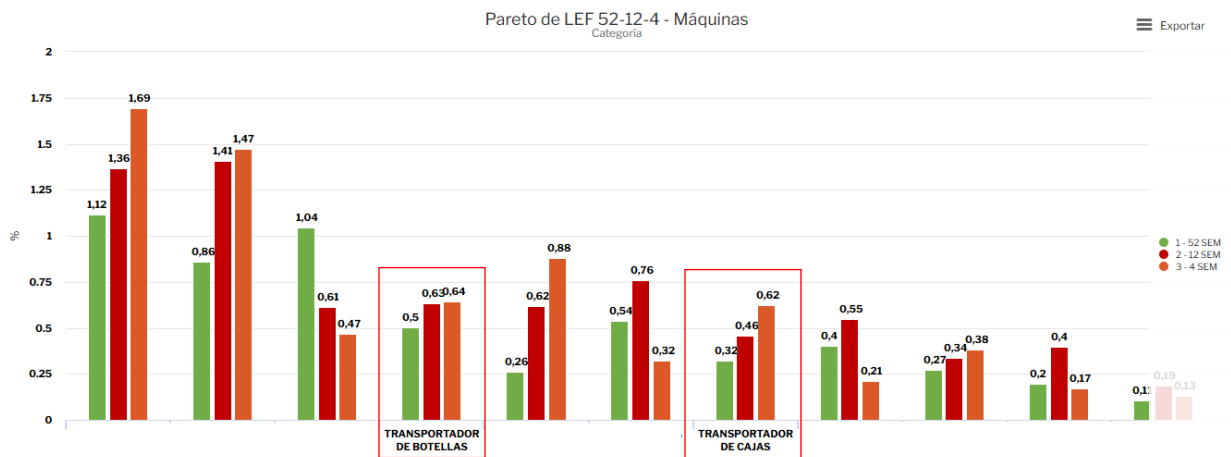


Fig. 2. 52 - 12 - 4 porcentaje de afectación a la LEF por categoría de máquina

No obstante, es importante reconocer que el mantenimiento de los transportadores mecánicos (estibas, botellas, cajas, tapas, etiquetas y bandejas) se encuentra soportado por una empresa tercera especializada en el mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo de dichas máquinas.

Para abordar el problema, se utilizará la metodología y herramientas brindadas por el sistema de gestión **VPO**, entre ellas un análisis tipo 5 WHY's y espina de pescado, cuyos resultados deben estar enfocados a encontrar las causas raíz de las desviaciones y a realizar las acciones necesarias para que éstas no vuelvan a ocurrir. Lo anterior con el objetivo de que todos los procesos en el salón de envasado logren ser sostenibles a través del ciclo **SDCA** (Estandarizar, Hacer, Verificar, Actuar) o mejorados a través del ciclo **PDCA** (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar).

Aunque la problemática mencionada existe en todas las líneas de envasado, en las **Fig. 3** y **4** se observa que la línea número 5 es la que ha presentado un mayor porcentaje de afectación a la LEF por transporte de cajas y botellas durante los últimos 5 años, y por lo tanto la línea 5 será el foco de evaluación e implementación de las acciones concebidas durante la ejecución de este proyecto.

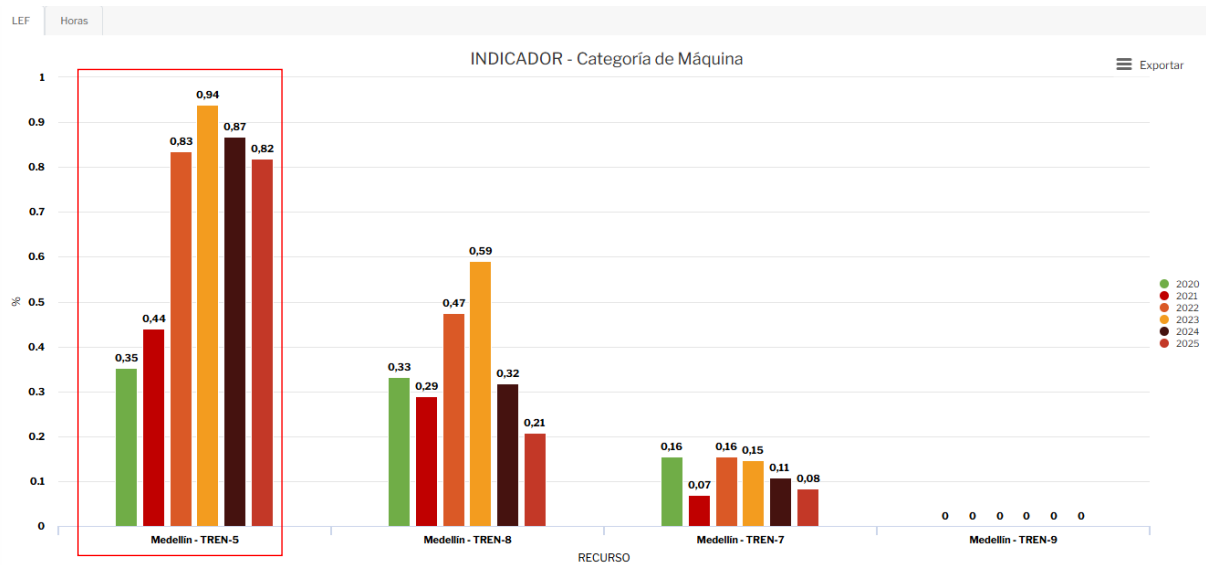


Fig. 3. Porcentaje de afectación a la LEF debido al T. de cajas por línea durante los últimos 5 años

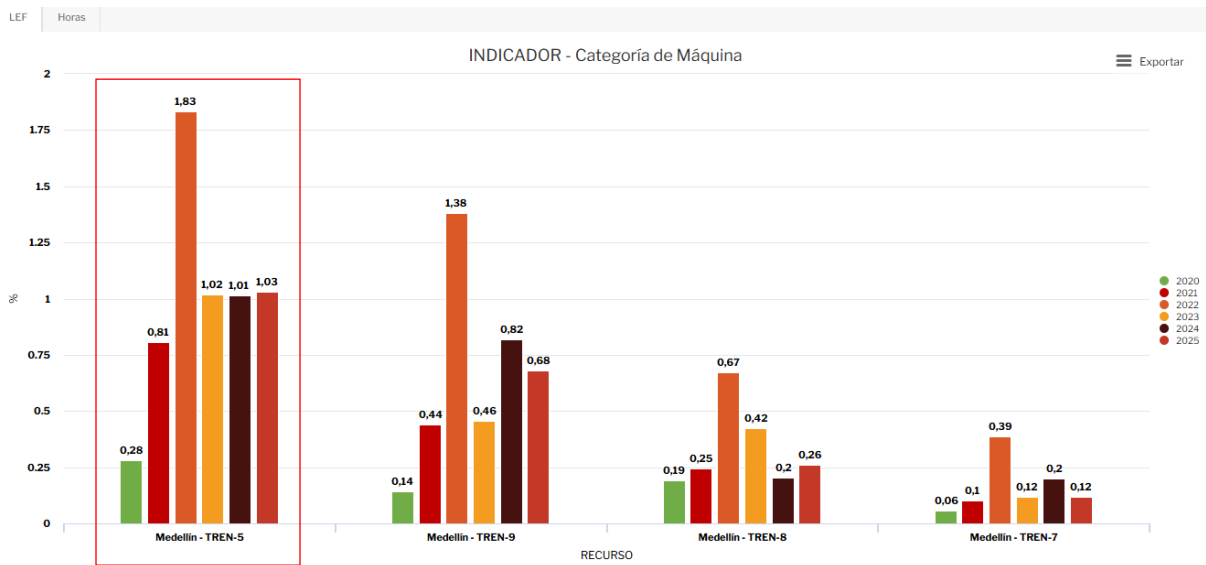


Fig. 4. Porcentaje de afectación a la LEF debido al T. de botellas por línea durante los últimos 5 años

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Disminuir los tiempos perdidos por transporte mecánico de cajas y botellas en la línea 5 a menos de 3 horas mensuales (0.75 horas semanales) cada uno, para finales de enero de 2026. Esta meta fue definida con base al comportamiento **B3CM** (últimos tres mejores meses consecutivos) anual del indicador a lo largo del año, presentado en la **Fig 5**.

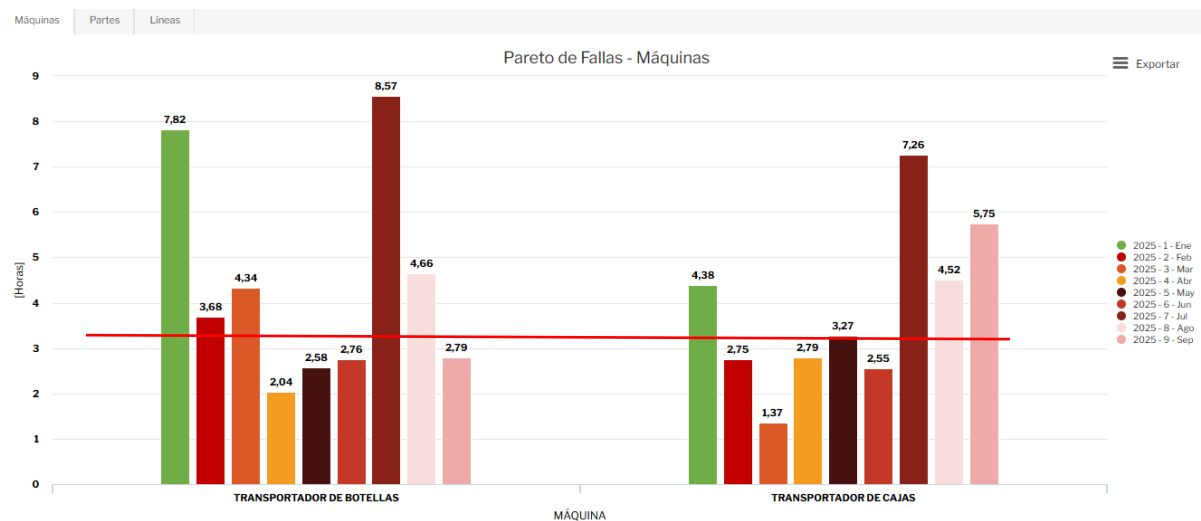


Fig. 5. Horas perdidas debido al T. cajas y T. botellas en la línea 5 durante el 2025

B. Objetivos específicos

- Alcanzar y mantener un porcentaje de cierre de avisos (reportes) mayor a 90% para finales de enero de 2026.
- Implementar y hacer seguimiento del ciclo **SDCA** en el mantenimiento de transportes mecánicos de cajas y botellas de la línea 5 para finales de enero de 2026.
- Disminuir el porcentaje de afectación a la LEF por transporte de cajas en la línea 5 a un 0.7% mensual para finales de enero de 2026. Esta meta fue definida con base al comportamiento anual del indicador a lo largo del año presentado en la **Fig 6**.

- Disminuir el porcentaje de afectación a la LEF por transporte de botellas en la línea 5 a un 0.8% mensual para finales de enero de 2026. Esta meta fue definida con base al comportamiento anual del indicador a lo largo del año presentado en la Fig 7.

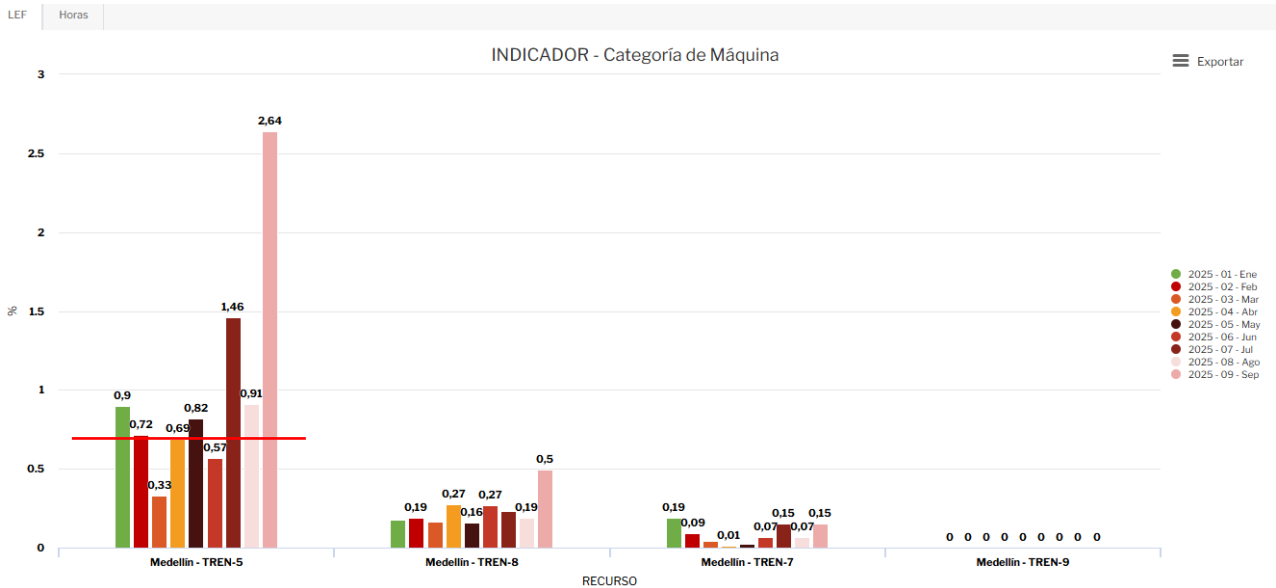


Fig. 6. Porcentaje de afectación a la LEF debido al T. de cajas por línea durante el año 2025

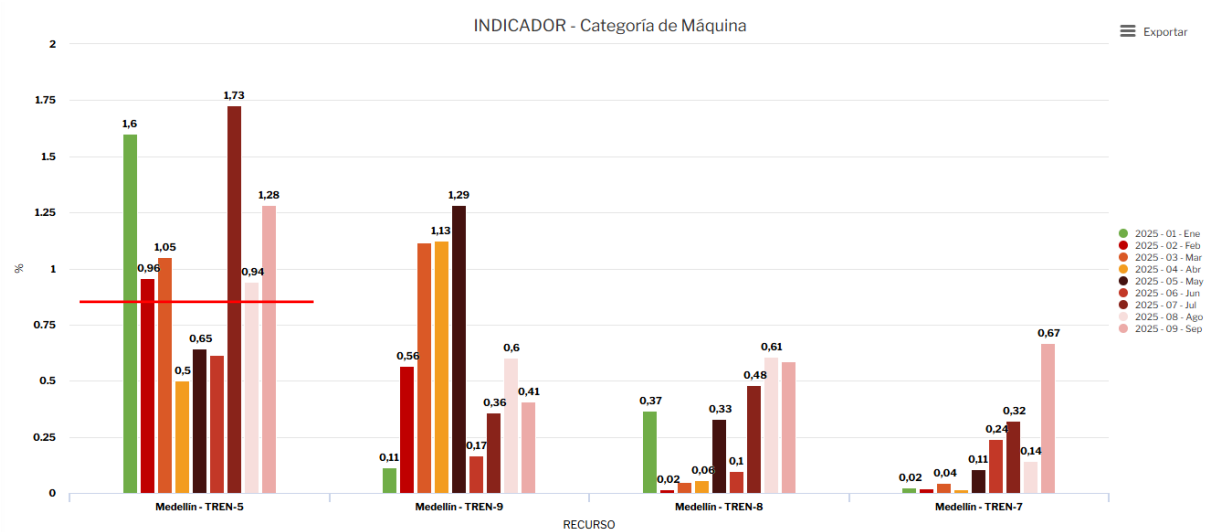


Fig. 7. % de afectación a la LEF debido al T. de botellas por línea durante el año 2025

III. MARCO TEÓRICO

A. Transporte mecánico de cajas y botellas en líneas de envasado

Las líneas de envasado de botellas requieren de sistemas de transporte mecánicos para desplazar las cajas y las botellas entre las diferentes máquinas y etapas del proceso (**Fig 8**). Se puede considerar que los transportes mecánicos en su totalidad son la máquina más grande de la línea, ya que éstos atraviesan toda la planta y pueden medir cientos o miles de metros de longitud. Lo anterior dificulta su correcto mantenimiento ya que no se pueden atacar todos los transportes en una ventana de mantenimiento, sino que es necesario realizar mantenimientos por tramos o zonas cada semana. Además, si no se cuenta con el personal suficiente, no es posible cumplir con los ciclos saludables de inspección y mantenimiento preventivos, convirtiendo la rutina en mantenimientos correctivos constantemente.

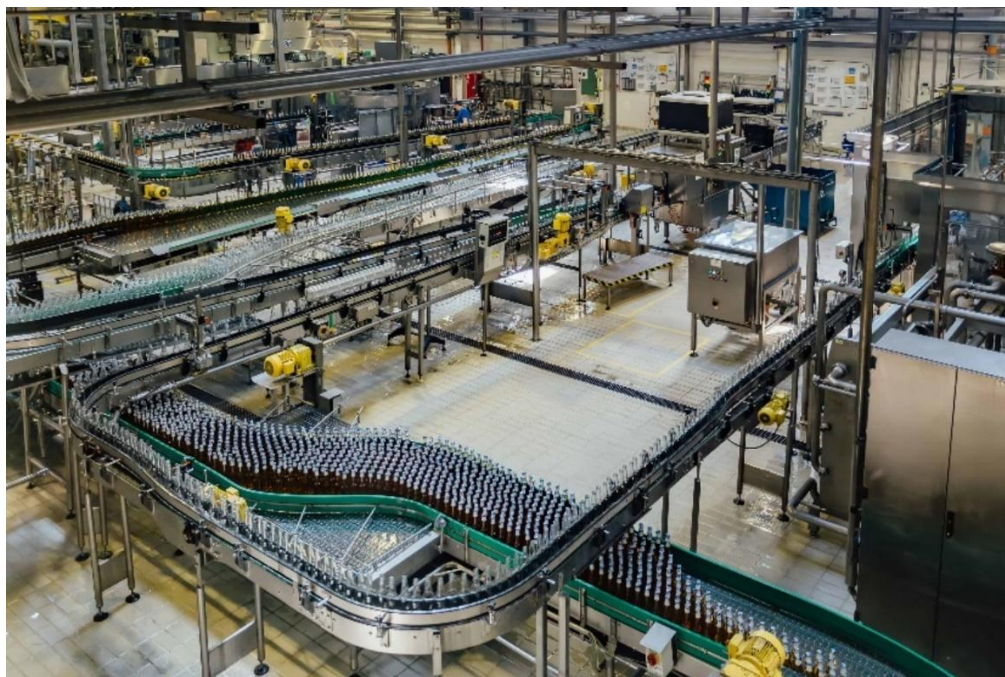


Fig. 8. Imagen de una línea de envasado similar

B. Mesas transportadoras de rodillos y banda

Para el transporte de estibas, cajas con botellas vacías o botellas llenas, se utilizan transportes mecánicos de tipo mesa de rodillos (**Fig 9**), en la cual la tracción puede ser generada por un sistema de transmisión por cadena y piñones parásitos o por una banda de un polímero elastómero que puede estar por encima o por debajo de los rodillos, dependiendo del tramo y de la necesidad. La banda es movida por un rodillo de gran diámetro el cual a su vez es movido por un motor eléctrico a través de un sistema de transmisión por cadena.

Los rodillos utilizados para el transporte de cajas son fabricados en tubería de acero SAE/AISI 1010 de 60 mm de diámetro externo, con dos rodamientos, uno en cada extremo, y un eje hexagonal de acero que atraviesa el tubo y sirve de apoyo en el marco del transporte. Adicionalmente las mesas también contienen rodillos tensores para mantener el contacto entre la banda y los rodillos, además de rodillos guías para mantener la banda centrada. La banda esta empatada por medio de ganchos *clipper*.



Fig. 9. Mesa transportadora de rodillos

C. Mesas transportadoras de cadena cardánica

Para el transporte de cajas también se utiliza el sistema por cadenas cardánicas, que consisten en un par de cadenas plásticas con eslabones de gran tamaño, que se deslizan en sus respectivos rieles y así poder llevar las cajas directamente sobre las cadenas (**Fig 10**). La tracción es generada por un motor eléctrico que, a través de un sistema de transmisión por cadena, mueve un eje con dos piñones plásticos de gran tamaño que se encargan de mover las cadenas cardánicas plásticas.



Fig. 10. Mesa transportadora de cadenas cardánicas

D. Mesas transportadoras de cadena Table Top

Para el transporte de botellas se utiliza un tipo de transporte que consiste en una mesa con cadenas de eslabones planos fabricados en acero inoxidable, y apoyados sobre cintas planas de polímero consumible. Esta configuración permite una superficie plana y extensa, que se mueve horizontalmente logrando transportar las botellas en posición vertical.

Estas mesas pueden ser unifilares en los casos en que se requiere transportar botellas una a una, como por ejemplo en el ingreso de la llenadora o de la etiquetadora (**Fig 11**). O también pueden ser multifilares en el caso de ser necesaria una acumulación de botellas para optimizar su transporte

al interior de otras máquinas, como por ejemplo la lavadora de botellas, la pasteurizadora y la empacadora. La tracción de las cadenas es generada por un motor integrado con un reductor tipo tornillo sin fin, el cual mueve un eje conductor con piñones plásticos que mueven las cadenas.



Fig. 11. Mesa transportadora por cadenas Table Top

E. Productos transportados

A continuación, se presentan algunas características físicas de los elementos transportados con el objetivo de identificar posteriormente las cargas y los esfuerzos soportados por las mesas transportadoras en caso de ser necesario.

1) Línea 5

La línea 5 se encarga de envasar formatos de 175 ml, 250 ml y 330 ml, por lo que se considera que su mayor carga es generada por las botellas de 330 ml (**TABLA I**). Las cajas pueden contener máximo 30 botellas vacías o llenas (**Fig 12**).

TABLA I
PESO DE PRODUCTOS TRANSPORTADOS FORMATO 330 ML

Formato	Peso botella vacía (g)	Peso botella llena (g)	Peso caja vacía (g)	Peso caja llena de botellas vacías (g)	Peso caja llena de botellas llenas (g)
330 ml	211.25	542.37	2072.74	8410.24	18343.84



Fig. 12. Dimensiones caja para botellas 330 ml

2) Línea 8

La línea 8 también se encarga de envasar formatos de 330 ml (TABLA I). Las cajas pueden contener máximo 30 botellas vacías o llenas.

3) Línea 7

La línea 7 se encarga de envasar formatos de 1000 ml, por lo que se considera que su mayor carga es generada por las botellas de 1 L (**TABLA II**). Las cajas pueden contener máximo 13 botellas vacías o llenas (**Fig 13**).

TABLA II
PESO DE PRODUCTOS TRANSPORTADOS FORMATO 1000 ML

Formato	Peso botella vacía (g)	Peso botella llena (g)	Peso caja vacía (g)	Peso caja llena de botellas vacías (g)	Peso caja llena de botellas llenas (g)
1000 ml	628.43	1636.64	2397.06	10566.65	23673.38



Fig. 13. Dimensiones de cajas para 1 L

IV. METODOLOGÍA

A. VPO (Voyager Plant Optimization)

VPO es el sistema de gestión utilizado por la compañía AB-InBev, el cual abarca todas las áreas de la planta y busca la estandarización de un método que asegure la excelencia, la calidad y la seguridad a la hora de ejecutar todos los procesos [3].

B. Análisis del problema

Para el análisis de los problemas se utilizan las siguientes estrategias, recomendadas por el ciclo de mejora de procesos **PDCA** (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar).

C. Espina de pescado

En la cabeza el problema general que en este caso es “aumento de tiempos perdidos por transportes”. Luego una columna vertebral con espinas donde cada espina de la columna vertebral representa un conjunto de problemas orientados a una causa específica. Por ejemplo, la espina de “personas” conlleva todos los problemas generados por los seres humanos relacionados con proceso, mientras que la espina “máquina” conlleva todos los problemas de software o hardware de la máquina como tal. A continuación, se presenta el esquema de espina de pescado resultante para el problema que compete a este proyecto (**Fig 14**).

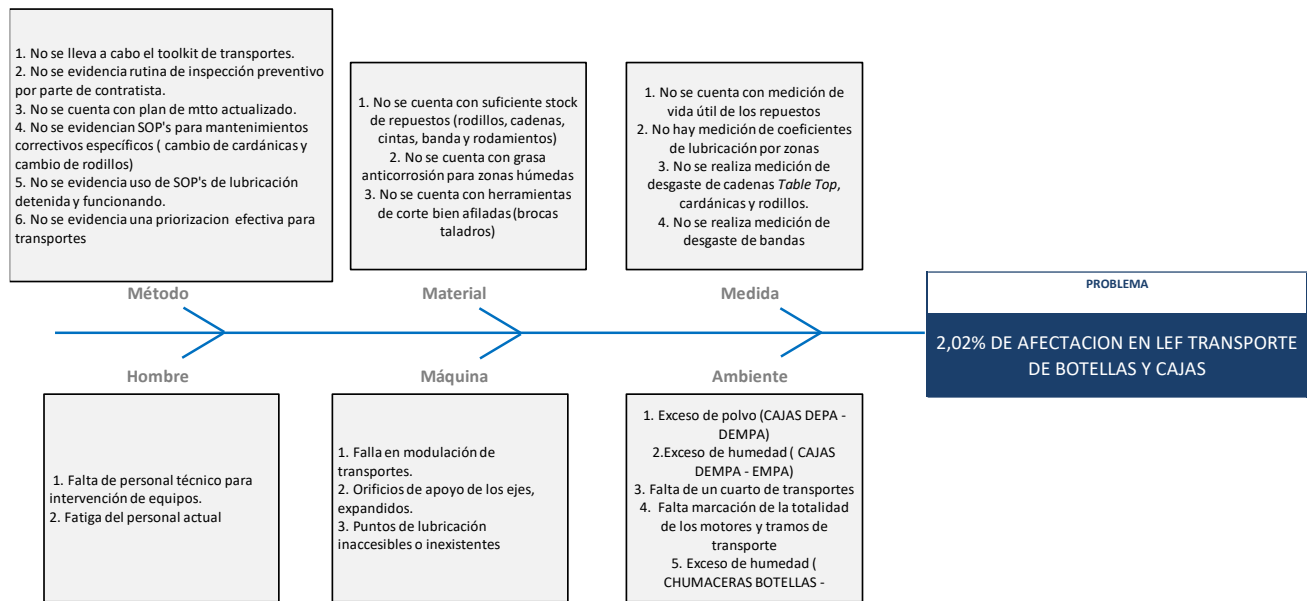


Fig. 14. Esquema de espina de pescado resultante

D. Priorización

Luego de identificar los problemas, se clasifican por medio de las siguientes tres evaluaciones:

- **Facilidad:** ¿Cuan sencillo es la solución del problema?
- **Autoridad:** ¿Cuánta autoridad tienes desde tu cargo para solucionar ese problema?
- **Afectación:** ¿Cuánto contribuye la solución de este problema a la del problema principal?

A continuación, se presenta la tabla de priorización resultante para el problema que compete a este proyecto, donde la calificación de prioridad es de 1 hasta 5 (**TABLA III**).

TABLA III
TABLA DE PRIORIZACIÓN

	Causas probables	Impacto sobre el problema	Autoridad	Dificultad	Tiempo para solucionar	Total
1	No se lleva a cabo el <i>toolkit</i> de transportes.	5	5	3		75
2	No se evidencia rutina de inspección preventiva por parte de contratista.	5	3	5		75
3	No se cuenta con plan de mantenimiento actualizado.	5	5	5		125

4	No se evidencian SOP's para mantenimientos correctivos específicos (cambio de cardánicas y cambio de rodillos).	5	3	5		75
5	No se evidencia uso de SOP's de lubricación detenida y funcionando.	5	3	5		75
6	No se evidencia una priorización efectiva para transportes.	5	5	5		125
7	No se cuenta con suficiente stock de repuestos (Rodillos, cadenas, cintas, banda y rodamientos).	5	5	5		125
8	No se cuenta con grasa anticorrosión para zonas húmedas.	3	5	5		75
9	No se cuenta con medición de vida útil de los repuestos.	5	5	5		125
10	No hay medición de coeficientes de lubricación por zonas.	3	3	5		45
11	No se realiza medición de desgaste de cadenas <i>tabletop</i> , cardánicas y rodillos.	5	5	5		125
12	No se realiza medición de desgaste de bandas y cintas deslizantes.	5	5	5		125
13	Falta de personal técnico para intervención de equipos.	5	5	3	1,5	112,5
14	Fatiga del personal actual.	5	3	3		45
15	Falla en modulación de transportes.	5	5	5		125
16	Orificios de apoyo de los ejes, expandidos.	3	5	3		45
17	Puntos de lubricación inaccesibles o inexistentes	5	5	3		75
18	Exceso de polvo (cajas DEPA - DEMPA).	3	5	3		45
19	Exceso de humedad (cajas DEMPA - EMPA).	5	5	3		75
20	Falta de un cuarto de transportes.	5	5	3		75
21	Falta marcación de la totalidad de los motores y tramos de transporte.	3	5	5		75
22	Exceso de humedad (chumaceras botellas - lavadora-todo el 2do piso).	5	3	3		45

E. 5 WHY's

Los problemas que sean priorizados en el paso anterior son sometidos a una serie de preguntas donde el principal objetivo es hallar la causa raíz del problema y su relación con el método, es decir, que toda causa raíz hallada debe llegar a una de las siguientes tres respuestas:

- No hay estándar.
- No se siguió el estándar.
- El estándar existente está obsoleto.

A continuación, la tabla de preguntas y respuestas resultante para el problema que compete a este proyecto (TABLA IV).

TABLA IV
5 WHYS

1er POR QUÉ	2do POR QUÉ	3er POR QUÉ	4to POR QUÉ	5to POR QUÉ	ACCION(ES)
No se lleva a cabo el <i>toolkit</i> de transportes.	No se genera seguimiento al estándar de transportes de la línea dentro de la planificación de mantenimiento.	No se priorizan los estándares de mejora dentro del plan de seguimiento de mantenibilidad de transportes.	No se involucra personal de N1 y N2 en los temas de transportes.		Incluir dentro del plan de mantenimiento el <i>toolkit</i> de transportes, involucrando N2 dentro de las ventanas.
Baja confiabilidad en la mantenibilidad de transportes por parte de la empresa contratista encargada del mantenimiento.	Porque no se evidencia rutina de inspección preventiva y predictiva por parte de contratista.	Por falta de control y seguimiento a las actividades de mantenimiento y desempeño de la línea.	No hay generación de indicadores de confiabilidad por parte del contratista. No se genera afectación económica por deficiencias de la mantenibilidad		Incluir indicadores de confiabilidad al contratista (LEF, componente pareto). Implementar afectaciones para incumplimiento de mantenibilidad.
No se cuenta con plan de mantenimiento actualizado de transportes.	Porque no se han priorizado las necesidades de preventivo, predictivo y descarte para los planes actuales	No se tiene un seguimiento real del estado de los transportes.	Porque no se logra ejecutar el volumen de órdenes planificadas.		Se requiere revisar el alcance del contrato actual para la inclusión de más personal. (Plan de choque con jefe de contratistas para incluir personal en las ventanas).
No se realiza medición de desgaste de cadenas <i>Table Top</i> , cardánicas y rodillos.	Falta de cumplimiento en la ejecución del plan.	Contrato no logra cubrir las actividades preventivas			
No se realiza medición de desgaste de bandas y cintas deslizantes.	Porque el contratista no cumple las órdenes I/F.	Falta de personal técnico para intervención de equipos.	Porque no están bien definidas las cargas de mantenimiento correctivo y preventivo por parte del contratista.		
No se evidencian SOP's para mantenimientos correctivos específicos (cambio de cardánicas y cambio de rodillos).	¿Porque no se evidencia SOP para mantenimientos correctivos específicos? Porque las actividades actuales no están ajustadas un estándar.	Porque no tiene estructurado dentro de su proceso de ejecución las atenciones correctivas y rutas de lubricación.	Porque las actividades de intervención no cuentan con estándares de trabajo.		Realizar estándares de intervención para procesos de atención preventiva y lubricación de transportes.
No se evidencia uso de SOP's de lubricación con equipo detenido y en funcionamiento para contratistas.	El contratista no implementa rutas de lubricación estandarizadas				
No se cuenta con suficiente stock de repuestos (Rodillos, cadenas, cintas, banda y rodamientos).	Porque no se cuenta con un inventario actualizado.	Falta de seguimiento por parte de los contratistas a las necesidades de repuestos de consumo.			Definir estándar actual de inventario para transportes (Máximos y mínimos).

F. Plan de acción

Habiendo hallado la causa raíz metodológica del problema, lo siguiente es planear acciones para solucionar el problema. Estas acciones pueden ser pedagógicas, administrativas o técnicas; y deben tener un responsable y un plazo de cumplimiento viable y realista. Con relación a lo anterior, una de las maneras de ejercer el método dentro de la planta, son las **SOP** y los **DTO**, que son respectivamente: los procedimientos específicos para cualquier tarea y las evaluaciones pertinentes que aseguran que la persona sabe cómo realizar la tarea.

Por consiguiente, se definieron un conjunto de acciones que buscan impactar positivamente a la implementación del método en las rutinas operativas. No obstante, también se realizaron unas acciones adicionales que, a pesar de no estar contempladas inicialmente, fueron necesarias para generar impactos inmediatos e independientes al comportamiento humano. Todas las acciones serán presentadas a continuación en el apartado de resultados.

G. Indicadores

1) KPI (Key Performance Indicators)

Los principales indicadores a los cuales se les hará seguimiento son las horas perdidas y el porcentaje de afectación a la LEF, cuyos datos son extraídos de la plataforma **SUTIE 360**. La evolución del indicador de tiempos perdidos y afectación a la LEF se registra semanalmente (**Fig 15**) en un informe que se envía al gerente del salón de envasado, a los coordinadores, y a los planeadores de mantenimiento.

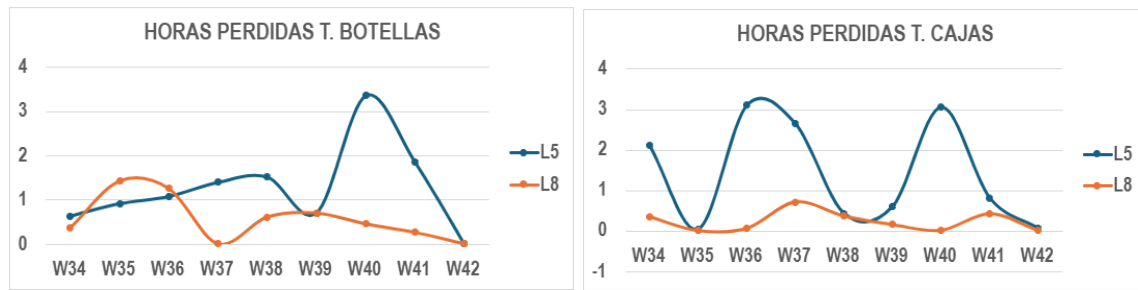


Fig. 15. Seguimiento al KPI

2) Tiempos perdidos

Cuando la máquina llenadora para, se considera que la línea se encuentra en un tiempo perdido, ya que no se está aprovechando el tiempo de producción programado. Estos paros son registrados por el sistema **LMS CORE**, donde el líder de producción o el operario de la máquina llenadora pueden categorizar las causas del paro. Cuando la causa son los transportes de botellas o de cajas, ese tiempo se registra en el **SUITE 360** (Fig 16) y posteriormente se estudiará para los propósitos de este proyecto.

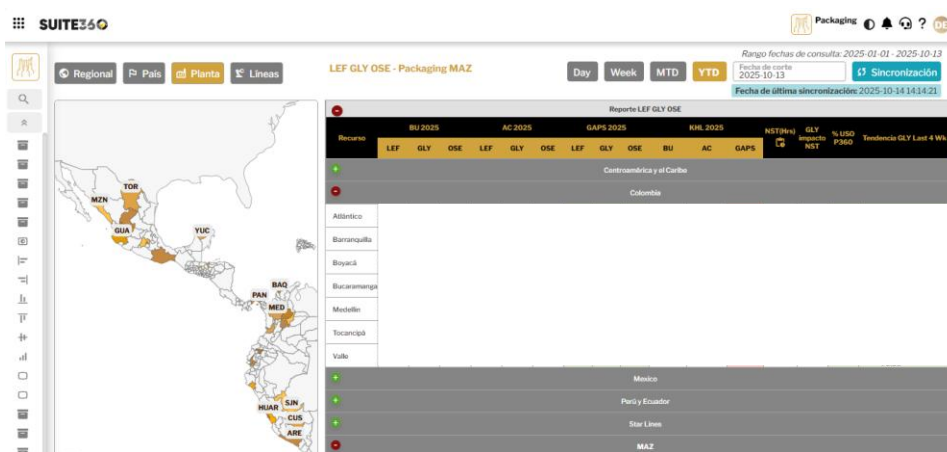


Fig. 16. Plataforma SUITE 360

3) *Afectación a la LEF*

La **LEF** es el indicador de eficiencia de la línea, donde los tiempos perdidos por averías internas afectan directamente a su valor, ya que las variables que sirven para calcular la **LEF** tienen unidades de tiempo. La LEF es la relación entre el tiempo efectivo de producción sobre el tiempo disponible de la línea.

4) *PI (Performance indicators)*

Los PI son los indicadores que representan de una manera más directa la evolución del problema, y se medirán hasta finales de enero de 2026. Para el caso de este estudio los indicadores serán:

- **Ejecución de actividades preventivas:** Cantidad de ordenes (trabajos) preventivas ejecutadas en las ventanas de mantenimiento.
- **Backlog:** Es la cantidad de avisos (reportes) creados que no han sido cerrados.
- **%Avisos cerrados:** Es el porcentaje avisos (reportes) solucionados o cerrados.
- **%SDCA:** Es el porcentaje de cumplimiento de los *items* del SDCA *Check List*.
- **%GOP:** Es el porcentaje de cumplimiento de los *items* del GOPS (buenas prácticas operativas) *Check List*.

5) *SDCA (Estandarizar, Hacer, Verificar, Actuar) Check List*

SDCA hace referencia al ciclo de “mantener” que asegura que el proceso esté estandarizado, estabilizado y controlado, para posteriormente mejorarlo con el ciclo de “mejorar” **PDCA**. La evaluación del **SDCA** será por medio de un *Check List* (**Fig 17**) que consta de una serie de preguntas que evalúan la implementación de las **SOP**, mapas de procesos, *Dashboard*, **DTO**, y otros aspectos del método en el proceso.

Bloque Pilar Gestion: ▾	VPO Tool Checkpoint: ▾
Mapeo de procesos	¿Existe un mapa de procesos de nivel 4 (nivel de tareas) para el <i>proceso afectado</i> ?
Creación & ejecución de estándares	¿Se han establecido los estándares operativos (SOP) para todas las tareas críticas de nivel 4 definidas en el mapa de procesos del <i>proceso afectado</i> ? ¿Se han establecido y ejecutado los mantenimientos planificados de alta calidad con la frecuencia adecuada para todos los <i>equipos afectados</i> ?
Creación & ejecución de estándares	¿Se han realizado OWDs en los SOPs de tareas críticas <i>relacionadas con el Proceso afectado</i> ?
Proceso de revisión de rutina	¿El <i>producto/proceso afectado</i> es monitoreado rutinariamente a través de checklists?
Gestión del conocimiento	¿Has implementado las GOPs <i>relacionadas con tu problema KPI/PI o Proceso</i> ?
5S	¿Están las 5S totalmente integradas en el <i>área del problema, y específicamente para las tareas de trabajo asociadas con el problema</i> ? ¿Se ha asignado el dueño de las 5S, se ha hecho un checklist diario y se han realizado auditorías mensualmente?
Indicadores de producto y proceso	¿Existe un árbol de <i>KPI para el problema KPI o KPI relacionado con el problema PI</i> ? ¿Es adecuado para mostrar todos los IP y SIC que impactan en el KPI?
Proceso de revisión de rutina	¿Existe un Indicador de Producto/Proceso (PI) para monitorear rutinariamente el <i>Producto/Proceso afectado</i> ? ¿Incluye el PI un plan de reacción a seguir si el PI alcanza el límite amarillo/rojo?
Proceso de revisión de rutina	¿Se han utilizado los gráficos SIC para recopilar datos de todos los puntos de medición, y se han utilizado los datos para identificar/resolver la causa raíz del problema?
Solución de problemas	¿Existen disparadores de 5-por qué y relatos de anomalías para tratar las desviaciones relacionadas con el <i>producto/proceso afectado</i> ? ¿Se generan y completan los reportes de 5-por qué y relato de anomalías cuando se disparan los gatillos?
Proceso de revisión de rutina	¿Se revisa rutinariamente el <i>producto/proceso afectado</i> en el MCRS de tu departamento?
Descripción del negocio	¿Existe un Acuerdo de Nivel de Servicio definido y rastreado para el <i>Producto/Proceso afectado</i> ? (Consulte la Descripción de Negocio y Matriz de Criticidad)
Proceso de revisión del rendimiento	¿Se ha generado un GaPA para el <i>KPI afectado</i> ?
Gestión del conocimiento	¿Se ha utilizado el benchmarking interno/externo para identificar las mejores prácticas existentes en relación con el <i>producto o proceso afectado</i> ? Tip: consulte el archivo Global VPO Master Performance para encontrar información de ranking de muchos KPI, tanto los de Sostenibilidad como otros de interés por departamento o categoría de VOP.

Fig. 17. Check List SDCA

6) SIC (Short Interval Control)

Son mediciones de intervalo corto que permiten hacer un seguimiento constante a uno o más indicadores del proceso. El seguimiento de un SIC permite identificar situaciones disparadoras que afecten el indicador, tal y como se muestra en la **Fig 18**. Para el caso de este proyecto se propone determinar uno o varios **SIC** que los operadores de máquina o los técnicos de la firma contratista puedan seguir diariamente.

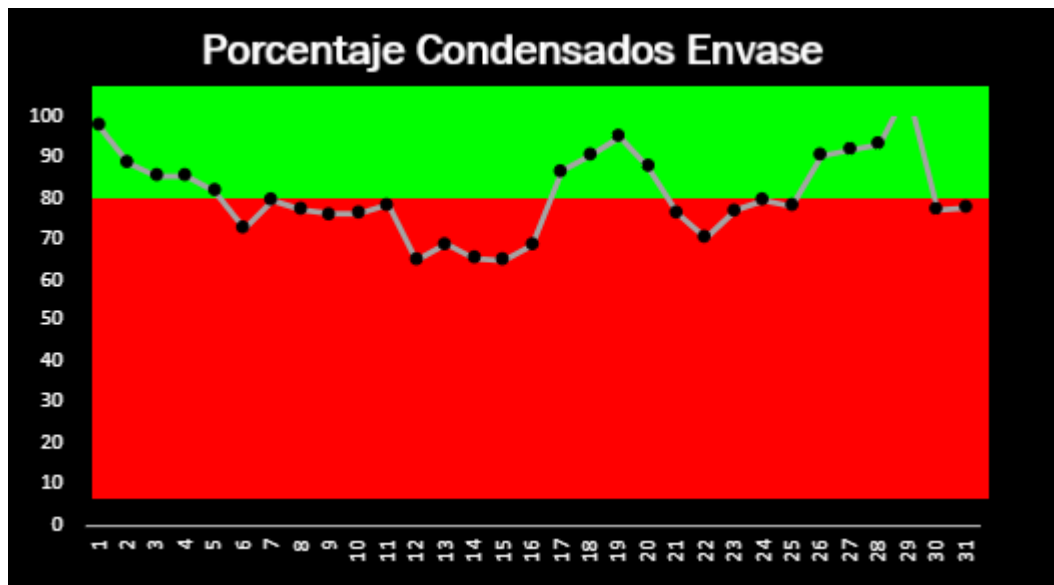


Fig. 18. Ejemplo de un SIC utilizado en el envase

7) *GOP (Buenas Prácticas Operativas)*

Son las buenas prácticas operacionales para el mantenimiento de los transportes, establecidas a nivel internacional por el sistema de gestión VPO. Su evaluación se realiza por medio de un *Check List* (**Fig 19**) que consiste en una serie de preguntas que evalúan la implementación de las **GOP** en el mantenimiento de los transportes.

Buenas Practicas	
Condiciones Basicas - Peso 40	
1	¿Existen responsables por línea o área del seguimiento del toolkit de transportadores? ¿Estos responsables son fijos?
2	¿Los técnicos cuentan con tarjetas de seguridad, y los permisos de seguridad son colocados de manera conveniente?
3	¿Los técnicos conocen los puntos de bloqueo de seguridad de los transportadores a intervenir?
4	¿Los técnicos han concluido sus planes de capacitación?
5	¿Hay un cuarto / tablero de herramientas para transportadores, sensores, motores, tableros organizado en 5-S, el cual es revisado periódicamente, comunicándose los resultados a los técnicos responsables?
6	Están todos los materiales de bajo costo disponibles en cuarto de transportación, para libre acceso (chumaceras, plásticos) materiales tienen que estar identificados con código SAP y deben tener un lugar designado
7	¿Existe un tablero para el Tool Kit de transportadores, donde se muestren los principales PI's? ¿Los responsables y técnicos lo ubican y entienden?
8	¿Están las herramientas especiales indicadas en el toolkit de transportadores, disponibles para los técnicos, así como estratégicamente localizadas en el área para minimizar pérdida de tiempo en recorridos?
9	¿Están todos los planes de mantenimiento preventivo para transportadores en el SAP liberados?
Programacion del mantenimiento a transportadores - Peso 20	
10	¿Están todos los equipos etiquetados indicando el número de TAG y número SAP del transportador?
11	¿Existe un layout del área / línea, en el cual se indiquen todos los transportadores, sensores, motores, tableros de acuerdo a su ubicación real en el área? (depende del número de líneas)
12	¿Las órdenes de mantenimiento requeridas por el SAP son programadas a través de una revisión y priorización por los responsables por transportación?
13	¿Las órdenes de mantenimiento relativas a transportadores son ejecutadas en tiempo de acuerdo a lo programado?
14	¿Se están revisando y programando las órdenes en backlog para transportadores?
15	¿Hay responsable de trabajar con los proveedores en la compra y estandarización de refacciones de los transportadores y mejora de los planes de mantenimiento?
Proceso de Mejora y Gestion de Eficiencia - Peso 25	
16	¿Existen una matriz RACI de roles y responsabilidades, en la que estén claramente definidos los roles de los técnicos y responsables del mantenimiento de los transportadores?
17	¿Existe una reunión o rutina de seguimiento donde se revisen los PI, pendientes y se tiene un plan de acción por línea o sección?
18	¿La eficiencia / rendimiento de los transportadores son medidos y seguidos por los responsables, y se toman en cuenta durante el proceso de programación de servicios?
19	¿Los técnicos saben donde están localizados los manuales e instructivos de los transportadores y las Sops u OPL que aplican para cada transportador?
20	¿Se están registrando en históricos y analizando los resultados de las mediciones que son solicitadas en las SOP's del toolkit de transportadores? ¿Resultados fuera de control generan alguna acción?
21	¿Están los técnicos enterados e investigando las causas de trabajos correctivos de emergencia que se generan entre periodos de mantenimiento preventivo? ¿Existe un book de 5Ws en el cuarto para hacer la investigación de las fallas y se está utilizando?
22	¿Están los técnicos activamente involucrados en la revisión, actualización, y cambios de los planes de mantenimiento de los transportadores? ¿Son las fallas comunes y repetitivas en transportadores escaladas y revisadas para evaluar mejoras en diseños que maximicen la operación de estos?
Capacitacion/Entrenamiento - Peso 10	
23	¿Hay un claro plan de capacitación enfocado en la actualización de conocimientos, y esta siendo realizado?
24	¿Existen SOP's para mantenimiento preventivo y correctivo de transportadores, estas SOP's son conocidas por todos los técnicos involucrados?
25	¿Son los técnicos capacitados en funciones básicas de SAP, de tal forma que puedan generar avisos y notificaciones de órdenes de trabajo?
26	¿Los técnicos de nuevo ingreso tuvieron su curso de inducción y su curso de capacitación del toolkit de transportadores?
Varios - Peso 5	
27	¿Los técnicos utilizan carritos y/o triciclos que incrementen su movilidad en áreas muy extensas?
28	¿Existen carpetas compartidas en donde se comparta información, con la finalidad de reducir tiempo de búsqueda de información técnica?
29	¿Hay una estación de trabajo con SAP que esté localizada en el área de producción, con la finalidad de que los técnicos no pierdan tiempo para notificar o crear avisos?
30	¿Tienen todos los equipos plataformas y/o puntos de acceso fijos o móviles para realizar el mantenimiento de los transportadores de forma segura? ¿Se puede hacer el mantenimiento en todo el transportador de manera segura?

Fig. 19. Check List GOPS

V. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

TABLA V
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Cronograma de actividades – Transportes Línea 5						
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Inducción corporativa.	100%					
Análisis del problema.		100%				
Estabilización de tiempos perdidos por T. Cajas.			EN PROGRESO			
Mapa de calor T. Cajas.			100%			
Verificación del método T. cajas. (SDCA & GOP).			90%			
SOP T. Cajas.			80%			
Estabilización de tiempos perdidos por T. Botellas.					EN PROGRESO	
Mapa de calor T. Botellas.					100%	
Verificación del método T. Botellas. (SDCA & GOP).					80%	
SOP T. Botella.					60%	

A. Análisis del problema

Este espacio será utilizado para comprender el proceso y para la familiarización con las máquinas y comprensión de los ciclos de mantenimiento ejecutados actualmente.

B. Mapas de calor

Se refiere a una serie de tareas, cuyo objetivo común es identificar visualmente las zonas críticas de los transportes, por tramos, codificación y causa, siguiendo así con un inventariado de repuestos máximos y mínimos en stock, asegurando la confiabilidad del proceso.

C. Verificación del método

Se refiere a una serie de acciones, cuyo objetivo común es identificar que causas raíz relacionadas al método son las que están generando el problema. En este ítem se encuentran tareas como el seguimiento de las ventanas de mantenimiento procurando la ejecución de las órdenes de mantenimiento lanzadas por el planeador y priorizando como mínimo una actividad preventiva y no sólo la ejecución de correctivas, además del seguimiento continuo al progreso de los *Check List* **SDCA** y **GOP**.

D. SOP

Se refiere a la verificación y/o modificación de las **SOP** existentes para el mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo de los transportes de cajas y botellas. Además de crear e implementar una forma pedagógica de correr los respectivos **DTO** con los técnicos de la firma contratista y con el equipo de mecánicos internos.

VI. PRESUPUESTO

El mayor costo para una completa ejecución de este proyecto es el de ejecución del *Check List* de **GOP** para transportes, que incluso exige un cuarto específico para transportes debidamente dotado. La disponibilidad de este recurso depende en gran medida del presupuesto otorgado al área de mantenimiento del envase. No obstante, la mayoría de las acciones planeadas no requieren gran inversión económica, pero si un recurso en tiempo considerable. Los costos asociados a la ejecución del proyecto se presentan en la **TABLA VI**.

TABLA VI
PRESUPUESTO

Concepto	Costo total [\$COP]	Comentario
Contratación de practicante de ingeniería mecánica.	17,022,000	Contrato por 6 meses
Honorarios asesoría profesor UdeA.	6.400.000	200,000 cada hora durante 32 horas
Energía eléctrica computador de oficina.	87,840	8 horas al día durante 122 días hábiles - Consumo de 200W - 450 COP/kWh
Vinilo para pared de transportes.	9,897,000	Anexo 1
Resma de acetatos para plastificar.	350,000	5 resmas 70000 C/U
Platinas curvas en acero Brinell 450.	2,950,000	2 platinas curvas cortadas
Lubricante seco a base de Disulfuro de Molibdeno.	100,000	Una (1) lata de prueba
Total.	36,806,840	

VII. RESULTADOS

A. Indicadores claves de desempeño

En primer lugar, una de las acciones claves a la hora de hacer seguimiento a los transportadores es la de independizar los datos de transporte de cajas con los de transporte de botellas. Sin embargo, al presentarlos sobre el mismo gráfico y escala, se puede identificar y contrastar oportunamente cuál de los tipos de transportadores presenta más afectaciones. Lo anterior es importante ya que permite planificar objetivamente los trabajos y asegurar la disponibilidad de los repuestos indispensables para las posteriores ventanas de mantenimiento.

Tal y como se puede observar en la **Fig 20**, durante el tiempo de inducción corporativa en agosto y septiembre (W34 – W42), los tiempos perdidos y afectación a la LEF presentaban un comportamiento oscilatorio, con gran amplitud y sin ningún tipo de tendencia, además el análisis 52 – 12 - 4 (**Fig 21**) presentaba un aumento continuo de las horas perdidas en comparación a las semanas anteriores. Durante el mes de octubre empezaron a plantearse y a ejecutarse las acciones propuestas por medio de la metodología del proyecto, generando un impacto positivo para finales

de octubre y todo el mes de noviembre (W43 – W49). Como consecuencia de estos primeros resultados positivos (**Fig 20**), fue ordenado por gerencia la ampliación de esta estrategia de seguimiento a las otras líneas (**Fig 22**). No obstante, dicha ampliación generó un desenfoque hacia la línea 5, que sumado con algunas condiciones operativas propias de las festividades como el personal en vacaciones y el aumento de la producción, afectaron la tendencia positiva de la línea 5 (W51) obligando al equipo de mantenimiento a generar acciones con impacto inmediato e independiente al personal operativo. Dichas acciones serán mencionadas más adelante.

A pesar de que los objetivos no fueron cumplidos durante todas las semanas, si fue posible cumplir la meta de tiempos perdidos durante más de un mes completo, lo cual permite reconocer que la estrategia y acciones implementadas impactaron positivamente a la estabilización de los transportes de cajas y disminuyeron los máximos de tiempos perdidos y de afectación a la LEF (amplitud). Además, la tendencia de 52 – 12 -4 (**Fig 21**) muestra como la tendencia de mejora es constante desde que comenzó la implementación del proyecto.

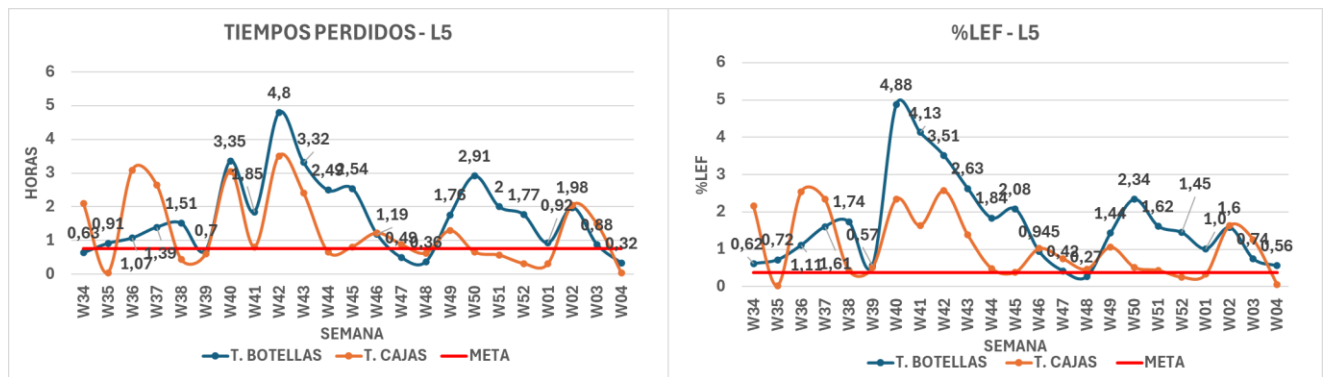
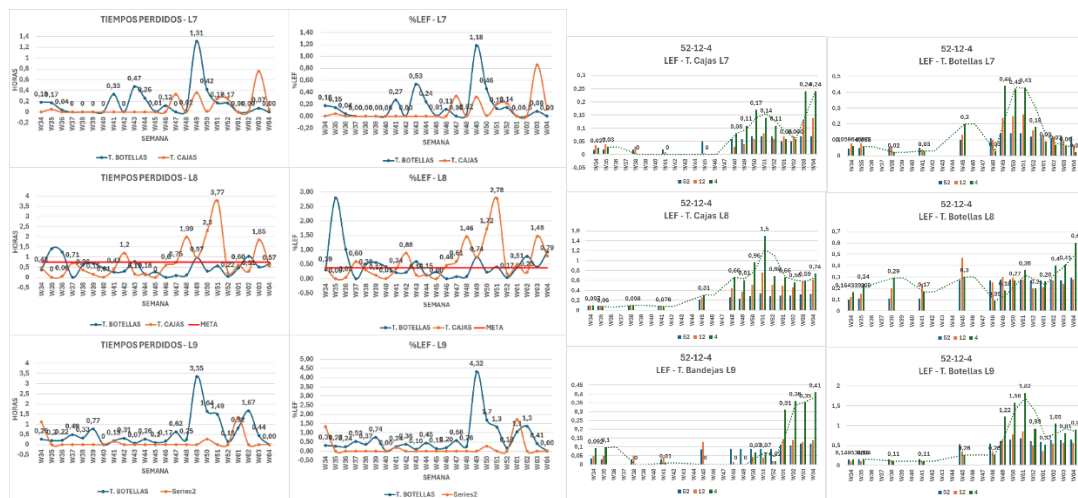
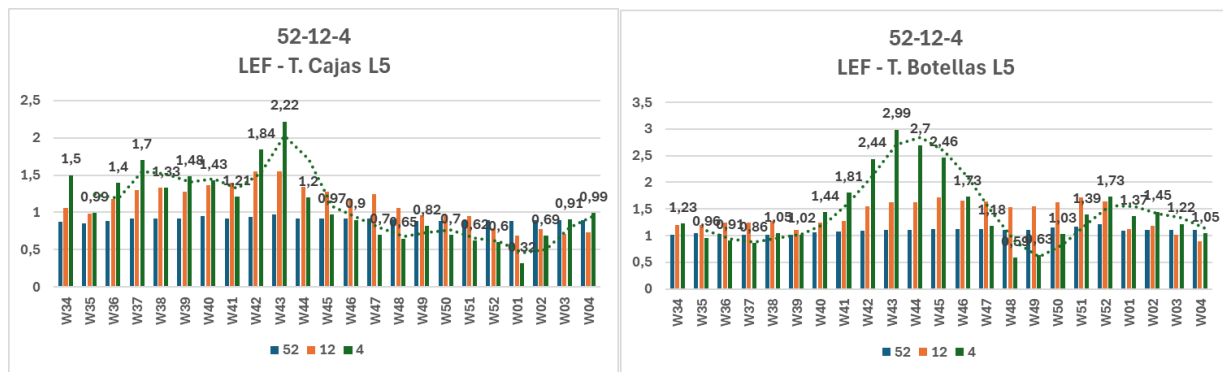


Fig. 20. Tendencia de KPI de transportes en la línea 5



B. Indicadores de desempeño

Los objetivos específicos se cumplieron satisfactoriamente, tal y como se puede apreciar en la **Fig 23**. El aumento en el cierre de avisos y la disminución de avisos en *backlog* impactaron positivamente al desempeño de los transportadores. Sin embargo, también es evidente que el porcentaje de cierre comenzó a disminuir en el momento de ampliar la estrategia a las otras líneas, explicando una parte del aumento de afectaciones durante este último periodo de tiempo.

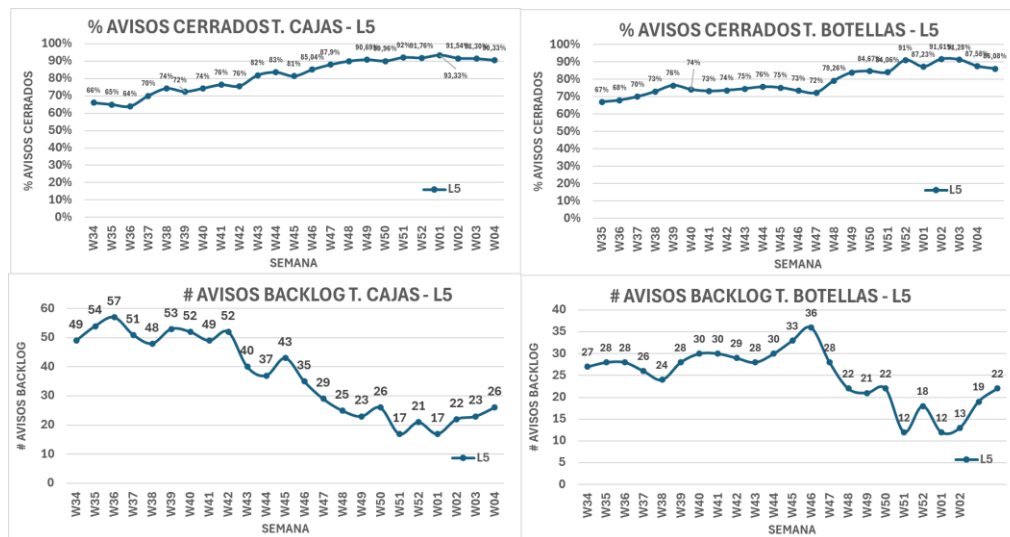


Fig. 23. Tendencia de PIs en la línea 5

La tendencia de aumento en las rampas de implementación SDCA y GOPs (Fig 24) también son un reflejo de como la implementación del método en cuanto a estrategias de seguimiento y control afectan positivamente en el desempeño de cualquier proceso. Además, demuestran el interés de mejora por parte del equipo nivel 2 y 3, los cuales han dado su apoyo en cuanto a presupuesto y personal para cumplir con los ítems de los *Check List*.

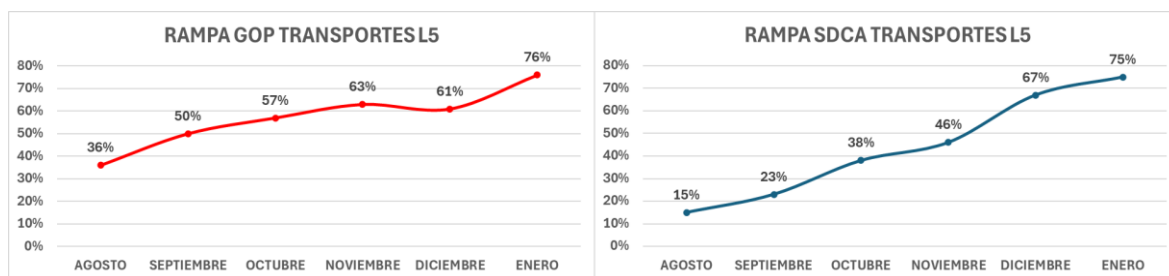


Fig. 24. Rampa de checklist GOPs y SDCA en la línea 5

C. Acciones

El plan de acciones resultante de la aplicación de la metodología de resolución de problemas con espina de pescado - 5WHYs se presenta en la siguiente tabla.

TABLA VII
PLAN DE ACCIÓN RESULTANTE

Método	Acción	Observación	Responsable	Estado
5W	Seguimiento e inspección de los trabajos realizados a transportes durante las PCM.		Juan Pablo Olaya	Completo
5W	Creación de mapa de calor para transporte de cajas.		Juan Pablo Olaya	Completo
5W	Incluir dentro del plan de mantenimiento el <i>toolkit</i> de transportes, involucrando N2 dentro de las ventanas.	Involucrar líderes con contrato de empresa tercerista	Coordinador de producción/ Planeador de mantenimiento	En Progreso
5W	Incluir indicadores de confiabilidad al contratista (LEF, componente Pareto).	Implementar <i>dashboard</i> para transportes y lavadora de botellas con el contratista (Cuarto de transportes)	Planeador de mantenimiento / Juan Pablo Olaya	En Progreso
5W	Se requiere revisar el alcance del contrato actual para la inclusión de más personal.	El personal actual de transportes por parte del contratista son 9 personas, durante 6 meses, 4 técnicos y 2 SISOS, en proceso aprobación del director de planta. Se recomienda la contratación de al menos otro soldador para transportes, indispensable para la preparación y ejecución de mantenimientos preventivos.	Planeador de mantenimiento/ Coordinador de mantenimiento	Completo
5W	Realizar estándares de intervención para procesos de atención preventiva y lubricación de transportes.	Contratista cuenta con las SOP ya revisadas de lubricación y preventivo.	Planeador de mantenimiento/ Juan Pablo Olaya	Completo
5W	Definir estándar actual de inventario para transportes (máximos y mínimos).		Planeador de mantenimiento/ Juan Pablo Olaya	En Progreso

5W	Realizar análisis de tratamiento de aviso por no estar por encima del 90%.	Análisis revisados en reunión de plan de choque.	Planeador de mantenimiento/ coordinador de mantenimiento.	Completo
----	--	--	--	----------

Adicionalmente a las acciones presentadas en la **TABLA VII**, se realizaron otras acciones de corto plazo y alto impacto, con el objetivo de aumentar la confiabilidad en algunos puntos críticos identificados, gracias al seguimiento histórico de mantenimiento.

Considerando que los descarrilamientos y roturas de cadenas cardánicas son la principal causa de tiempos perdidos en transporte de cajas para la línea 5, se ejecutaron una serie de acciones presentadas a continuación, enfocadas a este tipo de transportes.

1) Apoyo de personal operativo para limpieza de canales guía en transportes cardánicos

Teniendo en cuenta las limitaciones de personal y la alta carga de mantenimientos correctivos para la firma contratista, se decidió designar a un operario de línea para realizar aseos en los canales guía de las cadenas cardánicas durante las ventanas de mantenimiento, ya que los atranques son causados en su mayoría por dos motivos, desprendimiento de la platina sufridera deslizante o por atraques de rocas o tapas de metal entre la cadena y los empalmes de cada canal (**Fig 25**).



Fig. 25. Suciedad en canales guía de transportes cardánicos y operario de línea realizando labores de limpieza

2) *Cambio de material en platinas curvas de deslizamiento para tramos cardánicos M1*

Los tramos M1 de salida de las paletizadoras son de tipo cadena cardánica, donde se identificó experimentalmente que el desgaste de las placas deslizantes es demasiado prematuro, lo cual genera reprocesos que impiden el adecuado plan de mantenimiento en otras zonas de los transportes. El análisis presentó que el desgaste prematuro en esta zona se debe a la gran cantidad de polvo y tierra con la que llegan las cajas desde las calles, donde dicho polvo se aloja entre la cadena y las placas deslizantes, causando un efecto abrasivo que disminuye la vida útil de las placas a tan sólo 2 - 3 meses.

Las platinas curvas utilizadas están fabricadas con placas de acero ASTM A36 con un espesor de 3/16", cuya dureza superficial no es suficiente para las condiciones de abrasión presentadas en los tramos M1, y es por esto que se decidió utilizar platinas deslizantes fabricadas con placas de 6 mm de espesor de acero anti-desgaste BRINELL 450 cuya dureza superficial puede ser 2 o 3 veces mayor que la del acero A36 [4,5]. Las últimas inspecciones de seguimiento muestran que, tras 6 semanas de uso, las rayaduras en las platinas presentan menos de 1mm de profundidad, lo cual es un hallazgo positivo. Mientras que las platinas anteriores mostraban desgaste a las 12

semanas aproximadamente. No obstante, también se planea realizar pruebas con un recubrimiento seco en aerosol, a base de disulfuro de molibdeno, todo lo anterior presentado en la **Fig 26**.



Fig. 26. Desgaste de platina A36 luego de 12 semanas y desgaste de platina Brinell 450 luego de 6 semanas

3) Cambio de estructura y material para riel de deslizamiento en cadenas cardánicas

Otra estrategia para disminuir la probabilidad del desprendimiento de la placa sufridera deslizante, y la acumulación de polvo fue la sustitución de la estructura del canal guía. Actualmente se utiliza un canal en U como guía junto con una platina de acero A36 como placa sufridera deslizante, por lo que se fabricó un nuevo tipo de riel que hace de guía y sufridera al mismo tiempo. El nuevo diseño está compuesto por dos ángulos de 90 grados fabricados en acero A36 con ala de 1" y espesor de 3/16" (**Fig 27**) [6]. Este diseño no sólo disminuye la acumulación de polvo y la probabilidad de desprendimiento, gracias a la abertura en el centro inferior, sino que también simplifica el proceso de recambio al momento de cumplir su vida útil, lo cual es otro factor que afecta considerablemente los trabajos en los tramos cardánicos.

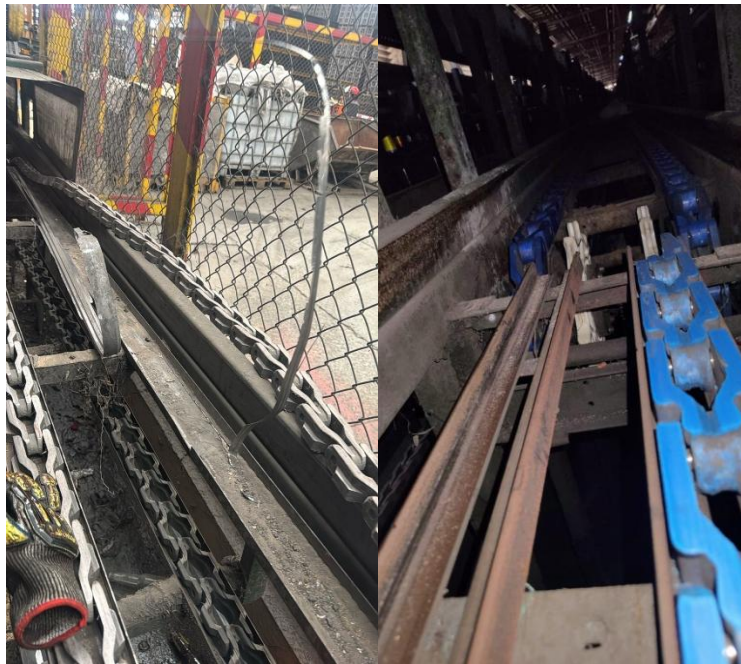


Fig. 27. Desprendimiento de platina sufridera y nuevo sistema de rieles con ángulos

4) Análisis de falla en rodillos y propuesta de mantenimiento

Al igual que los tramos de transportes cardánicos, los transportes de rodillos sufren de desgaste prematuro debido al polvo que erosiona un punto específico del rodillo, donde el borde de la caja hace contacto, para finalmente cortar el rodillo (**Fig 28**). Adicionalmente, el exceso de vibración causado por el desgaste del chasis que soporta el eje también multiplica el efecto de picadura en el acero. Se realizó un seguimiento con pintura color naranja en un conjunto de rodillos nuevos, instalados durante la semana W49 de 2025, los cuales comenzaron a fallar desde la semana W02 de 2026, representando así una duración de 6 semanas (1.5 meses) (**Fig 29**).



Fig. 28. Modo de falla de los rodillo y desgaste en los agujeros para eje del chasis

Como estrategia de solución de esta problemática se han considerado las siguientes opciones de solución:

- Tratamiento superficial de endurecimiento en los rodillos
- Cambiar el material de fabricación del rodillo
- Aumentar la frecuencia de cambio de los mismos rodillos
- Reacondicionar tramos enteros junto con chasis
- Recubrimiento de Kevlar en rodillos y cubre rodamientos

De las anteriores, las tres primeras resultan ser poco factibles por altos costos y bajo desempeño, además de que los problemas de vibración continuarían si sólo se ataca el problema superficial del rodillo. Por eso, la opción seleccionada es la de reacondicionar tramos enteros previamente preparados, con rodillos y chasis nuevos, tal que los problemas de vibración sean solucionados. Por otro lado, para evitar el frenado de los rodamientos por el polvo, es muy posible el uso de carcasas impresas en 3D, esto sin descartar la tarea de estudiar más a fondo la posibilidad de recubrir los rodillos más críticos con tejido de Kevlar impregnados con resina.



Fig. 29. Seguimiento al cambio de rodillos

Por otra parte, luego de identificar que en transporte de botellas las afectaciones son causadas en su mayoría por descarrilamiento de cadena *table top* (incluso con buena elongación, piñón nuevo y cintas deslizantes en buen estado), afectaciones por botella caída atribuida a la generación de vacíos en las transiciones y disparos de motor, se realizaron las siguientes acciones inmediatas.

5) *Adaptación de palometas de acumulación y aumento en concentración de lubricante*

La mayoría de los vacíos en las zonas de transferencia entre dos transportes de botellas están causados por retrasos en la señal de activación de los variadores o coeficientes de fricción demasiado altos. La señal mencionada proviene de una palometa que por gravedad activa un sensor de posición inductivo. El problema evidenciado es que, en algunas zonas, el tiempo de caída de la palometa es demasiado largo, permitiendo que se genere un vacío en la transferencia, lo cual, sumado a problemas de lubricación, velocidad o planitud, generan botellas caídas.

Como solución, se modificó la palometa soldando un trozo de platina adicional para que la activación del sensor inductivo sea casi inmediata luego de que las botellas comiencen a moverse, lo cual evita la generación de vacíos, en la **Fig 30** se puede observar un antes y un después, resaltando la zona de transferencia donde se generaba caída.



Fig. 30. Adaptación en palometa y generación de botella caída por vacíos

No obstante, los vacíos no son el único problema. Actualmente en las mesas de entrada de la lavadora de botellas, el problema de botella caída parece generarse por un momento de giro causado por la fuerza de fricción de las cadenas *Table Top* y la fricción de las barandas laterales sobre la botella, tal y como se muestra en la **Fig 31**. Al revisar el coeficiente de fricción en esta zona se evidencia que es de 0.3, demasiado alto, casi el doble del máximo recomendado de 0.17 [7]. Esto se debe a la gran cantidad de polvo que traen las botellas, y que luego es absorbido por el lubricante jabonoso, el cual pierde sus propiedades antifricción. Con base a lo anterior se decide aumentar la concentración de lubricante en esta zona, a través de la dosificación desde los tanques de lubricante, lo cual generó un efecto muy positivo en la problemática de botella caída en esta zona, y una disminución del coeficiente de fricción hasta 0.2.

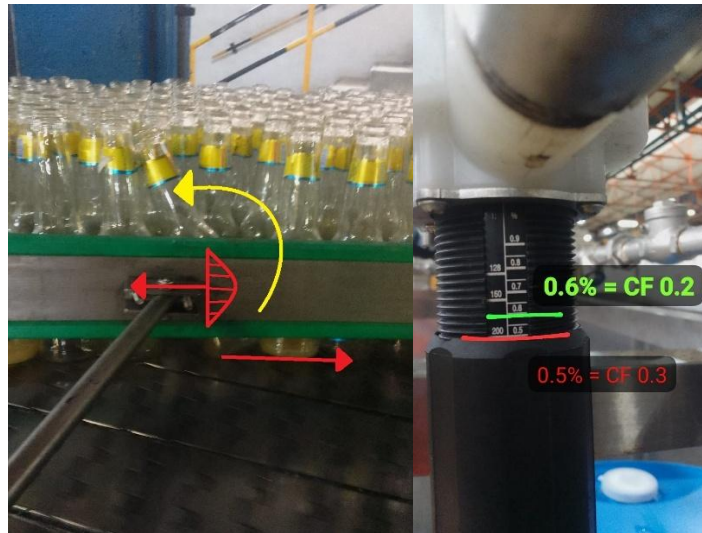


Fig. 31. Momento de giro causante de botella caída y aumento de concentración de lubricante

6) *Visita de experto en transportes de botellas de la empresa Regina*

Durante la semana W04 de 2026, tuvimos la visita de un experto en transporte de botellas de la empresa Regina, fabricantes de la mayoría de los elementos que utilizamos en este tipo de transportes [8]. Esta visita evidencia deficiencias importantes en el funcionamiento y mantenimiento actual de estas máquinas, ya que por ejemplo gran parte de los transportes tienen el primer eje de rodezuela muy cercano al piñón conductor de las cadenas *Table Top*, generando un ángulo de contacto excesivo. Es probable que esta sea la causa de los constantes descarrilamientos por atranque de vidrio ya que la cadena *Table Top* recibe una tensión excesiva y no tiene posibilidad de absorber algunos atranques de vidrio o arranques de motor. En la **Fig 32** se presenta la catenaria y distancias recomendadas para este mecanismo [9].

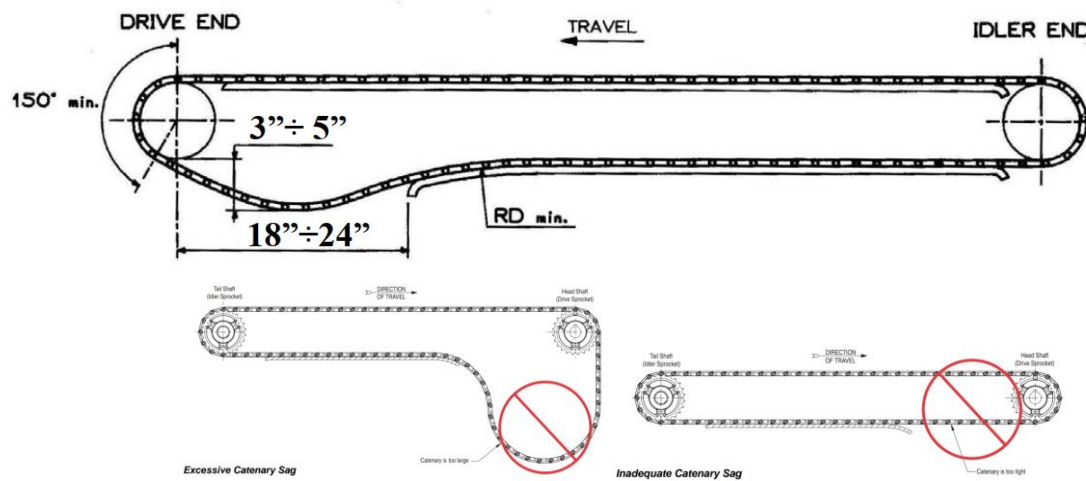


Fig. 32. Recomendación de catenaria para cadena a la salida del piñón conductor

Como estrategia de solución se plantea la capacitación por parte del experto en transportes para el personal interno y contratistas, junto con la programación de un plan de reacondicionamiento de rodezuelas en todos los transportes de botellas en la línea 5 para ajustar la catenaria.

VIII. CONCLUSIONES

- La aplicación del sistema de gestión **VPO**, mediante los ciclos **SDCA** y **PDCA**, permitió abordar el problema de los tiempos perdidos en los transportes mecánicos de cajas y botellas desde una perspectiva metodológica y no únicamente técnica, evidenciando que gran parte de las fallas recurrentes estaban asociadas a debilidades en la estandarización, el control y la sostenibilidad de los procesos de mantenimiento.
- El análisis estructurado del problema, apoyado en herramientas como la **espina de pescado**, la **priorización multicriterio** y la metodología de los **5 WHY's**, permitió identificar que las principales causas raíz se relacionaban con la ausencia de estándares claros, el bajo seguimiento al mantenimiento preventivo y predictivo, y la limitada medición del desempeño del contratista, más que con deficiencias puntuales de diseño o selección de componentes.
- La separación y análisis individual de los indicadores correspondientes a los transportes de cajas y de botellas constituyó un aporte relevante al diagnóstico del problema, ya que permitió

identificar comportamientos diferenciados entre ambos sistemas y orientar de manera más objetiva la planificación de las actividades de mantenimiento y la priorización de recursos

- La implementación de indicadores de desempeño (**KPI y PI**) y el seguimiento sistemático a variables como tiempos perdidos, afectación a la **LEF**, ejecución de actividades preventivas y cierre de avisos, evidenció que el control continuo del proceso tiene un impacto directo en la estabilidad operativa de los transportes, reduciendo la variabilidad y la recurrencia de fallas.
- Si bien no se logró cumplir de forma sostenida la meta final de tiempos perdidos durante todo el periodo de ejecución del proyecto, sí se alcanzaron periodos continuos de cumplimiento del objetivo, lo cual valida la efectividad de la estrategia implementada y demuestra que el sistema es capaz de sostener la mejora, siempre que se mantenga el enfoque metodológico y la disponibilidad de recursos adecuados.
- La ampliación de la estrategia de seguimiento a otras líneas de envasado permitió evidenciar la importancia de consolidar primero las mejoras en un sistema piloto, antes de su replicación, ya que la dispersión de esfuerzos y recursos afectó temporalmente el desempeño de la línea 5, resaltando la necesidad de una implementación progresiva y controlada de las metodologías de mejora.
- Las acciones técnicas de corto plazo ejecutadas en puntos críticos de los transportes, como el cambio de materiales en platinas deslizantes, la modificación de rieles guía, el análisis de falla en rodillos y la adaptación de elementos de acumulación, permitieron reducir fallas repetitivas y reprocesos, demostrando la importancia de complementar el fortalecimiento del método con soluciones técnicas bien fundamentadas.
- El ajuste de variables operativas, particularmente en los sistemas de transporte de botellas, evidenció la alta sensibilidad del proceso a factores como el coeficiente de fricción, la limpieza y la geometría de las transiciones, confirmando la necesidad de integrar criterios mecánicos y operativos en la toma de decisiones de mantenimiento.
- La interacción con expertos externos en sistemas de transporte permitió validar técnicamente los hallazgos del proyecto y evidenció oportunidades adicionales de mejora relacionadas con el diseño y configuración de los transportes, reforzando la importancia de la transferencia de conocimiento especializado dentro de los procesos de mejora continua.
- En términos generales, el desarrollo del proyecto permitió concluir que la confiabilidad de los transportes mecánicos en líneas de envasado depende de la adecuada articulación entre **método,**

personas y tecnología, y que la sostenibilidad de los resultados está directamente ligada a la disciplina en la aplicación de estándares, al seguimiento permanente de indicadores y a la cultura de mantenimiento dentro de la organización.

IX. RECOMENDACIONES

- Se recomienda **fortalecer el personal técnico del contratista de mantenimiento de transportes** mediante la incorporación de al menos **un soldador adicional**, dado que las actividades asociadas a los transportes mecánicos —especialmente la fabricación y preparación previa de refracciones como rodillos, rieles guía y soportes— requieren una carga de trabajo superior a la que actualmente puede asumir un sólo recurso. Adicionalmente, los mantenimientos en transportes de cadenas cardánicas demandan mayor tiempo de intervención y preparación, lo que hace necesario contar con mayor disponibilidad de personal especializado para evitar reprocesos y retrasos en las ventanas de mantenimiento.
- Se recomienda **mantener el seguimiento disciplinado y sistemático de los indicadores de desempeño**, tanto **KPI** como **PI**, asegurando su revisión periódica y su uso como herramienta principal para la toma de decisiones en el mantenimiento de los transportes. La continuidad en el análisis de estos indicadores es clave para sostener la estabilidad alcanzada y detectar oportunamente desviaciones, antes de que se conviertan en fallas recurrentes.
- Se sugiere **dar continuidad a las rampas de implementación de SDCA y GOP**, asegurando el cumplimiento progresivo de los ítems establecidos en los *Check List*, y su integración dentro de las rutinas operativas del personal interno y contratista. La consolidación de estas rampas es fundamental para cumplir con el **Tool Kit de excelencia** del sistema VPO, y garantizar la estandarización y sostenibilidad de las mejoras implementadas.
- Se recomienda **finalizar la adecuación del espacio o cuarto de transportes**, ya que este representa un elemento clave para la correcta gestión del mantenimiento, el control visual de indicadores, la estandarización de repuestos y la ejecución efectiva de las buenas prácticas operativas. La disponibilidad de este espacio facilitará la consolidación del método y mejorará la eficiencia en la preparación y ejecución de las actividades de mantenimiento.
- Se sugiere **modificar todos los transportes de botellas que presenten una configuración incorrecta de la catenaria**, ajustándolos a las recomendaciones técnicas del fabricante. La

correcta instalación de la catenaria es fundamental para reducir la tensión excesiva en las cadenas Table Top, disminuir el riesgo de descarrilamientos y aumentar la vida útil de los componentes, contribuyendo así a una mayor confiabilidad del sistema de transporte de botellas.

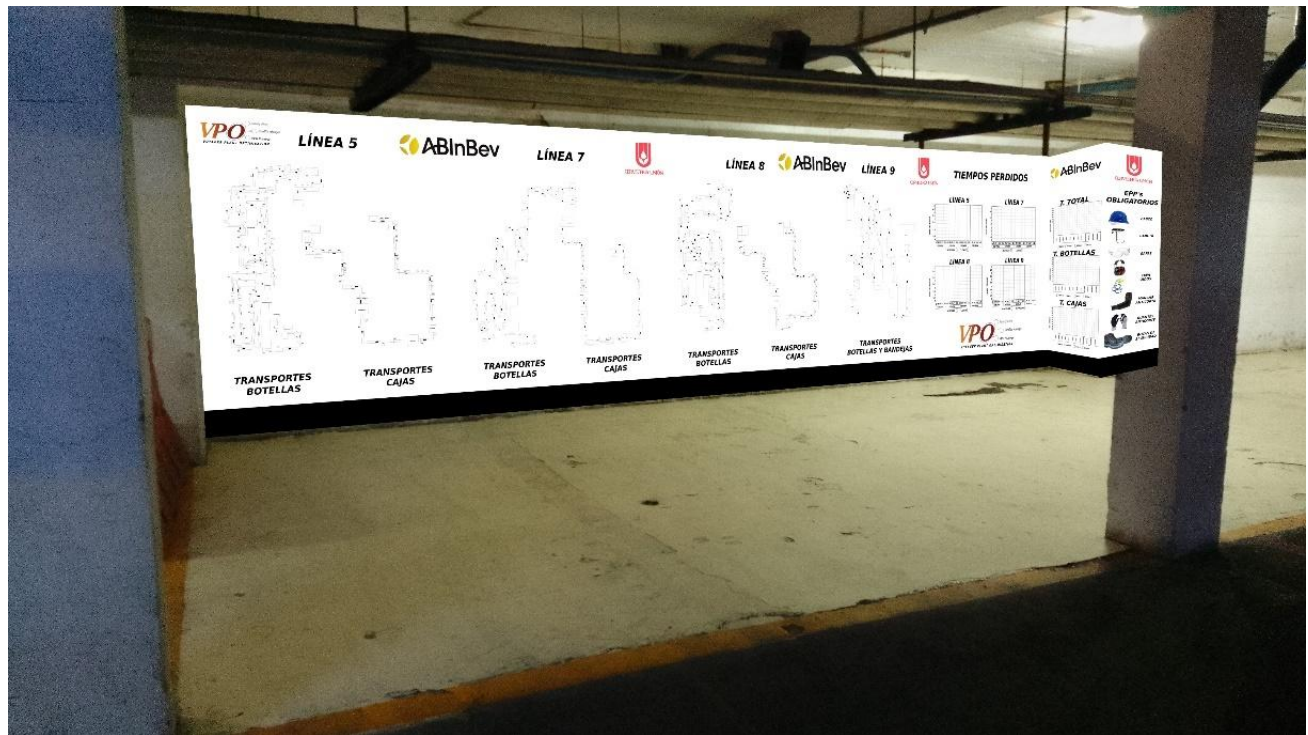
- Se recomienda **continuar con el seguimiento a los elementos críticos** tales como las cadenas cardánicas y las cadenas *Table Top* para construir un historial de fallas y así poder definir un *stock* de máximos y mínimos realista.

REFERENCIAS

- [1] AB InBev, *Supply Chain Management Handbook*, caps. 7, 10, 11 y 12, versión 1.0, 2025.
- [2] P. Morales Tipismana, *Propuesta de mejora en la gestión de almacenes utilizando metodología lean warehouse para incrementar la eficiencia de líneas retornables de producción en una planta cervecera*. Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/653814>
- [3] AB InBev, *Supply Chain Management Handbook*, caps. 7, 10, 11 y 12, versión 1.0, 2025.
- [4] Aceros Mapa, *Ficha técnica Brinell 450*, s. f. [En línea]. Disponible en: <https://acerosmapa.com.co/wp-content/uploads/2024/07/OP-FT-09-BRINELL-450-1.pdf>
- [5] Aceros Mapa, *Ficha técnica perfilera estructural ángulos de alas iguales*, s. f. [En línea]. Disponible en: <https://acerosmapa.com.co/wp-content/uploads/2024/07/OP-FT-17-ANGULOS-DE-ALAS-IGUALES-1.pdf>
- [6] Aceros Mapa, *Ficha técnica perfilera estructural ángulos de alas iguales*, s. f. [En línea]. Disponible en: <https://acerosmapa.com.co/wp-content/uploads/2024/07/OP-FT-17-ANGULOS-DE-ALAS-IGUALES-1.pdf>
- [7] AB InBev, *UEOI – La importancia del mantenimiento en transportadores*, versión 1.0, 2025.
- [8] Regina Catene Calibrate S.p.A., *Conveyor general catalogue 2024 (Production range)*, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.reginachain.net>
- [9] Regina Mexico, S.A. de C.V., *Manual de mantenimiento para transportadores de líneas*, s. f. [En línea]. Disponible en: <https://www.regina.it>

ANEXOS

Anexo 1. Vinilo para pared en taller de transportes, el cual contiene los esquemáticos de cada línea y el gráfico para seguimiento de tiempos perdidos diarios, semanal y mensual.



Anexo 2. Mapas de calor, utilizados para la priorización de los trabajos durante las ventanas de mantenimiento.

