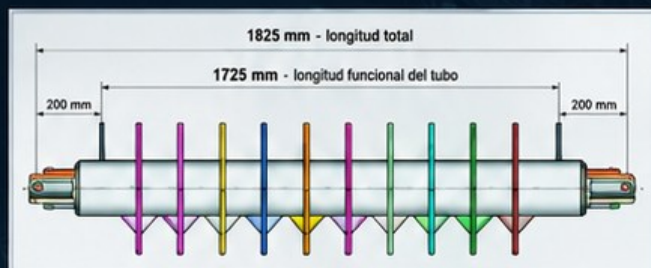


BARAJA REFORZADA PARA CONDUCTOR HORIZONTAL DE BAGAZO

Diseño, construcción, operación y sustento técnico
para protección industrial



Ing. Luis Arce Yépez

Edición técnica • Ecuador 2026

ISBN: 978-9907-851-00-7




Liveworking
EDITORIAL

Créditos

Baraja reforzada para conductor horizontal de bagazo: diseño, construcción, operación y sustento técnico para protección industrial

Autor de la obra: **Mg. Luis Alberto Arce Yépez.**

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7145-9634>

Correo: larcey@unemi.edu.ec

larceyepez@hotmail.com

© Reservados todos los derechos del autor

Dirección y Coordinación Editorial: Sara Díaz Villacís

Revisión de contenido Christian Armendáriz PhD

Revisión pedagógica: Fabrizzio Andrade PhD

© ® Derechos de Copia y Propiedad Intelectual

Maquetación y Diseño de portada: *Sara Díaz V*

Libro bajo revisión técnica y didáctica de pares

Guayaquil - Ecuador

Octubre 2026



Esta obra se encuentra bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Se permite la reproducción y distribución no comercial, siempre y cuando se cite la fuente original y no se realicen obras derivadas. Impreso y distribuido digitalmente. Imágenes y revisión gramatical fueron generadas con ayuda de Inteligencia Artificial ChatGPT.

Descarga:

<https://liveworkingeditorial.com/product/978-9907-851-00-7>

Enlace del DOI:

<https://doi.org/10.63792/CB 978-9907-851-00-7>



Certificado de autenticidad



ISBN: 978-9907-851-00-7



Nota editorial

La obra documenta un desarrollo mecánico aplicado al transporte de bagazo y reúne la evidencia técnica entregada para su análisis, incluyendo el A3-Kaizen, el plano dimensional, fotografías de unidades construidas y registros visuales de componentes y montaje.

Reconocimiento técnico del proyecto de origen. El documento A3-Kaizen identifica como integrantes del grupo a Freddy Llor, Orly Sornoza, Byron Astudillo, Andrés Ulloa y Luis Arce. La planificación original distribuyó responsabilidades de diseño, construcción, capacitación, repuestos y sustitución progresiva entre diferentes miembros. Esta obra reconoce ese antecedente colectivo y se concentra en sistematizar el diseño mecánico de la baraja reforzada, su funcionamiento y la evidencia de fabricación disponible en el archivo técnico del proyecto.

Tabla de contenido

Créditos	2
Nota editorial.....	4
Tabla de contenido	5
Índice de figuras	9
Índice de tablas.....	10
Prólogo	11
Resumen	15
Abstract.....	16
Introducción	17
Capítulo 1. Contexto industrial y fundamentos del transporte de bagazo	22
1.1 Bagazo como material de proceso y combustible	22
1.2 Función del conductor horizontal.....	22
1.3 Problema documentado por el proyecto A3-Kaizen	23
1.4 Mecánica de la falla del diseño original	24
1.5 Disponibilidad, mantenimiento y tiempo de intervención	25
1.6 Criterios que orientaron el rediseño.....	26
1.7 Caracterización del bagazo como carga mecánica	26
1.8 Cargas no uniformes, impactos y sollicitaciones repetitivas.....	28
1.9 Deformación, pérdida de alineación y progresión hacia el descarrilamiento.....	29
1.10 Confiabilidad, mantenibilidad y continuidad productiva	31
1.11 Kaizen y conversión del problema operativo en requerimientos de diseño.....	32
Capítulo 2. Diseño y construcción de la baraja reforzada.....	34
2.1 Configuración geométrica del conjunto	34
2.2 Plano técnico consolidado	35
2.3 Materiales y componentes.....	35
2.4 Cargadoras y sistema de fijación.....	36
2.5 Aletas, nervios y barras de refuerzo	37

2.6 Secuencia de fabricación.....	38
2.7 Evidencia de unidades fabricadas	39
2.8 Fundamento mecánico del rediseño.....	40
2.9 Tolerancias, alineación e intercambiabilidad	41
2.10 Soldadura y continuidad estructural	42
2.11 Trayectoria de carga en aletas, nervios y tubo central	42
2.12 Fijaciones, precarga y control de aflojamiento.....	43
2.13 Protección superficial y ambiente de trabajo	44
2.14 Estandarización e intercambiabilidad de la serie fabricada	45
2.15 Control de calidad de la fabricación.....	45
2.16 Lectura del plano de fabricación y coherencia dimensional.....	47
2.17 Comparación entre el diseño original y el rediseñado	48
2.18 Diseño arquitectónico y representación gráfica de la pieza prototipada	49
2.19 Relación entre arquitectura de la pieza, actividades de servicio y beneficios operativos.....	53
Capítulo 3. Funcionamiento, utilización y mantenimiento	55
3.1 Principio de funcionamiento.....	55
3.2 Integración con cadena, catalinas y artesa.....	55
3.3 Puesta en servicio y régimen normal.....	56
3.4 Inspección y control	56
3.5 Sustitución de una baraja	57
3.6 Herramientas, repuestos y mantenibilidad.....	57
3.7 Seguridad de la fijación	58
3.8 Evidencia de aplicación en campo	58
3.9 Estrategia de mantenimiento preventivo.....	59
3.10 Ruta de inspección por turnos y coordinación entre áreas	60
3.11 Indicadores visuales de degradación	61
3.12 Procedimiento estandarizado de sustitución	62

3.13 Gestión de repuestos, herramientas y tiempo de respuesta.....	63
3.14 Seguridad durante inspección y mantenimiento	64
3.15 Aprendizaje operacional y mejora continua	65
3.16 Trazabilidad fotográfica y registro de condición.....	65
3.17 Mantenimiento centrado en confiabilidad y análisis de riesgo	66
Capítulo 4. Sustento científico, estado de la técnica y protección industrial	67
4.1 Fundamento científico del manejo de biomasa	67
4.2 Diseño mecánico, flexión, uniones y vibración	67
4.3 Patentes comparables	68
4.4 Diferenciación técnica del desarrollo	69
4.5 Aplicación industrial y utilidad.....	69
4.6 Base documental para protección industrial	70
4.7 Conclusiones técnicas	70
4.8 Evidencia científica reciente sobre comportamiento de biomasa	71
4.9 Flujo, degradación de material y condiciones de transporte.....	72
4.10 Fallas y mantenimiento de transportadores en literatura 2022-2025.....	73
4.11 Estado de la técnica en transportadores de flights y scrapers.....	74
4.12 Comparación de antecedentes y diferenciación técnica.....	74
4.13 Novedad técnica como combinación funcional.....	76
4.14 Aplicación industrial y reproducibilidad	77
4.15 Documentación requerida para protección industrial.....	77
4.16 Trazabilidad entre evidencia del proyecto y memoria técnica	78
4.17 Síntesis técnica final.....	78
4.18 Transferencia tecnológica, escalabilidad y valor documental	79
Conclusiones y recomendaciones	81
Propósito y objetivos de la obra.....	81
Criterios de éxito documentados del prototipo.....	81
Conclusiones	81

Recomendaciones técnicas, operativas y de protección industrial.....	82
Proyección del desarrollo	82
Referencias.....	84
Anexos.....	86
Anexo A. Documento A3-Kaizen de origen	86
Anexo B. Plano dimensional suministrado	86
Anexo C. Registro fotográfico de baraja instalada.....	87
Anexo D. Comparación de piezas y detalle constructivo	87
Anexo E. Serie de unidades fabricadas.....	88
Anexo F. Ficha técnica consolidada	89
Anexo G. Matriz de evidencia técnica	89
Colofón	90

Índice de figuras

Figura 1. Principio funcional del conductor horizontal: las barajas transforman el movimiento de la cadena en empuje sobre el bagazo.....	23
Figura 2. Comparación conceptual entre la fijación original a 45° y la reorientación a 0°. El esquema representa el cambio del brazo funcional de momento descrito en el A3-Kaizen.....	25
Figura 3. Contexto del problema en el conductor horizontal de bagazo: condición de servicio, evidencia fotográfica y objetivo técnico del rediseño.....	28
Figura 4. Análisis de causas y tiempo perdido documentado en el proyecto: relación entre persona, máquina, mantenimiento, herramientas y duración de los eventos.	30
Figura 5. Plano dimensional suministrado por el equipo. Se identifican longitud total de 1825 mm, longitud funcional de 1725 mm, altura de 200 mm y lista de materiales.	34
Figura 6. Plano técnico consolidado de la baraja reforzada. Reconstrucción gráfica a partir del plano dimensional y las fotografías del proyecto.	35
Figura 7. Comparación visual de piezas del sistema y del rediseño. El archivo muestra diferencias en aletas, cargadoras y refuerzos.	38
Figura 8. Serie de barajas reforzadas fabricadas y recubiertas. La repetición de geometría muestra la estandarización constructiva alcanzada por el proyecto.....	40
Figura 9. Descripción técnica consolidada de la baraja reforzada: dimensiones principales, cargadoras, nervios de refuerzo y sistema de fijación.....	47
Figura 10. Comparación entre la baraja original y la baraja rediseñada: cambios de fijación, refuerzo y mantenibilidad.	49
Figura 11. Baraja reforzada instalada en el conductor horizontal. Se observa la integración con la cadena y la repetición de aletas a lo largo del conjunto.	55
Figura 12. Seguimiento y aprendizaje operacional: ruta de inspección por turnos y coordinación alrededor del conductor horizontal.	61
Figura 13. Hoja A3-Kaizen de origen del proyecto.	86
Figura 14. Plano dimensional original suministrado por el equipo.	87
Figura 15. Baraja instalada en el conductor horizontal.	87
Figura 16. Comparación visual de unidades y detalles del conjunto.	88
Figura 17. Serie de unidades fabricadas.	89

Índice de tablas

Tabla 1. Criterios técnicos que orientaron el rediseño	26
Tabla 2. Requisitos técnicos derivados del A3-Kaizen	32
Tabla 3. Plan de implementación del cambio de diseño: acciones, responsables y plazos definidos en el proyecto.	33
Tabla 4. Materiales y componentes principales de la baraja reforzada	36
Tabla 5. Secuencia de fabricación y controles principales.....	39
Tabla 6. Plan de control de fabricación de la baraja reforzada	46
Tabla 7. Secuencia estandarizada para sustitución de una baraja	62
Tabla 8. Antecedentes comparables del estado de la técnica	69
Tabla 9. Matriz comparativa de antecedentes de propiedad industrial	75
Tabla 10. Ficha técnica consolidada de la baraja reforzada	89
Tabla 11. Matriz de evidencia técnica del proyecto	89

Prólogo

El transporte de bagazo dentro de un proceso azucarero y energético puede parecer, a primera vista, una actividad auxiliar frente a operaciones de mayor visibilidad como la generación de vapor, la producción de energía o la alimentación de calderas. Sin embargo, la experiencia acumulada en planta demuestra que esa percepción resulta engañosa. Los sistemas de transporte constituyen eslabones decisivos dentro de la continuidad del proceso, porque conectan físicamente las etapas productivas y aseguran que el material llegue en condiciones adecuadas a los equipos que dependen de él. Cuando uno de estos sistemas se detiene, la afectación trasciende al componente que presenta la falla y puede extenderse hacia otras operaciones, comprometiendo disponibilidad, producción, mantenimiento y utilización de recursos humanos. En el caso que sustenta esta obra, el conductor horizontal de bagazo asociado con las calderas 10 y 11 se convirtió precisamente en uno de esos puntos donde una pieza aparentemente sencilla llegó a condicionar la continuidad de un sistema de mayor complejidad.

El problema que dio origen a este desarrollo no surgió de una hipótesis construida únicamente desde el escritorio, sino de una situación concreta observada durante la operación y el mantenimiento. El cambio de barajas deterioradas podía demandar tiempos considerables, herramientas específicas y la participación de personal de otras áreas. A ello se añadía la posibilidad de deformaciones, roturas y alteraciones en la relación geométrica entre los elementos de la cadena, condiciones capaces de evolucionar hacia descarrilamientos y paradas prolongadas. La documentación A3-Kaizen que sirve como antecedente del proyecto registró esa realidad y permitió transformar un conjunto de observaciones operativas en un problema de ingeniería claramente identificable. El tiempo perdido por la sustitución de barajas, la dificultad de acceso a los sistemas de fijación y el riesgo asociado con la pérdida de alineación dejaron de verse como incidentes independientes y comenzaron a analizarse como manifestaciones relacionadas con la geometría, la rigidez, la unión mecánica y la mantenibilidad del componente.

La respuesta adoptada tuvo una característica especialmente valiosa: no buscó aumentar la complejidad del mecanismo sin una razón funcional, sino intervenir directamente los factores que estaban originando las dificultades. El rediseño de las cargadoras, la modificación de su orientación respecto del sistema original, la incorporación de nervios y barras de refuerzo, la revisión de la fijación y el empleo de elementos de seguridad frente al aflojamiento constituyeron decisiones vinculadas con

causas previamente observadas. Esta relación entre problema, análisis y solución otorga al proyecto una coherencia técnica importante. La baraja reforzada no se presenta en este libro como una pieza aislada, sino como el resultado de un proceso de mejora en el que la forma, los materiales y los detalles constructivos fueron vinculados con necesidades reales de servicio. Las fotografías de las unidades construidas y la fabricación repetida de varios ejemplares confirman además que el desarrollo superó la etapa conceptual y alcanzó una condición de reproducibilidad en taller.

La importancia de documentar este proceso radica también en que las soluciones industriales suelen perder parte de su valor cuando permanecen únicamente en la experiencia de quienes participaron en su diseño o fabricación. Una pieza puede funcionar durante años y, sin embargo, quedar insuficientemente documentada respecto de las razones que llevaron a modificar determinada geometría, utilizar un refuerzo concreto o cambiar un sistema de fijación. Este libro pretende evitar esa pérdida de conocimiento. Por ello, no se limita a mostrar fotografías del resultado terminado, sino que reconstruye la lógica de ingeniería que sostiene el prototipo: el comportamiento del bagazo como material fibroso, la transmisión de fuerzas durante el arrastre, el efecto del brazo de momento en las uniones, la necesidad de controlar la deformación de las aletas, la importancia de la alineación con cadenas y catalinas, y la conveniencia de diseñar la pieza considerando desde el inicio su inspección, sustitución y mantenimiento.

Otro de los objetivos de la obra consiste en establecer una relación entre la experiencia práctica y los fundamentos técnicos disponibles en la literatura especializada. Las soluciones desarrolladas en planta adquieren mayor capacidad de transferencia cuando pueden explicarse mediante principios reconocidos de diseño mecánico, manejo de materiales, transporte continuo, confiabilidad y mantenimiento. Por esta razón, los capítulos que siguen vinculan el rediseño con conceptos de flexión, momento, rigidez estructural, uniones atornilladas, soldadura, vibración, flujo de biomasa y mantenimiento de transportadores. Esta aproximación permite comprender que la eficiencia del componente no depende solamente de la resistencia del acero empleado, sino de la manera en que las cargas recorren la estructura, de la geometría de los elementos que transmiten el esfuerzo, de la calidad de las uniones y de la capacidad del conjunto para conservar sus dimensiones durante ciclos repetitivos de trabajo.

La obra presta también una atención particular a la mantenibilidad. En los sistemas industriales, un componente resistente no siempre es un componente adecuado si su sustitución obliga a detener el equipo durante periodos prolongados o requiere recursos difíciles de movilizar. El proyecto que se documenta incorporó esta realidad dentro del rediseño. La posibilidad de utilizar herramientas de respuesta rápida, la disponibilidad de repuestos próximos al área de trabajo, la capacitación del personal directamente vinculado con la operación y la incorporación de sistemas de seguridad en las fijaciones forman parte de una misma lógica. El éxito de una solución mecánica no puede evaluarse únicamente por su capacidad para soportar una carga; también debe considerarse el tiempo requerido para inspeccionarla, intervenirla, reemplazarla y devolver el sistema a condiciones normales de operación.

Este libro busca, además, convertir la experiencia acumulada en una base técnica suficientemente estructurada para sustentar el valor del prototipo desde la perspectiva de la innovación industrial. La existencia de unidades fabricadas, un plano dimensional, una configuración constructiva definida, una función determinada y un problema industrial claramente delimitado proporcionan elementos relevantes para analizar su posible protección mediante mecanismos de propiedad industrial. Por ello, la obra incorpora también una revisión de patentes y desarrollos comparables relacionados con transportadores de arrastre, flights, scrapers, refuerzos estructurales y sistemas de fijación. El propósito de esa revisión no es afirmar de manera automática que toda característica del diseño sea novedosa, sino identificar el espacio técnico en el que se encuentra la solución, diferenciar los antecedentes conocidos y establecer con mayor precisión cuáles son los elementos que podrían fundamentar una estrategia de protección.

La documentación de una invención o mejora industrial exige precisamente esta combinación entre evidencia física, explicación técnica y contextualización frente al conocimiento existente. Una fotografía demuestra que el objeto fue construido; un plano permite conocer sus dimensiones; una descripción explica cómo funciona; pero es la relación entre todos esos elementos la que transforma una pieza de taller en un desarrollo técnicamente defendible. En este sentido, el libro funciona como memoria ampliada del proceso de diseño. Reúne en una misma estructura el problema original, las condiciones de operación, los criterios de rediseño, la configuración geométrica, los materiales, el proceso de fabricación, la utilización dentro del conductor, las tareas de

mantenimiento, la evidencia fotográfica y el análisis comparativo con antecedentes técnicos.

También es importante reconocer que el conocimiento industrial rara vez es el producto de una sola acción aislada. La solución aquí presentada se encuentra vinculada con un proceso de mejora en el que participaron diferentes personas y responsabilidades, desde la identificación del problema hasta la construcción, sustitución progresiva, capacitación y seguimiento operacional. La sistematización desarrollada en estas páginas procura preservar esa dimensión colectiva del proyecto y, al mismo tiempo, ordenar técnicamente el componente que constituye el centro del libro. Esta distinción resulta especialmente importante cuando posteriormente se analiza la titularidad, la autoría técnica o la condición de inventor dentro de un procedimiento de propiedad industrial, porque esas determinaciones deben sustentarse en las contribuciones reales que dieron forma a las características protegibles de la solución.

La intención final de esta obra no es presentar una baraja reforzada como un mecanismo innecesariamente sofisticado, sino demostrar que una mejora aparentemente sencilla puede adquirir relevancia cuando responde de manera directa a un problema productivo, modifica favorablemente la forma en que se transmiten las cargas y facilita las actividades de operación y mantenimiento. La ingeniería industrial se construye con frecuencia a partir de este tipo de desarrollos: modificaciones precisas, nacidas de la observación, verificadas en taller y aplicadas en condiciones reales. Su valor reside tanto en el resultado obtenido como en la posibilidad de comprender por qué funcionó, reproducirlo con criterios controlados y utilizar esa experiencia como punto de partida para futuros desarrollos.

Los capítulos siguientes recorren esa secuencia. Primero se analiza el contexto industrial y el comportamiento del sistema original; después se estudia la geometría y construcción de la baraja reforzada; posteriormente se explica su utilización, funcionamiento y mantenimiento; y finalmente se vincula el prototipo con la literatura científica, el estado de la técnica y las alternativas de protección industrial. De este modo, el libro no se limita a describir una pieza terminada. Procura dejar una base organizada de conocimiento técnico que permita comprender su origen, sustentar su utilidad, orientar su reproducción, facilitar su mantenimiento y respaldar las decisiones futuras relacionadas con la consolidación y protección del desarrollo.

Resumen

La obra describe el desarrollo de una baraja reforzada para conductor horizontal de bagazo utilizada en el sistema asociado con las calderas 10 y 11. El antecedente A3-Kaizen documentó pérdidas de producción de energía y vapor relacionadas con el tiempo requerido para sustituir barajas deterioradas y con eventos de descarrilamiento. El diseño previo utilizaba cargadoras con perforaciones de fijación a 45° y una distancia aproximada de 10 cm desde la base, condición asociada con un incremento del brazo de momento y con esfuerzos que favorecían pandeo, roturas y alteraciones en la distancia entre eslabones. El rediseño corrigió la orientación de las cargadoras a 0°, incorporó nervios y barras de refuerzo, modificó el sistema de fijación para facilitar la intervención con herramienta eléctrica y empleó tuercas de seguridad para controlar el aflojamiento por vibración. El libro documenta el plano dimensional del conjunto, los materiales, la fabricación seriada observada en las fotografías, el principio de funcionamiento, el mantenimiento y el estado de la técnica. El análisis se apoya en fuentes especializadas sobre ingeniería de azúcar de caña, transporte mecánico de sólidos, diseño de máquinas y manejo de biomasa, además de patentes relacionadas con flight conveyors y sistemas de fijación.

Palabras clave: bagazo de caña; conductor horizontal; baraja reforzada; transporte de biomasa; diseño mecánico; mantenimiento industrial; propiedad industrial.

Abstract

This book documents the design, fabrication, operation, and technical basis of a reinforced drag element developed for a horizontal sugarcane bagasse conveyor associated with boilers 10 and 11. The original A3-Kaizen record identified production losses of steam and energy linked to delayed replacement of damaged elements and to derailment events. The previous configuration used loader attachments fixed at 45° and located approximately 10 cm from their base, a condition associated with an unfavorable moment arm, local deformation, breakage, and changes in chain-link spacing. The redesigned component reoriented the attachments to a nominal 0°, incorporated ribs and reinforcing bars against the direction of load, modified the fastening system to allow faster intervention with electric tools, and adopted safety nuts to control loosening under vibration. The work integrates the dimensional drawing, material specification, serial fabrication evidence, field photographs, operating principle, inspection route, maintenance procedure, and the scientific and patent literature relevant to biomass handling, mechanical design, conveyor reliability, and industrial property. Beyond describing a single component, the book establishes a coherent technical record connecting the original problem, the engineering requirements, the manufactured solution, its operational use, and the documentation required to support industrial-property protection and future technological transfer.

Keywords: sugarcane bagasse; horizontal conveyor; reinforced flight; biomass handling; mechanical design; industrial maintenance; industrial property.

Introducción

La innovación industrial no siempre comienza en un laboratorio ni surge de desarrollos tecnológicos complejos. Con frecuencia aparece en el lugar donde los problemas se vuelven inevitables: la operación diaria de una planta, la repetición de una falla, la pérdida de tiempo, el desgaste prematuro de un componente o la necesidad de mantener activo un proceso que no puede detenerse sin afectar toda una cadena productiva. En esos escenarios, la ingeniería adquiere su sentido más práctico. Observar, diagnosticar, rediseñar, fabricar, probar, corregir y estandarizar dejan de ser acciones aisladas y se convierten en una secuencia de conocimiento aplicado. La baraja reforzada para conductor horizontal de bagazo que se estudia en esta obra nace precisamente de esa lógica.

El punto de partida fue una dificultad operacional concreta en el conductor horizontal de bagazo asociado con las calderas 10 y 11. La documentación técnica del proyecto identificó pérdidas de producción de energía y vapor vinculadas con la demora en el cambio de barajas, deformaciones del componente y eventos capaces de evolucionar hasta el descarrilamiento del sistema. El diseño original incorporaba cargadoras con perforaciones a 45° y una distancia aproximada de 10 cm desde la base, condición que el equipo relacionó con un aumento del esfuerzo de torque. A esta situación se sumaba la acción de la fuerza de arrastre del bagazo sobre la zona central de la baraja, capaz de producir pandeo, roturas y alteraciones en la distancia entre eslabones. El problema, por tanto, no podía explicarse únicamente como desgaste de una pieza: involucraba geometría, rigidez, fijación, interacción con la cadena, disponibilidad de herramientas y tiempo de mantenimiento.

La respuesta técnica consistió en intervenir esos factores de manera articulada. El rediseño modificó la orientación de las cargadoras a 0°, incorporó nervios y barras de refuerzo contra el flujo de carga, revisó el sistema de fijación para facilitar el uso de herramientas eléctricas y añadió elementos de seguridad destinados a limitar el aflojamiento producido por vibraciones y movimientos repetitivos. Estas decisiones no fueron planteadas como recursos independientes, sino como una arquitectura de mejora. Cada cambio respondió a una causa previamente identificada y, en conjunto, buscó aumentar la estabilidad geométrica de la baraja, mejorar la transmisión de esfuerzos y reducir el tiempo necesario para sustituir el componente cuando fuera requerido.

La relevancia del proyecto aumenta porque la solución no permaneció en el plano conceptual. El archivo técnico disponible documenta un plano dimensional, materiales definidos, varias unidades construidas y fotografías que muestran el componente instalado y fabricado en serie. Esta evidencia permite estudiar el desarrollo desde una perspectiva mucho más completa que la de un simple esquema. La pieza existe, fue construida, presenta una configuración repetible y se encuentra vinculada con una necesidad industrial documentada. Esa condición convierte al proyecto en un caso particularmente valioso para analizar la relación entre mejora continua, diseño mecánico, mantenibilidad y propiedad industrial.

Este libro se propone sistematizar ese conocimiento. No pretende transformar una solución sencilla en un mecanismo artificialmente complejo, sino explicar con rigor por qué su configuración importa. La ingeniería de una baraja de arrastre no se limita a describir un tubo, unas platinas y un conjunto de soldaduras. Su desempeño depende de cómo se distribuyen las fuerzas, de la manera en que las aletas reciben la resistencia del bagazo, de la rigidez aportada por los nervios, de la geometría de los extremos de fijación, de la alineación con cadena y catalinas, y de la capacidad del conjunto para conservar su forma después de numerosos ciclos de operación. Cada uno de esos aspectos adquiere sentido cuando se interpreta dentro del sistema completo.

El material transportado también forma parte de esa explicación. El bagazo es un residuo fibroso de baja densidad aparente, comportamiento irregular y tendencia a compactarse o acumularse de manera no uniforme. Estas características hacen que las fuerzas aplicadas sobre los elementos de arrastre no sean perfectamente constantes. Una baraja puede recibir una carga mayor que la siguiente, enfrentar acumulaciones localizadas o trabajar con niveles variables de humedad y fricción. Esta condición exige que el diseño tenga suficiente rigidez para soportar variaciones de servicio sin perder alineación ni transmitir esfuerzos indeseados hacia la cadena. Por ello, el análisis del prototipo se vincula con literatura sobre transporte de biomasa, manejo de sólidos, flexión, uniones, vibración y confiabilidad.

Una segunda dimensión central de la obra es la mantenibilidad. Una solución industrial no puede evaluarse únicamente por su resistencia mecánica. También debe considerarse la rapidez con que puede ser inspeccionada, desmontada, sustituida y puesta nuevamente en servicio. El proyecto original ya reconocía esta necesidad al plantear herramientas próximas al transportador, capacitación del personal, disponibilidad de repuestos y una fijación compatible con equipos eléctricos de

respuesta rápida. El rediseño de la baraja se convierte así en parte de una estrategia más amplia de disponibilidad operacional. La pieza mejora, pero también mejora la forma de intervenirla.

La organización del libro responde a esa visión integral. El primer capítulo estudia el contexto industrial, el comportamiento del bagazo y las causas que dieron origen al rediseño. El segundo desarrolla la arquitectura de la pieza, sus dimensiones, materiales, elementos de refuerzo, sistema de fijación y proceso de fabricación. El tercer capítulo explica el funcionamiento, la utilización, la inspección, el mantenimiento y la sustitución de la baraja dentro del conductor. El cuarto capítulo contrasta la solución con literatura técnica y antecedentes de propiedad industrial, con el propósito de delimitar su campo de aplicación y sustentar su posible protección.

El tratamiento del diseño arquitectónico y gráfico ocupa un lugar especial dentro de esta obra. El plano dimensional, la vista lateral, la configuración de las cargadoras, la distribución de aletas, la posición de refuerzos y los detalles de fijación no se incluyen como elementos decorativos. Constituyen parte del argumento técnico del prototipo. La representación gráfica permite comprender cómo se integra cada componente, cómo se forma la trayectoria resistente y cómo se distribuye la geometría a lo largo del conjunto. Cuando un diseño puede explicarse con claridad mediante planos, medidas, fotografías y funciones, aumenta su capacidad de ser reproducido, evaluado y defendido técnicamente.

A esta dimensión se suma la comparación con antecedentes tecnológicos. Las patentes relacionadas con flights, scrapers, transportadores de cadena, refuerzos estructurales y sistemas de fijación muestran que problemas como la transmisión de momento, la rigidez del elemento de arrastre y la rapidez de sustitución han sido abordados anteriormente en otros sectores. Sin embargo, el interés de este proyecto reside en la configuración concreta que adopta dentro del conductor horizontal de bagazo, en las dimensiones y materiales utilizados, en la combinación de cargadoras reorientadas, refuerzos contra el flujo y fijaciones adaptadas al mantenimiento, y en la evidencia de construcción seriada disponible.

La obra tiene, por tanto, un doble propósito. Desde el punto de vista técnico, busca conservar y organizar el conocimiento generado durante el desarrollo del prototipo. Desde la perspectiva de propiedad industrial, pretende proporcionar una base documental coherente para describir el objeto, su funcionamiento, sus ventajas, sus elementos constructivos y su aplicación. Esta segunda función resulta especialmente

relevante porque la protección de una solución tecnológica requiere mucho más que una fotografía de la pieza terminada. Exige una explicación suficientemente clara de sus componentes, relaciones, utilidad y diferencias frente al estado de la técnica.

También se reconoce que el proyecto tiene un origen colectivo. La documentación A3-Kaizen identifica diferentes participantes en actividades de diseño, construcción, capacitación, implementación, suministro de repuestos y seguimiento. La sistematización presentada en este libro no pretende borrar ese antecedente, sino ordenarlo. La trazabilidad de las contribuciones constituye una parte esencial cuando posteriormente se analizan inventores, titulares o derechos vinculados con una posible solicitud de patente o modelo de utilidad. Preservar la historia técnica del desarrollo fortalece, y no debilita, su legitimidad.

El lector encontrará, por ello, una obra construida desde la evidencia. Los argumentos técnicos se apoyan en planos, fotografías, registros de fabricación, literatura especializada y patentes comparables. Allí donde existe un dato documentado, se presenta como tal. Donde corresponde explicar un principio de ingeniería, se recurre a fundamentos de diseño mecánico y transporte de materiales. Esta combinación permite evitar dos extremos igualmente poco útiles: describir el prototipo como una simple pieza de taller sin contexto o, en sentido contrario, atribuirle características que no pueden demostrarse.

La baraja reforzada adquiere su importancia precisamente por su capacidad de resolver una necesidad concreta con una solución fabricable, mantenible y repetible. Su valor no reside en incorporar tecnología innecesariamente sofisticada, sino en reorganizar de forma funcional la geometría de una pieza sometida a condiciones exigentes. El cambio de orientación de las cargadoras, el refuerzo de las aletas, la modificación de las uniones y la estandarización de la fabricación responden a una pregunta esencial de la ingeniería: cómo conservar la función de un componente crítico reduciendo al mismo tiempo la probabilidad y el impacto de su falla.

En consecuencia, este libro puede leerse como la historia técnica de una mejora industrial, pero también como una guía para comprender cómo una intervención nacida de la operación puede transformarse en conocimiento estructurado. El proyecto demuestra que la innovación puede surgir de observar cuidadosamente una falla recurrente, identificar sus causas, intervenir las variables relevantes y documentar con suficiente precisión la solución alcanzada. Esa secuencia constituye el hilo conductor

de las páginas siguientes y el fundamento sobre el cual se sostiene el prototipo que aquí se presenta.

Capítulo 1. Contexto industrial y fundamentos del transporte de bagazo

1.1 Bagazo como material de proceso y combustible

El bagazo es el residuo fibroso que permanece después de la extracción del jugo de la caña y, dentro de los ingenios, no se maneja como un desecho indiferenciado. Su contenido de fibra, humedad, forma irregular y tendencia a entrelazarse condicionan la forma en que se almacena, alimenta y transporta. Hugot (1986) dedica un apartado específico al transporte de bagazo dentro de la ingeniería de azúcar de caña porque la continuidad del suministro hacia los equipos térmicos forma parte del equilibrio global del proceso. La literatura moderna sobre biomasa coincide en que los materiales lignocelulósicos no se comportan como gránulos regulares: pueden compactarse, formar puentes, presentar cohesión aparente y generar cargas locales difíciles de predecir si se asume un flujo ideal (Cheng et al., 2021; Lu et al., 2021). Esa condición explica por qué los componentes de arrastre deben analizarse desde el contacto real con el material y no solo desde la potencia nominal del accionamiento.

El problema se vuelve más sensible cuando el bagazo alimenta calderas. La interrupción del transporte no permanece confinada al equipo que falla, sino que altera la disponibilidad de combustible y la continuidad de unidades que dependen de ese flujo. El documento A3-Kaizen entregado por el equipo describe precisamente esta relación: una parada del conductor horizontal afecta procesos adjuntos aunque continúen operando y provoca disminución de producción. Por eso la baraja, aunque físicamente sea una pieza relativamente simple, cumple una función crítica. Su geometría convierte el movimiento de la cadena en empuje sobre un material fibroso, y cualquier deformación que modifique el paso, la alineación o la posición de las cargadoras puede propagarse hacia catalinas, cadenas y puntos de guía.

1.2 Función del conductor horizontal

Los transportadores mecánicos de sólidos se seleccionan según las propiedades del material, el caudal requerido, la trayectoria y las condiciones de mantenimiento. Fayed y Skocir (1997) distinguen los conveyors de arrastre y cadena por su capacidad para movilizar materiales mediante elementos repetitivos unidos a un elemento de tracción. McGlinchey (2008) subraya que, en el manejo de sólidos a granel, la selección correcta del equipo depende tanto del material como de la geometría del sistema. En el caso estudiado, el conductor horizontal utiliza barajas distribuidas a lo largo de la

cadena. Cada baraja intercepta una fracción del bagazo y la desplaza en la dirección del movimiento. Esa acción parece uniforme en un dibujo, pero en servicio las cargas pueden concentrarse en el centro o variar con acumulaciones, humedad, densidad aparente y perturbaciones del flujo.

La función de la baraja debe entenderse, por tanto, como una interacción entre estructura y material. No se trata solo de “empujar” bagazo. La pieza necesita conservar su forma para mantener el paso entre elementos, respetar las holguras del conductor y transmitir las fuerzas sin inducir esfuerzos excesivos en las zonas de unión. La patente de Edmondson (1992), aunque pertenece a otro sector, es útil como antecedente porque describe cómo la fuerza aplicada sobre un flight genera un momento proporcional a la distancia entre la base del elemento de fijación y el punto de contacto. Ese principio coincide con el razonamiento utilizado por el proyecto A3-Kaizen para explicar por qué la geometría original de la cargadora incrementaba el torque sobre la unión.

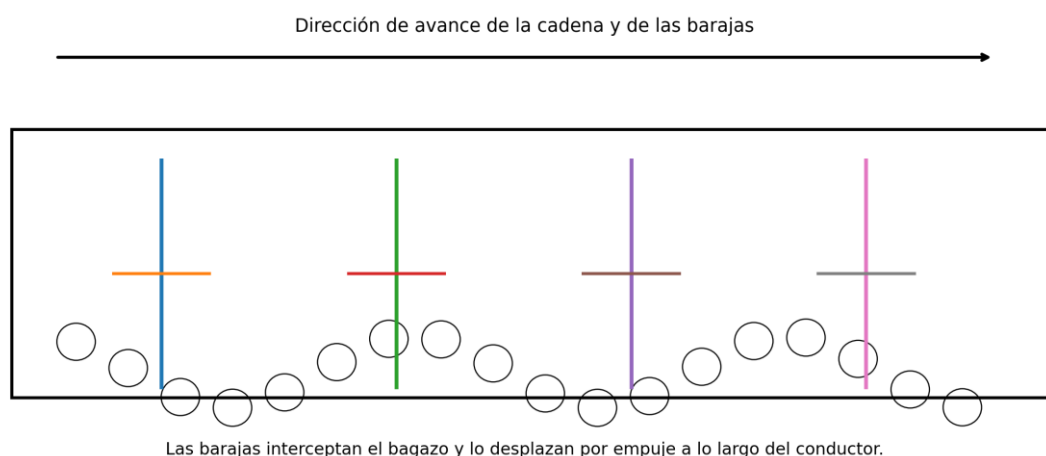


Figura 1. Principio funcional del conductor horizontal: las barajas transforman el movimiento de la cadena en empuje sobre el bagazo.

Elaboración propia con base en el sistema documentado.

1.3 Problema documentado por el proyecto A3-Kaizen

El A3-Kaizen identifica como problema principal la pérdida de producción de energía y vapor por la demora asociada con el cambio de barajas del conductor horizontal de bagazo de las calderas 10 y 11. La hoja técnica registra dos referencias temporales relevantes para dimensionar la criticidad del problema: un descarrilamiento podía alcanzar un tiempo máximo estimado de 17 horas, mientras que el cambio de una baraja se estimaba hasta en 2 horas. Esos valores no describen todos los eventos

posibles, pero sí muestran que una falla localizada podía generar una interrupción de duración suficiente para afectar la operación del sistema térmico. El objetivo del proyecto fue reducir a la mitad el tiempo perdido por cambios de baraja, lo que orientó el rediseño tanto hacia la resistencia mecánica como hacia la mantenibilidad.

La situación inicial incluía además restricciones prácticas. El cambio emergente requería personal calificado de construcciones, disponibilidad de herramientas y coordinación con otros equipos. La solución no podía limitarse a aumentar el espesor de una pieza. Era necesario reducir la probabilidad de deformación, facilitar el acceso a la fijación, disponer de repuestos y entrenar al personal directamente involucrado con calderas. Esta combinación entre diseño y mantenibilidad aparece con frecuencia en la ingeniería de transportadores. CEMA (2020) incorpora la operación, el mantenimiento y la seguridad como parte del desempeño del sistema, mientras que Fayed y Skocir (1997) señalan que la selección y operación de transportadores mecánicos deben considerar accesibilidad, inspección y sustitución de componentes.

1.4 Mecánica de la falla del diseño original

El diseño original utilizaba cargadoras de hierro fundido con agujeros de fijación dispuestos a 45° y una distancia de aproximadamente 10 cm desde la base. El A3 relacionó esa configuración con un aumento del esfuerzo de torque mediante la expresión $T = F \cdot D$. En términos de diseño mecánico, el razonamiento es consistente con el concepto de momento: cuando una fuerza actúa a una distancia respecto de una sección resistente, el producto de fuerza y brazo define la magnitud del momento aplicado. Budynas y Nisbett (2020) explican que la distribución de esfuerzos en piezas sometidas a flexión depende de la geometría, el momento actuante y las propiedades de la sección. Si, además, el punto de fijación obliga a que la carga se transmita a través de un brazo desfavorable, la unión puede convertirse en una región crítica.

La hoja A3 agrega un segundo elemento: la fuerza de arrastre del bagazo en la zona central de la baraja producía pandeo, roturas o alteraciones en la distancia entre eslabones. Esa modificación geométrica podía terminar en descarrilamiento entre las catalinas. La secuencia mecánica es relevante porque conecta una deformación local con una falla de sistema. Una baraja que pierde su geometría no solo reduce su capacidad de arrastre; también puede alterar la relación espacial entre cadena, eslabones y catalinas. La prevención del fallo exige entonces intervenir la trayectoria de carga y la rigidez del componente, no únicamente la resistencia nominal del material.

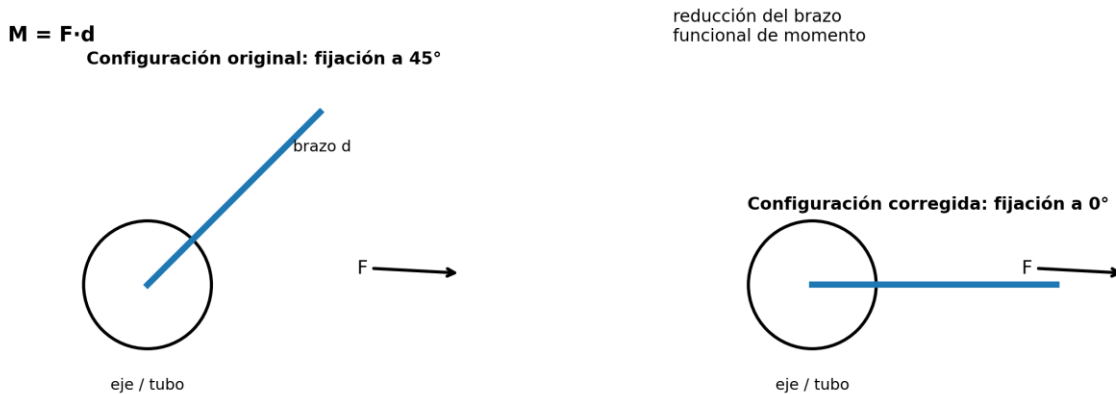
Comparación conceptual del brazo de momento en la zona de fijación

Figura 2. Comparación conceptual entre la fijación original a 45° y la reorientación a 0°. El esquema representa el cambio del brazo funcional de momento descrito en el A3-Kaizen.

1.5 Disponibilidad, mantenimiento y tiempo de intervención

La disponibilidad de un sistema productivo no depende únicamente de la frecuencia con que ocurren las fallas. También depende de la rapidez con que una unidad puede recuperarse, de la existencia de repuestos y del acceso a personal y herramientas. En el proyecto analizado, el tiempo de cambio estaba condicionado por la necesidad de personal de construcciones y por la disponibilidad de herramientas compatibles con el sistema de fijación. Por eso las contramedidas incluyeron una caja de herramientas en el área del transportador, entrenamiento al personal de caldera y modificación de la fijación para utilizar equipos eléctricos de rápida respuesta. La mejora mecánica se vinculó, desde el inicio, con una lógica de mantenibilidad.

Este enfoque evita un error frecuente: diseñar una pieza únicamente para resistir y dejar el mantenimiento como asunto posterior. En sistemas de transporte continuo, los componentes sujetos a desgaste deben poder inspeccionarse y sustituirse sin que la intervención se convierta en una operación extraordinaria. El trabajo de CEMA (2020) sobre operación y mantenimiento de transportadores insiste en la necesidad de accesibilidad, protección, procedimientos y resolución de fallas. Aunque su guía se concentra en bandas transportadoras, los principios de mantenimiento son transferibles: una solución robusta es aquella que, además de cumplir su función mecánica, puede mantenerse con seguridad y con tiempos previsibles.

1.6 Criterios que orientaron el rediseño

Las decisiones del proyecto pueden sintetizarse en cuatro criterios. El primero fue geométrico: cambiar el diseño de las cargadoras a un ángulo de 0° respecto de la referencia de fijación. El segundo fue estructural: añadir nervios de refuerzo contra el flujo de carga para disminuir la deformación de las aletas y mejorar la transmisión de esfuerzos hacia el tubo central. El tercero fue de mantenimiento: cambiar el sistema de fijación para que pudiera intervenir con herramienta eléctrica de rápida respuesta. El cuarto fue de seguridad de unión: incorporar tuercas de seguridad para evitar soltura por vibraciones y movimientos repetitivos. Estos criterios no aparecen aislados; forman una estrategia coherente para reducir tanto la probabilidad de daño como la duración de una intervención.

Tabla 1. Criterios técnicos que orientaron el rediseño

Criterio	Problema asociado	Respuesta incorporada
Geometría de fijación	Momento desfavorable en cargadoras con perforaciones a 45°	Reorientación del diseño de cargadoras a 0° .
Rigidez	Pandeo y rotura bajo fuerza de arrastre del bagazo	Nervio y barras de refuerzo contra el flujo de carga.
Mantenibilidad	Demora por herramientas y personal especializado	Sistema de fijación accesible para herramienta eléctrica y repuestos en sitio.
Seguridad de unión	Aflojamiento por vibración y trabajo repetitivo	Tuercas de seguridad y control periódico de fijaciones.

1.7 Caracterización del bagazo como carga mecánica

El bagazo que circula por un conductor horizontal no debe tratarse como una carga ideal de densidad constante. La evidencia científica reciente sobre materias primas lignocelulósicas muestra que la fluidez cambia con el tamaño y la forma de las partículas, la humedad, el grado de consolidación, el tiempo de reposo y la geometría del equipo que las contiene o transporta. Cheng et al. (2021) sintetizan esta relación y muestran que las propiedades del material y las condiciones del sistema de manejo actúan de manera conjunta. Para el diseño de una baraja, esta conclusión tiene una consecuencia práctica: el esfuerzo que recibe cada aleta puede variar durante una misma jornada, incluso cuando la velocidad de la cadena permanezca estable.

La compresibilidad añade otra fuente de variación. Lu et al. (2021) demostraron que los materiales biomásicos pueden modificar su estado tensional y su respuesta al corte conforme cambia el confinamiento. En 2024, Lu et al. ampliaron este análisis al estudiar la dependencia de la velocidad de corte en materiales granulares de biomasa y mostraron que el régimen de flujo modifica los patrones de movimiento. Aunque el bagazo de caña posee una morfología particular, estas investigaciones permiten

comprender por qué una acumulación local puede generar una reacción notablemente mayor que la observada durante un flujo uniforme. El rediseño de la baraja debía, por tanto, conservar suficiente rigidez frente a cargas variables y no únicamente frente a una condición media.

La geometría alargada y fibrosa también favorece entrelazamiento, formación de zonas compactadas y cambios de densidad aparente. Dikici et al. (2024) documentaron que materiales biomásicos molidos y cortados presentan respuestas de flujo diferentes según forma y preparación. Esta variabilidad ayuda a explicar por qué el componente de arrastre necesita una superficie resistente, pero también una estructura capaz de transmitir la carga hacia el tubo central sin que la aleta trabaje como una placa aislada. En la solución desarrollada, los nervios y las barras triangulan la unión y acortan la longitud libre efectiva de la aleta.

Desde el punto de vista operacional, la característica más importante no es la homogeneidad del bagazo, sino precisamente su ausencia. El sistema debe tolerar que una baraja reciba mayor carga que la siguiente, que una parte del material se acumule sobre un sector de la artesa o que el contenido de humedad modifique la fricción. Por ello, la ingeniería del componente se apoya en una combinación de rigidez, fijación, repetibilidad dimensional e inspección. Esta lectura evita atribuir la mejora a una sola pieza añadida y permite entender el rediseño como una respuesta integrada a la naturaleza real del material transportado.

Figura 3. Contexto del problema en el conductor horizontal de bagazo: condición de servicio, evidencia fotográfica y objetivo técnico del rediseño.



1.8 Cargas no uniformes, impactos y solicitaciones repetitivas

Una baraja que se desplaza de forma continua está sometida a una combinación de acciones estáticas y repetitivas. La resistencia del bagazo genera una fuerza opuesta al movimiento; si el material se acumula en el centro o sobre un extremo, la distribución se vuelve asimétrica. El momento resultante depende de la magnitud de la fuerza y de la distancia respecto de la sección que resiste la carga. La expresión $T = F \cdot D$ incluida en el A3-Kaizen resume esa lógica. En diseño mecánico, la misma relación se analiza mediante diagramas de carga, momento y deflexión, y permite identificar por qué una geometría desfavorable en el punto de fijación puede amplificar la solicitación local.

La solicitación no ocurre una sola vez. Cada paso por la zona cargada repite el ciclo de esfuerzo y descarga, al que se añaden vibraciones propias de cadenas, catalinas, cambios de velocidad y contacto irregular con el material. En componentes soldados, los cambios geométricos y los extremos de cordón pueden actuar como concentradores de esfuerzo si la fabricación no mantiene continuidad. En las uniones desmontables, el movimiento repetitivo puede reducir la precarga y favorecer holguras. La decisión de incorporar tuercas de seguridad y reforzar la zona de cargadora debe interpretarse dentro de ese régimen cíclico y no como una respuesta a una fuerza aislada.

Las investigaciones de falla en transportadores muestran que la progresión del daño suele combinar geometría, material, carga y mantenimiento. Shahin et al. (2022) analizaron la rotura prematura de un eslabón de cadena y evidenciaron la necesidad de considerar condiciones de servicio, metalurgia y concentraciones de esfuerzo de manera conjunta. El presente proyecto tiene otro componente y otro contexto, pero comparte una enseñanza: una falla local en el tren de arrastre puede detener un sistema completo. Por eso el rediseño de la baraja busca mantener la forma y limitar la transmisión de solicitudes indeseadas hacia cadena y catalinas.

El comportamiento dinámico también justifica la observación de ruido, vibración y alineación durante las inspecciones. Una modificación de la geometría puede comenzar como una flecha pequeña y, después de numerosos ciclos, traducirse en roce, mayor resistencia y carga adicional. El control temprano permite intervenir antes de que la deformación alcance el nivel asociado con descarrilamiento. En esta lógica, el diseño reforzado y la ruta de inspección se complementan: uno disminuye la susceptibilidad del componente y la otra aumenta la probabilidad de detectar una desviación antes de que se convierta en pérdida de producción.

1.9 Deformación, pérdida de alineación y progresión hacia el descarrilamiento

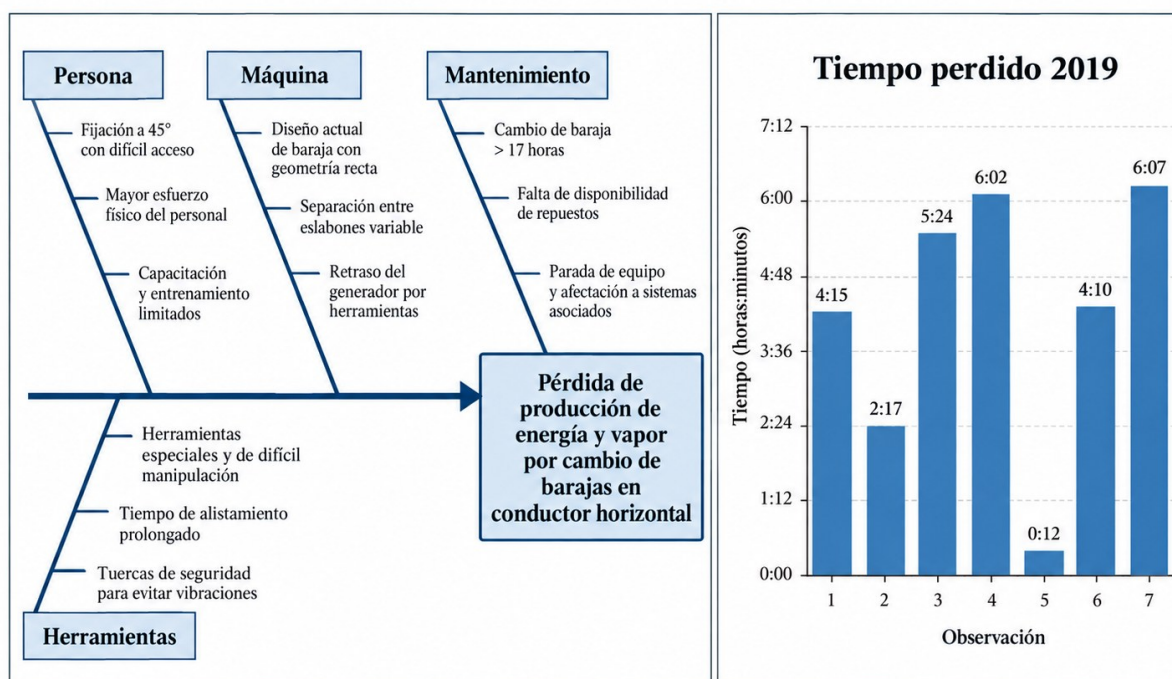
El A3-Kaizen conecta de forma explícita el pandeo de la baraja con la alteración de la distancia entre eslabones y el descarrilamiento. Esa secuencia puede explicarse como una cadena de consecuencias geométricas. Cuando la baraja se flexiona, los puntos de unión dejan de conservar la relación espacial prevista. La cadena recibe entonces una condición de trabajo diferente: puede aparecer una carga lateral, un cambio de paso aparente o una desviación que afecta el engrane con la catalina. El problema deja de ser exclusivo de la pieza deformada y se convierte en un problema de compatibilidad cinemática del conjunto.

La importancia de conservar la alineación aumenta en mecanismos repetitivos. Una cadena funciona correctamente cuando eslabones, ruedas y elementos transversales mantienen posiciones compatibles. El desgaste normal puede tolerarse dentro de ciertos límites, pero una deformación súbita altera esa relación. De ahí que las dimensiones del plano, especialmente la longitud total, la ubicación de los extremos y la repetición de aletas, no sean simples datos de fabricación. Son referencias que contribuyen a conservar la geometría funcional del conductor. La estandarización de la pieza de repuesto facilita que la sustitución recupere esa condición sin ajustes improvisados.

El refuerzo triangular visible en las fotografías reduce la tendencia de la aleta a trabajar como voladizo. La fuerza de arrastre se reparte entre la placa, la barra de refuerzo y el tubo central. Este principio no elimina las cargas, pero cambia la trayectoria mediante la cual llegan al cuerpo longitudinal. El resultado esperado es una menor libertad de deformación y una mayor estabilidad de la posición relativa entre aletas y extremos. En la práctica, la eficacia depende de la calidad del cordón de soldadura, de la continuidad del apoyo y de la repetibilidad de las once posiciones indicadas en el plano.

La progresión de falla justifica que la verificación del componente no se limite a buscar piezas rotas. Una baraja puede continuar operando y, sin embargo, mostrar señales previas: una aleta inclinada, una soldadura con inicio de fisura, un agujero ovalizado o una diferencia de posición respecto de la unidad vecina. Estas observaciones deben considerarse criterios de intervención porque preceden a la pérdida completa de funcionalidad. El valor del rediseño se aprecia mejor cuando se integra con este enfoque preventivo, donde la geometría reforzada y el seguimiento periódico actúan sobre etapas distintas del mismo mecanismo de falla.

Figura 4. Análisis de causas y tiempo perdido documentado en el proyecto: relación entre persona, máquina, mantenimiento, herramientas y duración de los eventos.



El análisis permitió focalizar el rediseño en geometría, fijación y mantenibilidad.

1.10 Confiabilidad, mantenibilidad y continuidad productiva

La confiabilidad de un transportador no se expresa únicamente por el tiempo entre fallas. También depende de la facilidad con que el sistema puede ser inspeccionado, intervenido y devuelto al servicio. Naidoo et al. (2022) demostraron, en un caso de transporte de materiales a granel, que las fallas de conveyor pueden traducirse directamente en pérdidas de capacidad y que la estrategia de mantenimiento debe construirse a partir de datos reales de falla y de la verificación del diseño. Esa conclusión coincide con la experiencia del presente proyecto: reducir la demora del cambio de baraja requería intervenir simultáneamente el componente y la organización del mantenimiento.

Marimin y Zulna (2022) estudiaron componentes críticos de un fuel conveyor mediante mantenimiento centrado en confiabilidad y encontraron que la programación preventiva puede elevar la confiabilidad de equipos cuyo fallo interrumpe la alimentación de caldera. La analogía resulta pertinente: el conductor de bagazo cumple una función de suministro y una falla en un componente aparentemente secundario puede comprometer el proceso energético. En el A3-Kaizen, el objetivo de reducir a la mitad el tiempo perdido se tradujo en una combinación de barajas rediseñadas, repuestos disponibles, herramientas cercanas y entrenamiento del personal.

El trabajo de Bortnowski et al. (2022), aunque centrado en bandas transportadoras, muestra la utilidad de relacionar modos de daño con sus causas y con técnicas de monitoreo. Este enfoque puede trasladarse a la baraja reforzada: deformación, fisura, aflojamiento y desgaste de perforaciones tienen causas diferentes y exigen controles distintos. Una inspección visual puede detectar alineación y estado de soldaduras; la verificación manual de fijaciones permite detectar holgura; el historial de tiempos de intervención ayuda a medir mantenibilidad. La integración de estos registros fortalece la gestión del componente.

La documentación del proyecto adquiere así un valor que trasciende la pieza. El plano define la geometría; las fotografías prueban fabricabilidad y repetición; el A3 explica el problema y las decisiones; la ruta de inspección documenta el seguimiento. Juntos forman una base de confiabilidad que permite aprender del comportamiento del sistema. Esta visión resulta coherente con enfoques modernos de mantenimiento, donde la condición técnica, los datos históricos y la facilidad de intervención se consideran partes de una misma estrategia de disponibilidad.

1.11 Kaizen y conversión del problema operativo en requerimientos de diseño

El proyecto fue estructurado mediante una hoja A3-Kaizen, herramienta que obliga a condensar problema, situación actual, objetivo, análisis, contramedidas, plan de implementación y aprendizaje. Más que un formato administrativo, esa secuencia contribuyó a convertir observaciones de planta en requerimientos concretos. El problema no se definió como “falla de una baraja” en términos genéricos, sino como pérdida de energía y vapor por demora en el cambio. Esta formulación llevó a considerar tanto la resistencia del componente como el tiempo necesario para intervenirlo.

El análisis de la situación actual identificó cuatro restricciones decisivas: geometría de fijación a 45°, pandeo provocado por la carga de bagazo, dependencia de personal de construcciones y retraso asociado con herramientas. Cada una se tradujo en una contramedida: orientación a 0°, nervio de refuerzo, capacitación de personal de caldera y modificación de la fijación para herramienta eléctrica. Esta correspondencia es una fortaleza metodológica porque permite rastrear cada rasgo del rediseño hasta una causa operacional previamente identificada.

El plan de implementación también revela que la solución fue concebida para escalarse. La programación incluyó construir barajas con nuevo diseño, realizar cambio progresivo de 50 unidades de un total de 90, asegurar repuestos y capacitar al personal. La fotografía de múltiples unidades terminadas es consistente con esa lógica de despliegue. En términos de ingeniería, pasar de una pieza experimental a una serie obliga a controlar posiciones, soldaduras, extremos y acabados; por ello, la estandarización constructiva forma parte del valor técnico del proyecto.

La etapa de seguimiento y aprendizaje completa el ciclo. La ruta de inspección por turnos muestra que la intervención no se consideró cerrada con la fabricación. Se establecieron responsables y recorridos para observar el conductor. Este enfoque permite corregir desviaciones de operación, detectar fallas tempranas y retroalimentar el mantenimiento. En un libro que sirve de base técnica al prototipo, esa dimensión debe conservarse porque explica cómo el diseño se integra con la realidad operacional y por qué la solución no se limita a una representación gráfica.

Tabla 2. Requisitos técnicos derivados del A3-Kaizen

Requisito	Origen del problema	Respuesta incorporada
Reducir brazo de momento	Fijación original a 45° y distancia desde la base	Reorientación nominal de cargadoras a 0°

Aumentar rigidez local	Pandeo y rotura de aletas bajo carga de bagazo	Nervios y barras de refuerzo contra el flujo
Facilitar mantenimiento	Demora por herramientas y dependencia de otro departamento	Fijación accesible a herramienta eléctrica y personal entrenado
Evitar aflojamiento	Vibración y movimiento repetitivo	Tuercas de seguridad y verificación periódica
Asegurar disponibilidad	Falta de repuestos en emergencias	Fabricación seriada y reserva de componentes
Detectar desviaciones	Riesgo de evolución hacia descarrilamiento	Ruta de inspección por turnos y seguimiento operacional

Tabla 3. Plan de implementación del cambio de diseño: acciones, responsables y plazos definidos en el proyecto.

Acción	Responsable	Plazo
1. Cambiar diseño de barajas actuales por nuevo diseño.	Orly Somoza, Freddy Loor	30/08/2020
2. Construir barajas con nuevo diseño para cambio durante la zafra.	Orly Somoza, Freddy Loor	20/09/2020
3. Plan de empoderamiento a personal de calderas para efectuar el trabajo de cambio de baraja sin pedir ayuda de otro departamento.	Luis Arce, Orly Somoza	30/12/2020
4. Cambio progresivo de 50 barajas con nuevo diseño.	Andrés Ulloa, Byron Astudillo	30/12/2020
5. Facilitar repuestos necesarios en sitio para cambio de barajas.	Orly Somoza, Freddy Loor	30/12/2020
6. Facilitar herramientas necesarias para cambio de barajas.	Orly Somoza, Freddy Loor	30/12/2020
7. Plan capacitación manejo y operación conductores de bagazo y calderas con bagazo.	Orly Somoza, Freddy Loor	20/01/2021
8. Solicitar repuestos para tener cadena de reserva zafra 2021.	Luis Arce	31/12/2020

Capítulo 2. Diseño y construcción de la baraja reforzada

2.1 Configuración geométrica del conjunto

La pieza construida adopta una arquitectura longitudinal basada en un tubo central de 2 pulgadas que recibe una serie de aletas o barajas dispuestas a intervalos regulares. En ambos extremos se integran cargadoras destinadas a la unión con el sistema de cadena. Las fotografías muestran que las aletas no funcionan como placas aisladas: cada una se complementa con elementos triangulares y barras de refuerzo que arriostran la unión con el tubo. Esta configuración produce un conjunto repetitivo y rígido, fácil de reconocer en la serie de unidades terminadas. El diseño dimensional suministrado fija una longitud total de 1825 mm y una longitud funcional del tubo de 1725 mm, dimensiones que sirven de referencia para la compatibilidad con el conductor horizontal.

La altura total señalada en el dibujo es de 200 mm, mientras que la proyección superior respecto del eje del tubo alcanza 100 mm. El detalle de extremo muestra la relación entre el tubo y la cargadora, además de dimensiones expresadas en pulgadas para espesores y separaciones de la unión. Conviven, por tanto, unidades métricas e imperiales, algo habitual en componentes de mantenimiento industrial fabricados con perfiles comerciales. En la documentación técnica conviene conservar ambas cuando provienen del material original, porque sustituciones apresuradas pueden introducir errores. Esta obra mantiene las medidas tal como aparecen en el plano suministrado y las presenta de manera integrada para facilitar su lectura.

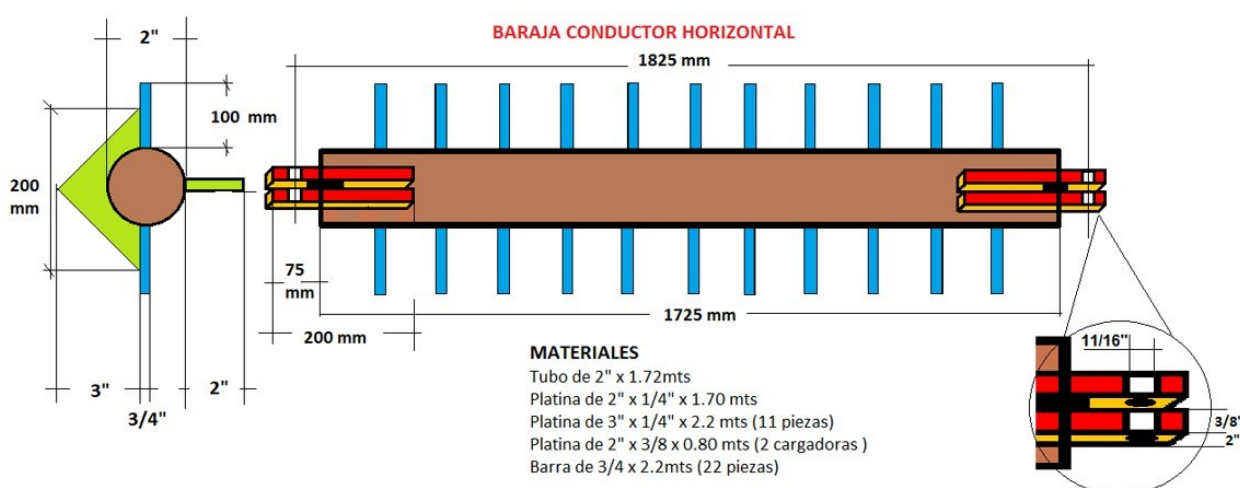
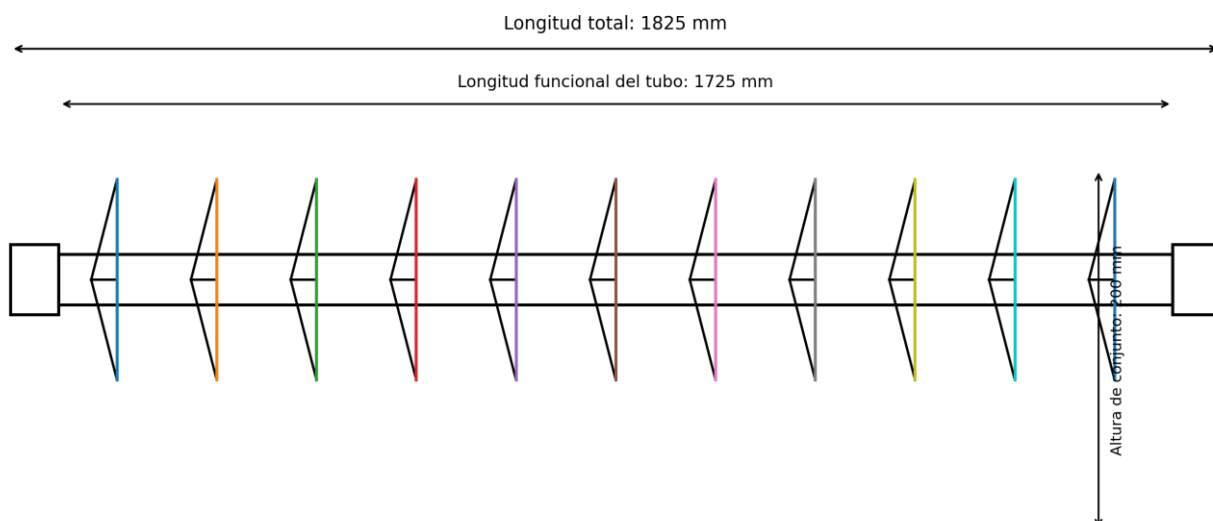


Figura 5. Plano dimensional suministrado por el equipo. Se identifican longitud total de 1825 mm, longitud funcional de 1725 mm, altura de 200 mm y lista de materiales.

2.2 Plano técnico consolidado

El plano dimensional permite reconstruir una vista longitudinal del conjunto y reconocer la lógica modular de sus aletas. A partir de ese material se elaboró una síntesis gráfica que mantiene las dimensiones principales y distribuye once posiciones de aleta a lo largo del tubo funcional. El objetivo de la lámina consolidada no es sustituir el plano de fabricación del taller, sino presentar en una sola vista los elementos que sustentan la descripción técnica: tubo central, extremos de fijación, aletas, refuerzo y envolvente total. Esta representación se utiliza también para conectar el lenguaje del libro con la memoria técnica de propiedad industrial que se preparará posteriormente.

PLANO TÉCNICO RESUMIDO | BARAJA PARA CONDUCTOR HORIZONTAL DE BAGAZO



Material base: tubo 2 in; platinas 2 in x 1/4 in, 3 in x 1/4 in; cargadoras 2 in x 3/8 in; barra 3/4 in.

Geometría reconstruida a partir del plano dimensional y fotografías suministradas por el equipo del proyecto.

Figura 6. Plano técnico consolidado de la baraja reforzada. Reconstrucción gráfica a partir del plano dimensional y las fotografías del proyecto.

2.3 Materiales y componentes

La lista de materiales entregada con el plano define una solución basada en acero comercial disponible en taller. El cuerpo principal utiliza tubo de 2 pulgadas con longitud aproximada de 1,72 m. Se incorpora platina de 2 pulgadas por 1/4 de pulgada y 1,70 m, platina de 3 pulgadas por 1/4 de pulgada con una longitud total de 2,2 m distribuida en once piezas, platina de 2 pulgadas por 3/8 de pulgada y 0,80 m para dos cargadoras, además de barra de 3/4 de pulgada y 2,2 m distribuida en veintidós piezas. La elección de perfiles comerciales facilita abastecimiento, corte, reposición y repetibilidad de fabricación.

Desde la perspectiva de diseño de máquinas, el interés no está únicamente en la resistencia nominal del acero. Budynas y Nisbett (2020) recuerdan que la respuesta del componente depende de la sección, la unión y la forma en que se aplica la carga. En este caso, las barras de refuerzo y las platinas triangulares aumentan la rigidez local de las aletas, mientras que el tubo actúa como elemento longitudinal que integra el conjunto. La soldadura convierte estas piezas en una estructura continua. Por eso la calidad geométrica de la fabricación, la posición de los refuerzos y la alineación de las cargadoras son tan importantes como el espesor del material.

Tabla 4. Materiales y componentes principales de la baraja reforzada

Material / componente	Especificación entregada	Función técnica principal
Tubo central	2 in × 1,72 m	Elemento longitudinal que integra la baraja y transmite carga entre aletas y extremos.
Platina longitudinal	2 in × 1/4 in × 1,70 m	Elemento de apoyo y refuerzo longitudinal.
Platina para aletas	3 in × 1/4 in × 2,2 m, 11 piezas	Conforma las aletas de arrastre y sus superficies resistentes.
Platina de cargadoras	2 in × 3/8 in × 0,80 m, 2 cargadoras	Forma los extremos de fijación al conjunto de cadena.
Barra de refuerzo	3/4 in × 2,2 m, 22 piezas	Arriestra aletas y limita deformación bajo carga repetitiva.

2.4 Cargadoras y sistema de fijación

Las cargadoras son determinantes porque concentran la transición entre el cuerpo tubular y el sistema de tracción. El rediseño no mantuvo la disposición previa de perforaciones a 45°. El A3 establece como contramedida el cambio a un ángulo de 0°, decisión que buscó reducir la condición desfavorable del brazo de momento identificada en el análisis inicial. Las fotografías comparativas muestran diferencias visibles entre piezas negras y piezas pintadas en tono rojizo, en particular en la geometría de los extremos. El plano de fabricación también representa la cargadora como un conjunto de platinas paralelas con perforaciones alineadas, preparado para recibir el elemento de unión correspondiente.

La fijación fue modificada con una finalidad adicional: reducir el tiempo requerido para desmontar y volver a instalar una baraja. El proyecto especificó un sistema compatible con equipos eléctricos de rápida respuesta y la implementación de tuercas de seguridad. En una unión sometida a vibraciones, la precarga y la capacidad de conservarla son variables importantes. La literatura de diseño mecánico dedica un tratamiento específico a los tornillos, las uniones no permanentes y los efectos de cargas fluctuantes (Budynas & Nisbett, 2020). El valor práctico del rediseño reside en

combinar la geometría corregida con una unión que puede atenderse con herramientas disponibles cerca del equipo.

2.5 Aletas, nervios y barras de refuerzo

Las fotografías del proyecto permiten identificar el cambio estructural con más claridad que una descripción aislada. Las aletas se disponen a lo largo del tubo central y presentan refuerzos que forman triángulos resistentes entre la placa y el tubo. En la serie pintada de color verde se observa la repetición sistemática de este esquema en varias unidades, señal de que el diseño pasó de una solución puntual a una fabricación repetible. La triangularización resulta mecánicamente razonable porque evita que toda la carga de arrastre sea recibida por una placa trabajando como voladizo sin arriostramiento. La patente de Maag y Straub (1986) constituye un antecedente interesante: emplea nervios triangulares en attachments de un flight conveyor para reforzar brazos laterales sometidos a carga. El proyecto de bagazo aplica el principio de refuerzo a una geometría y un contexto operacional distintos.

El A3 formula el objetivo del nervio con una expresión directa: refuerzo contra el flujo de carga. Esa descripción sitúa el refuerzo en la trayectoria real del esfuerzo, no como adorno geométrico. Durante el arrastre, la resistencia del bagazo genera una reacción opuesta al movimiento y tiende a flexionar la aleta. La barra de 3/4 de pulgada y la platina soldada transfieren parte de esa carga hacia el tubo central, disminuyendo la longitud libre efectiva de la placa. Aunque una evaluación estructural detallada puede modelarse mediante métodos de elementos finitos, la lógica básica puede explicarse desde la rigidez de secciones y la reducción de deformación por arriostramiento (Budynas & Nisbett, 2020).



Figura 7. Comparación visual de piezas del sistema y del rediseño. El archivo muestra diferencias en aletas, cargadoras y refuerzos.

2.6 Secuencia de fabricación

La fabricación del conjunto puede organizarse como una secuencia de taller que favorece la repetibilidad. Primero se prepara el tubo central a la longitud establecida y se verifican sus extremos. Después se marcan las posiciones de las once aletas, cuidando que la distribución sea constante y que la orientación responda al sentido de trabajo del conductor. Las platinas se cortan según el plano y se presentan sobre el tubo antes de soldar. Este paso de presentación es importante porque una desviación angular pequeña, repetida once veces, puede terminar alterando la alineación del conjunto. Una vez confirmada la geometría, se ejecutan las soldaduras de aletas, nervios y barras de refuerzo con una secuencia que limite distorsiones térmicas.

Los extremos de cargadora se construyen por separado y se integran al cuerpo cuando las referencias geométricas están controladas. Las perforaciones de fijación deben conservar alineación entre platinas paralelas para que el elemento de unión pueda montarse sin forzar. Después se realizan limpieza, inspección visual, corrección de rebabas y aplicación del recubrimiento protector. Las unidades verdes fotografiadas muestran que el proyecto llegó a una fase de producción seriada. Esa evidencia es significativa porque demuestra fabricabilidad: la solución no existe únicamente como esquema, sino como conjunto repetido con una forma consistente.

Tabla 5. Secuencia de fabricación y controles principales

Etapas	Operación	Control principal
1	Corte y preparación del tubo central	Longitud, rectitud y limpieza de extremos.
2	Trazado de posiciones de aletas	Separación constante y orientación respecto del sentido de avance.
3	Corte de platinas y barras	Dimensiones, escuadra y ausencia de rebabas críticas.
4	Presentación de aletas y nervios	Simetría, perpendicularidad y continuidad del refuerzo.
5	Soldadura	Secuencia que limite deformación térmica y continuidad visual del cordón.
6	Fabricación e instalación de cargadoras	Alineación de perforaciones y referencia angular corregida.
7	Acabado y protección	Limpieza, inspección y recubrimiento anticorrosivo.
8	Verificación final	Longitud total, alineación y libre movimiento de la unión.

2.7 Evidencia de unidades fabricadas

El registro fotográfico incorpora varias clases de evidencia. Una imagen muestra una baraja instalada dentro del conductor, con la cadena visible en la parte superior y las aletas distribuidas sobre el tubo. Otra imagen compara unidades negras y rojizas, lo que permite observar cambios de geometría y refuerzo. La fotografía de las unidades pintadas de color verde es especialmente útil porque documenta una fabricación múltiple y no un único prototipo. Las piezas aparecen agrupadas y presentan una configuración repetida de tubo, aletas, refuerzos y extremos. Esta uniformidad visual respalda la reproducibilidad de la solución en taller.



Figura 8. Serie de barajas reforzadas fabricadas y recubiertas. La repetición de geometría muestra la estandarización constructiva alcanzada por el proyecto.

2.8 Fundamento mecánico del rediseño

El rediseño puede leerse como una redistribución de carga. La configuración original llevaba parte del esfuerzo hacia una cargadora con una geometría que el equipo relacionó con un brazo de momento desfavorable. La corrección a 0° buscó modificar esa relación. Al mismo tiempo, los nervios y barras redujeron la libertad de flexión de las aletas. No es una intervención basada en un único parámetro. La mejora se produce por la cooperación entre la orientación del extremo, la rigidez local, la continuidad del cuerpo tubular y la forma de fijación. En términos de diseño mecánico, esa cooperación es coherente con los principios de flexión, rigidez y uniones tratados por Budynas y Nisbett (2020).

La comparación con patentes antiguas también ayuda a comprender el campo técnico. Maag y Straub (1986) reforzaron attachments de un flight conveyor mediante ribs, mientras Edmondson (1992) redujo el brazo de momento de la unión entre flight y cadena mediante una geometría específica de receptáculos. Ninguno de esos

antecedentes describe el conjunto exacto utilizado en este conductor de bagazo, pero ambos confirman que la gestión de momento, rigidez y fijación ha sido un problema recurrente en transportadores de arrastre. La aportación del proyecto debe analizarse, por tanto, en la combinación concreta de dimensiones, geometría de cargadoras, refuerzos y estrategia de mantenibilidad desarrollada para el entorno de bagazo.

2.9 Tolerancias, alineación e intercambiabilidad

La producción seriada de barajas exige que la geometría funcional pueda repetirse sin ajustes individuales. La dimensión total de 1825 mm y la longitud útil de 1725 mm no deben interpretarse únicamente como cifras de plano; determinan la compatibilidad de la pieza con el espacio disponible y con los puntos de conexión. Si dos unidades destinadas al mismo conductor presentan diferencias apreciables en longitud o posición de extremos, el montaje puede introducir esfuerzos que no estaban presentes en el diseño. La intercambiabilidad, por tanto, depende de controlar las dimensiones que vinculan la baraja con cadena, catalinas y artesa.

Las tolerancias de fabricación deben concentrarse en los rasgos funcionales. La rectitud del tubo central, la separación entre aletas, el paralelismo de las platinas de las cargadoras y la coaxialidad de sus perforaciones influyen directamente en el montaje. Otras dimensiones pueden admitir mayor variación sin afectar el servicio. Esta jerarquización evita exigir precisión innecesaria a todo el componente y concentra el control donde una desviación puede producir interferencia, dificultad de instalación o carga excéntrica.

La inspección dimensional puede organizarse con instrumentos de taller convencionales: cinta o regla para longitudes generales, calibrador para espesores y diámetros, escuadra para perpendicularidad y plantillas para verificar la geometría de cargadoras. En una fabricación repetitiva, una plantilla maestra reduce el tiempo de verificación y evita que cada unidad se trace desde cero. La fotografía de la serie verde muestra una configuración suficientemente uniforme para justificar este enfoque de control por referencias comunes.

La estandarización favorece también la logística de repuestos. Una unidad de reserva solo cumple su propósito si puede instalarse sin operaciones adicionales de corte o perforado. La gestión de inventario debe asociar cada baraja con una especificación de fabricación y una revisión visual antes de almacenarla. Así, el tiempo de parada no se traslada desde el equipo hacia el taller durante una emergencia, sino que se reduce gracias a una pieza preparada y compatible.

2.10 Soldadura y continuidad estructural

Las soldaduras transforman las platinas, barras y tubo en una estructura integrada. Su función no se limita a mantener cada pieza en posición; deben transmitir parte de las fuerzas de arrastre hacia el cuerpo longitudinal. Budynas y Nisbett (2020) explican que las uniones soldadas deben analizarse considerando dirección de carga, geometría del cordón y concentración de esfuerzos. En la baraja, la repetición de aletas y nervios produce múltiples zonas de unión, por lo que la consistencia del proceso de soldadura resulta tan relevante como la selección del material base.

La secuencia de soldeo debe evitar que el calor acumulado deforme el tubo. Una práctica razonable consiste en presentar todas las piezas, verificar alineación y alternar cordones en posiciones opuestas para distribuir la contracción térmica. Si se completa una cara de forma continua antes de trabajar la opuesta, la pieza puede adquirir curvatura. En una serie de once aletas, pequeños desplazamientos acumulados pueden afectar la rectitud general y comprometer la intercambiabilidad.

Los refuerzos triangulares requieren continuidad suficiente en la zona donde transmiten carga a la aleta y al tubo. Un cordón discontinuo o con falta de fusión puede convertir el extremo del refuerzo en un punto de concentración. La inspección visual debe revisar uniformidad, socavación, porosidad visible y terminación de cordones. Cuando exista duda sobre una zona crítica, la verificación puede complementarse con métodos no destructivos apropiados al espesor y al nivel de exigencia, sin convertir el control rutinario en un procedimiento desproporcionado.

La documentación de taller debe conservar la relación entre plano, material y soldadura. Identificar lote o fecha de fabricación facilita investigar una falla si apareciera en varias unidades semejantes. Esta trazabilidad es especialmente útil cuando se cambia proveedor de acero, consumible de soldadura o procedimiento de trabajo. El libro incorpora el proceso como parte del sustento del prototipo porque la reproducibilidad de una invención mecánica depende tanto de la geometría como de la capacidad real de fabricarla de manera consistente.

2.11 Trayectoria de carga en aletas, nervios y tubo central

Durante el arrastre, la superficie de la aleta recibe la reacción del bagazo y tiende a flexionarse en sentido contrario al avance. Sin refuerzo, una porción importante de esa carga debe ser transmitida por la placa hacia la unión con el tubo. La incorporación de barras y nervios genera un camino adicional: la fuerza puede repartirse entre la aleta y los elementos de arriostramiento, reduciendo la longitud libre efectiva. Este principio

explica por qué una geometría triangulada suele proporcionar una mejora significativa de rigidez con relativamente poco material adicional.

La patente US4573568A constituye un antecedente útil porque describe brazos de flight conveyor reforzados mediante al menos un nervio, incluyendo una configuración triangular. El valor de esa referencia no consiste en trasladar su diseño al proyecto de bagazo, sino en confirmar que el uso de ribs como elementos estructurales ha sido reconocido en transportadores sometidos a carga. La diferenciación del presente componente debe buscarse en su combinación concreta de tubo, aletas repetitivas, cargadoras reorientadas, dimensiones y estrategia de mantenimiento.

La transferencia de carga hacia el tubo central exige que el apoyo de los refuerzos no interfiera con la circulación del bagazo ni con la artesa. La geometría observada en las fotografías mantiene los refuerzos próximos al cuerpo y aprovecha el espacio alrededor de la aleta. Esta disposición protege el camino resistente sin aumentar de manera excesiva el volumen barrido. El equilibrio entre resistencia y envolvente es importante porque una pieza demasiado voluminosa podría generar acumulación adicional o interferir con componentes vecinos.

El análisis mecánico puede expresarse de manera cualitativa sin inventar cargas que no constan en el archivo. La solución aumenta la rigidez local, reduce la libertad de flexión de la placa y distribuye la reacción hacia el tubo. Esa descripción es suficiente para explicar el principio de funcionamiento. Una memoria de propiedad industrial puede complementar la explicación con vistas, dimensiones y ejemplos de realización, sin necesidad de atribuir valores de esfuerzo que no hayan sido documentados en el proyecto original.

2.12 Fijaciones, precarga y control de aflojamiento

La unión desmontable tiene dos exigencias simultáneas: transmitir carga durante la operación y permitir una intervención rápida cuando la baraja debe sustituirse. Si la fijación es difícil de alcanzar, el tiempo de mantenimiento aumenta incluso cuando la pieza de repuesto está disponible. El A3-Kaizen identificó esta dificultad y propuso modificar el sistema para utilizar equipos eléctricos de rápida respuesta. Esta decisión convierte la accesibilidad en un criterio de diseño y no en una condición secundaria del taller.

Las uniones roscadas dependen de la precarga generada durante el apriete. Cuando la vibración o las cargas transversales producen microdeslizamientos, puede

aparecer pérdida gradual de apriete. Budynas y Nisbett (2020) explican que la rigidez relativa de tornillo y piezas unidas, la precarga y la carga externa influyen en la estabilidad de la unión. La incorporación de tuercas de seguridad reduce la probabilidad de que una variación de precarga se convierta en aflojamiento completo, pero no elimina la necesidad de inspección.

El estado de las perforaciones forma parte del control. Una ovalización visible indica movimiento relativo o desgaste y puede impedir que el fijador trabaje sobre superficies adecuadas. La inspección debe diferenciar entre holgura propia del montaje y daño progresivo. Cuando una cargadora presenta deformación permanente alrededor del agujero, la simple sustitución del perno no corrige la causa. La pieza debe retirarse o repararse según el criterio técnico definido para la instalación.

La facilidad de intervención puede evaluarse por el número de operaciones requeridas, el tipo de herramienta y el acceso físico. El rediseño favorece un procedimiento donde el personal dispone de equipo eléctrico cercano y repuestos en sitio. Esta mejora de mantenibilidad complementa la mejora estructural: una baraja más resistente reduce la frecuencia potencial de intervención y una fijación más accesible reduce la duración cuando la intervención resulta necesaria.

2.13 Protección superficial y ambiente de trabajo

El ambiente del conductor combina humedad, partículas, residuos fibrosos y variaciones térmicas. Aunque el mecanismo principal de falla documentado fue mecánico, la corrosión puede reducir espesor y facilitar el inicio de grietas en zonas de soldadura o borde. El recubrimiento observado en las unidades verdes cumple una función de protección y facilita además la inspección, porque desprendimientos, golpes y zonas de roce resultan más visibles sobre una superficie uniforme.

La preparación superficial antes de pintar debe eliminar escoria, grasa, óxido suelto y contaminantes que impidan adherencia. En componentes que se almacenarán como repuesto, el recubrimiento protege durante el periodo en inventario. En servicio, las áreas sometidas a contacto intenso pueden perder pintura rápidamente; por ello, el objetivo no es conservar apariencia estética, sino limitar corrosión en zonas no sometidas a desgaste directo y facilitar la identificación visual de daño.

El color de acabado puede utilizarse también como criterio de trazabilidad si la planta diferencia lotes o revisiones de diseño. Esta práctica solo resulta útil cuando se acompaña de un registro, porque el color por sí mismo no define una versión técnica.

El número de plano, la fecha de fabricación y la revisión deben mantenerse como identificadores principales, mientras el acabado actúa como apoyo visual.

2.14 Estandarización e intercambiabilidad de la serie fabricada

La fotografía de múltiples barajas terminadas es una evidencia importante porque demuestra que la geometría pudo repetirse. La transición desde una unidad aislada hacia una serie obliga a resolver problemas de trazado, posicionamiento y control que no aparecen en un prototipo único. Las once aletas, los veintidós refuerzos y los dos extremos deben mantener una disposición comparable en cada unidad para que el montaje sea predecible.

La estandarización reduce la variabilidad del mantenimiento. Cuando cada repuesto responde a la misma geometría, el personal puede utilizar un procedimiento común, una misma herramienta y referencias conocidas de alineación. Esto disminuye el riesgo de improvisación durante una parada. En términos de gestión de activos, el repuesto deja de ser una fabricación artesanal de emergencia y se convierte en un componente normalizado del sistema.

La documentación de la serie debe conservar criterios mínimos: plano o croquis vigente, lista de materiales, responsable de fabricación, fecha, inspección final y ubicación de almacenamiento. Estos registros pueden parecer administrativos, pero protegen la coherencia técnica del diseño. Una modificación de taller introducida sin actualizar el plano puede romper la intercambiabilidad y hacer que unidades visualmente parecidas se comporten de manera distinta.

2.15 Control de calidad de la fabricación

El control de calidad puede organizarse en puntos sencillos distribuidos a lo largo de la fabricación. Antes de soldar se verifica material y corte; durante la presentación se controla separación y perpendicularidad; después de soldar se revisa rectitud, continuidad visual de cordones y alineación de perforaciones; antes de liberar la pieza se confirma longitud total y funcionamiento de la unión. Esta secuencia evita concentrar toda la inspección al final, cuando corregir una desviación puede requerir retrabajo significativo.

La dimensionalidad debe evaluarse con criterios de función. Una aleta que varíe algunos milímetros en una zona no crítica puede no afectar el servicio, mientras una perforación desalineada puede impedir el montaje. El plan de inspección debe distinguir estos casos y priorizar los rasgos que conectan la baraja con el sistema. El uso de una

plantilla maestra para extremos y otra para posición de aletas puede elevar la repetibilidad sin introducir equipos de metrología complejos.

La inspección visual de soldaduras debe ejecutarse con superficie limpia e iluminación suficiente. La aceptación debe considerar continuidad, ausencia de fisuras visibles y geometría del cordón compatible con la función. Un acabado uniforme no garantiza por sí mismo una unión correcta, pero las discontinuidades evidentes son señales que justifican reparación antes del montaje. En una serie de repuestos, la disciplina de inspección evita trasladar defectos del taller hacia el conductor.

El control final puede cerrarse con un registro de liberación que identifique la unidad y confirme que las dimensiones funcionales fueron verificadas. Este documento, junto con fotografías, crea una trazabilidad útil para el mantenimiento y para la memoria técnica de la invención. La capacidad de demostrar cómo se fabrica y cómo se verifica una realización concreta fortalece la descripción de aplicación industrial del desarrollo.

Tabla 6. Plan de control de fabricación de la baraja reforzada

Etapas	Característica a verificar	Método de control	Criterio funcional
Recepción de material	Perfil y espesor	Identificación y medición	Coincidir con especificación del plano
Corte y trazado	Longitudes y escuadra	Regla, cinta, escuadra	Sin desviaciones que afecten montaje
Presentación	Posición de aletas y refuerzos	Plantilla y verificación visual	Distribución repetitiva y orientación correcta
Soldadura	Continuidad y distorsión	Inspección visual y regla	Sin fisuras visibles; rectitud conservada
Cargadoras	Alineación de perforaciones	Calibrador y pasador de prueba	Montaje libre sin forzar
Acabado	Limpieza y recubrimiento	Inspección visual	Cobertura uniforme en zonas no de desgaste

Liberación	Longitud total y compatibilidad	Medición final y registro	Pieza intercambiable con unidad de referencia
------------	---------------------------------	---------------------------	---

Figura 9. Descripción técnica consolidada de la baraja reforzada: dimensiones principales, cargadoras, nervios de refuerzo y sistema de fijación.

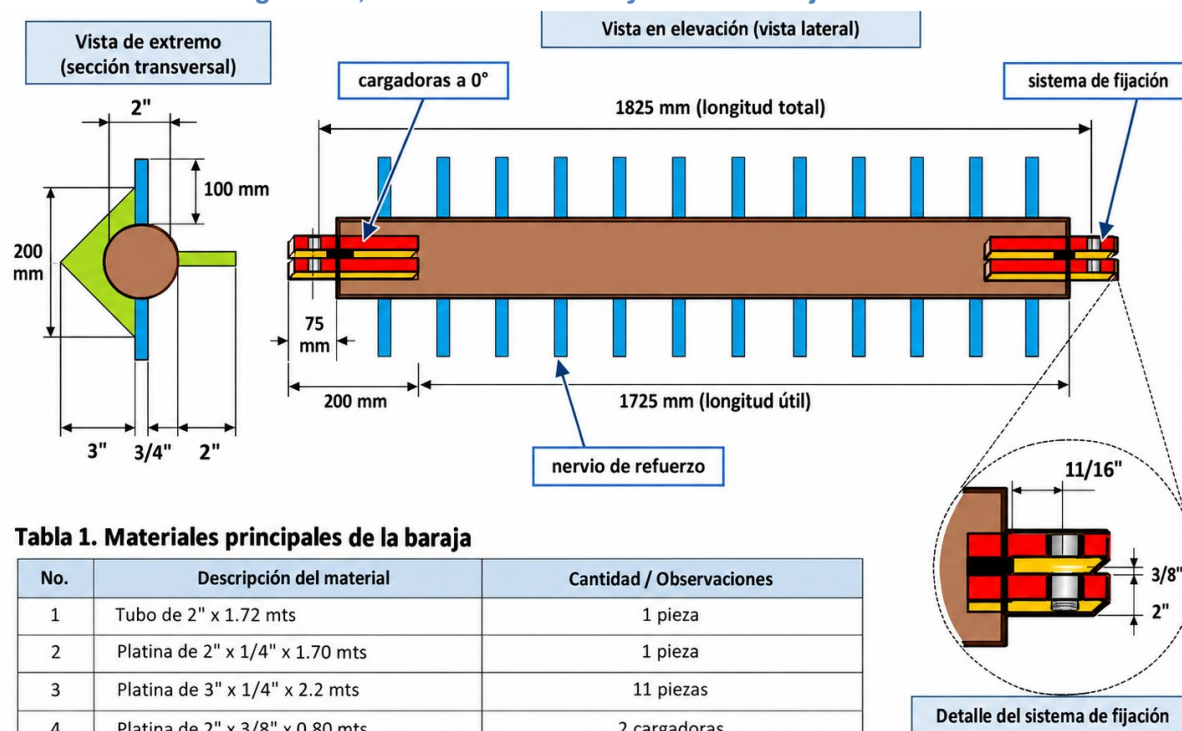


Tabla 1. Materiales principales de la baraja

No.	Descripción del material	Cantidad / Observaciones
1	Tubo de 2" x 1.72 mts	1 pieza
2	Platina de 2" x 1/4" x 1.70 mts	1 pieza
3	Platina de 3" x 1/4" x 2.2 mts	11 piezas
4	Platina de 2" x 3/8" x 0.80 mts	2 cargadoras
5	Barra de 3/4" x 2.2 mts	22 piezas

2.16 Lectura del plano de fabricación y coherencia dimensional

El plano suministrado combina medidas métricas e imperiales porque utiliza perfiles comerciales identificados en pulgadas y dimensiones generales en milímetros. Esta convivencia es frecuente en mantenimiento industrial y debe conservarse con cuidado. Convertir todas las medidas a un solo sistema puede ser útil para cálculo, pero la fabricación debe respetar las dimensiones comerciales del material disponible. Por eso la documentación debe indicar claramente cuándo una medida define una dimensión funcional y cuándo identifica una sección nominal.

La longitud total de 1825 mm incluye los extremos de fijación, mientras la longitud funcional del tubo se presenta como 1725 mm. El detalle de extremo aporta otras referencias, entre ellas una altura de 200 mm y dimensiones de las platinas. Estas medidas permiten reconstruir la envolvente general y verificar que la pieza pueda

desplazarse sin interferencia. Su valor principal para el libro es demostrar que el prototipo dispone de una definición geométrica concreta y no de una idea abstracta.

Las once posiciones de aleta deben leerse junto con la lista de materiales. La platina de 3 pulgadas por 1/4 se distribuye en once piezas, y la barra de 3/4 en veintidós piezas, coherente con dos refuerzos por posición. Esta correspondencia entre dibujo y materiales constituye una verificación interna del diseño. Cuando la memoria técnica se prepare para protección industrial, esta relación permitirá describir una realización específica sin depender de interpretaciones ambiguas.

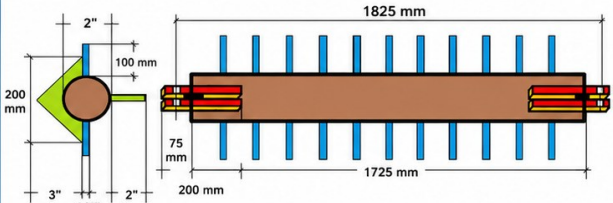
2.17 Comparación entre el diseño original y el rediseñado

La comparación visual permite observar que el rediseño no se limita a incrementar espesor. Cambia la forma en que las cargadoras se vinculan al tubo, incorpora refuerzos triangulados y modifica el acceso a la fijación. El diseño anterior concentraba el análisis en una configuración a 45° asociada con mayor brazo de momento. La versión corregida busca una referencia nominal de 0° y una transmisión de carga más directa, acompañada de elementos que limitan la flexión de las aletas.

La mantenibilidad es la segunda diferencia esencial. El proyecto no buscó una pieza “indestructible”, sino una pieza que pudiera trabajar con mayor estabilidad y, cuando fuera necesario, cambiarse con menor dependencia de recursos externos. La accesibilidad de la fijación, la caja de herramientas, el entrenamiento y la fabricación de repuestos integran esta dimensión. Por ello, el éxito técnico debe analizarse desde la combinación entre comportamiento mecánico y capacidad de intervención.

La comparación también ayuda a delimitar la protección industrial. Nervios, flights, cadenas y pernos son elementos conocidos en distintos transportadores. La especificidad del desarrollo reside en la combinación de geometría, dimensiones, disposición de aletas, refuerzo, cargadoras y estrategia de uso en el conductor horizontal de bagazo. La memoria de propiedad industrial deberá redactar esta combinación con precisión, evitando reivindicar de forma aislada elementos que ya aparecen en antecedentes.

Figura 10. Comparación entre la baraja original y la baraja rediseñada: cambios de fijación, refuerzo y mantenibilidad.

Diseño Original	Diseño Rediseñado
	
1 Fijación a 45° Las cargadoras se fijan inclinadas a 45° respecto al flujo de carga. 2 Mayor concentración de esfuerzo El diseño genera mayores esfuerzos en las cargadoras y en las uniones de fijación. 3 Pandeo central Se presentan deformaciones y roturas por pandeo en la zona central. 4 Cambio más lento El reemplazo requiere mayor tiempo debido a la fijación y acceso limitado.	1 Cargadoras a 0° Las cargadoras y ojeras de carga se instalan a 0°, reduciendo desviaciones y esfuerzo por flexión. 2 Nervio de refuerzo contra el flujo de carga Incorpora un nervio de refuerzo que mejora la rigidez del conjunto. 3 Nueva fijación accesible Sistema de fijación rediseñado para facilitar el uso de equipos de manipulación y reducir el tiempo de intervención. 4 Tuercas de seguridad Uso de tuercas de seguridad para evitar sultura por vibraciones. 5 Menor tiempo de intervención El cambio se realiza en menor tiempo gracias al acceso mejorado y al diseño simplificado.

El rediseño modifica la geometría de trabajo y mejora la mantenibilidad del conjunto.

2.18 Diseño arquitectónico y representación gráfica de la pieza prototipada

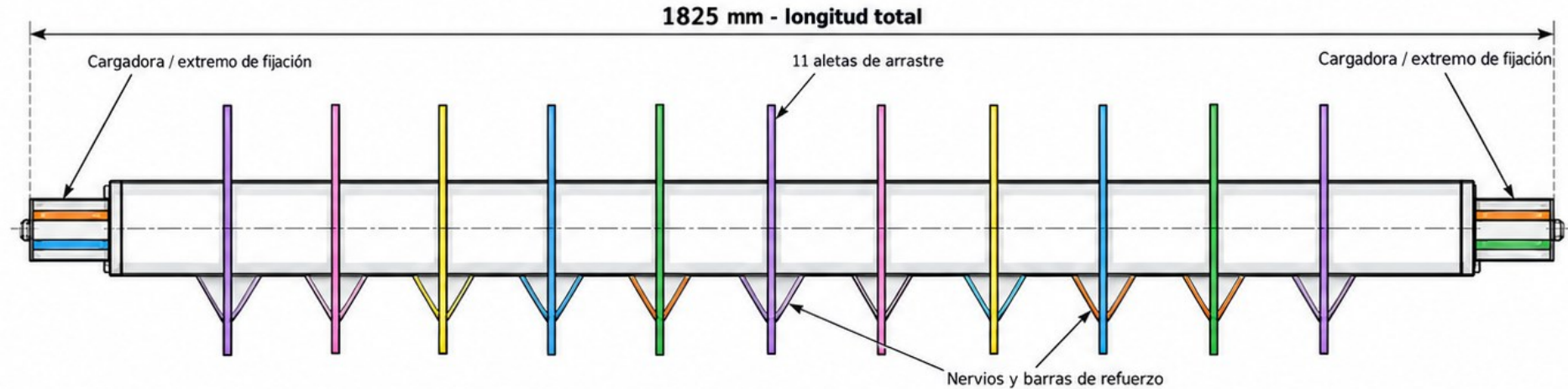
La expresión diseño arquitectónico se utiliza aquí para describir la organización espacial y funcional de los elementos que forman la baraja reforzada. La pieza no se comporta como una suma de placas soldadas sin relación entre sí: el tubo central actúa como eje estructural, las once aletas constituyen las superficies activas de arrastre, los nervios y barras triangulan cada unión para limitar la flexión, y las cargadoras de los extremos conectan el cuerpo con la cadena del conductor.

El plano suministrado fija una longitud total de 1825 mm, una longitud funcional de 1725 mm y una altura de referencia de 200 mm. El dibujo técnico del prototipo se incorpora como una pieza central de esta sección porque permite leer el diseño con el lenguaje propio de la ingeniería: vista en elevación, vista de extremo, detalle del sistema de fijación, dimensiones principales y materiales. La representación conserva las medidas verificables del plano suministrado —1825 mm de longitud total, 1725 mm de longitud funcional, 200 mm de altura total y 100 mm de proyección superior— y relaciona esas cotas con la función estructural de cargadoras, aletas, nervios y tubo central.

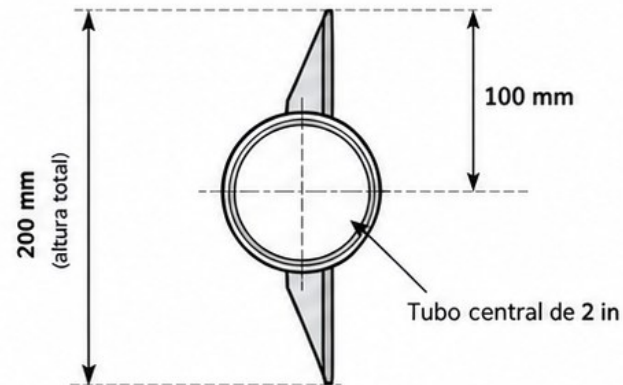
DIBUJO TÉCNICO DEL PROTOTIPO - BARAJA REFORZADA PARA CONDUCTOR HORIZONTAL DE BAGAZO

Vistas ortogonales y detalle funcional | Dimensiones principales según plano suministrado

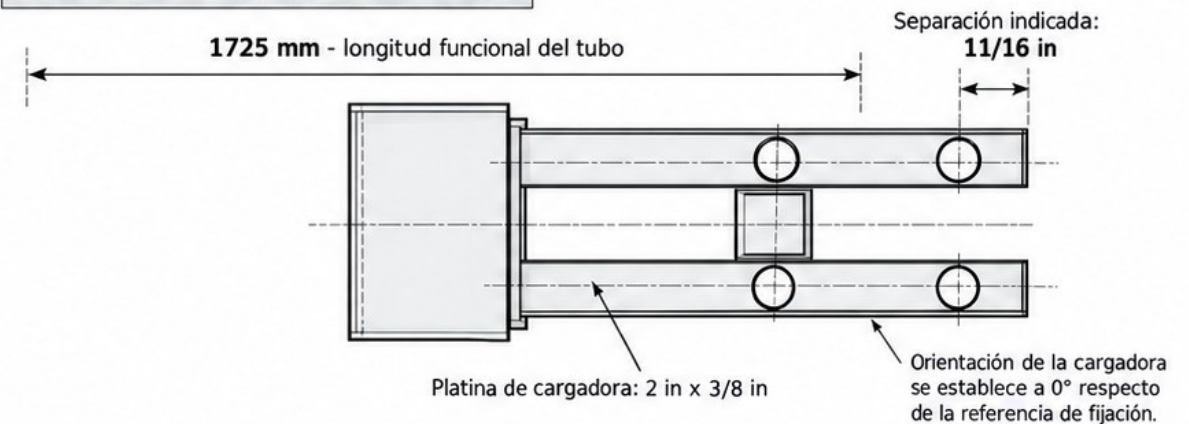
VISTA EN ELEVACIÓN



VISTA DE EXTREMO



DETALLE DEL SISTEMA DE FIJACIÓN



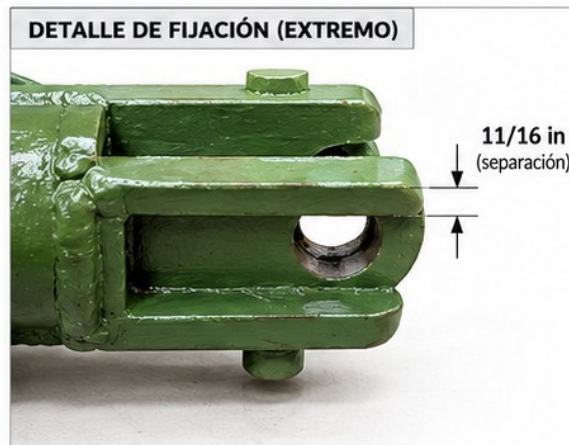
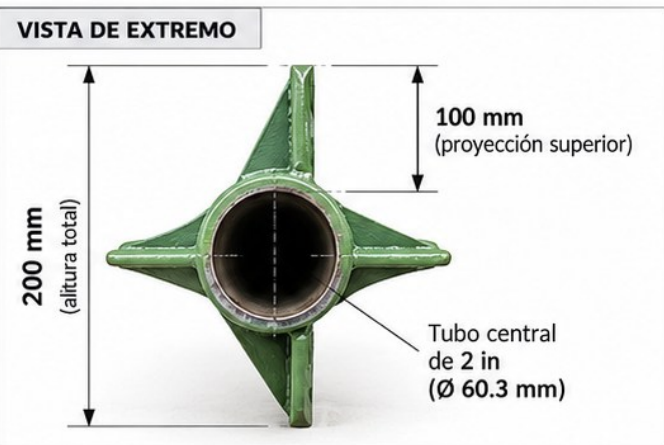
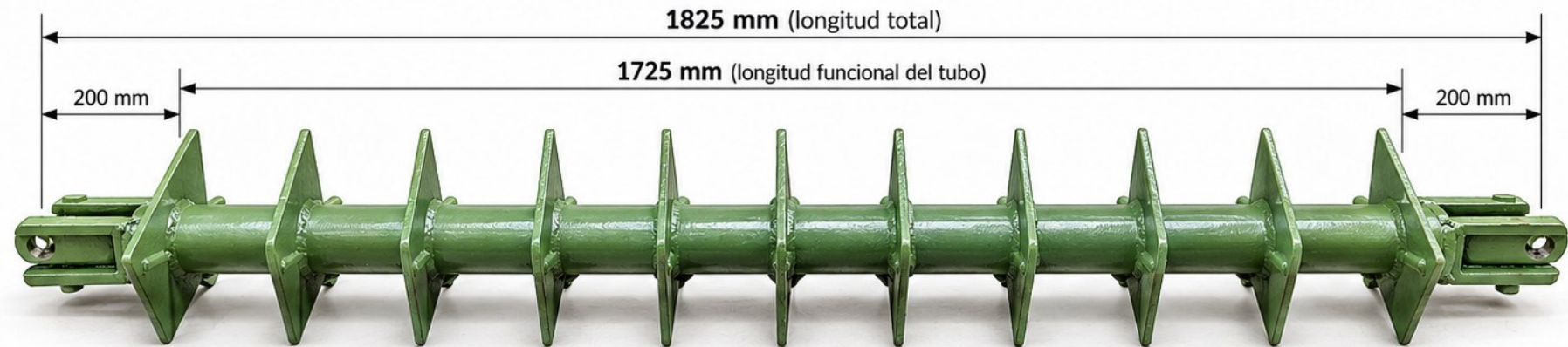
MATERIALES PRINCIPALES (según plano original)

- Tubo de 2 in x 1.72 m
- Platina de 2 in x 1/4 in x 1.70 m
- Platina de 3 in x 1/4 in x 1.2 m (11 piezas)
- Platina de 2 in x 3/8 in x 0.80 m (2 cargadoras)
- Barra de 3/4 in x 2.2 m (22 piezas)

Nota: dibujo técnico interpretativo elaborado a partir del plano dimensional y del registro fotográfico del prototipo fabricado; no sustituye el plano de taller.

PROTOTIPO DE BARAJA REFORZADA – CONDUCTOR HORIZONTAL DE BAGAZO

Lámina acotada en formato A4



MATERIALES PRINCIPALES (según plano original)

Tubo de 2 in	1.72 m
Platina de 2 in x 1/4 in	1.70 m
Platina de 3 in x 1/4 in (aletas)	1.20 m (11 piezas)
Platina de 2 in x 3/8 in (cargadoras)	0.80 m (2 piezas)
Barra de 3/4 in (refuerzos)	2.20 m (22 piezas)

Figura 13. Dibujo técnico del prototipo de baraja reforzada: vista en elevación, vista de extremo, detalle del sistema de fijación, dimensiones generales y materiales principales.

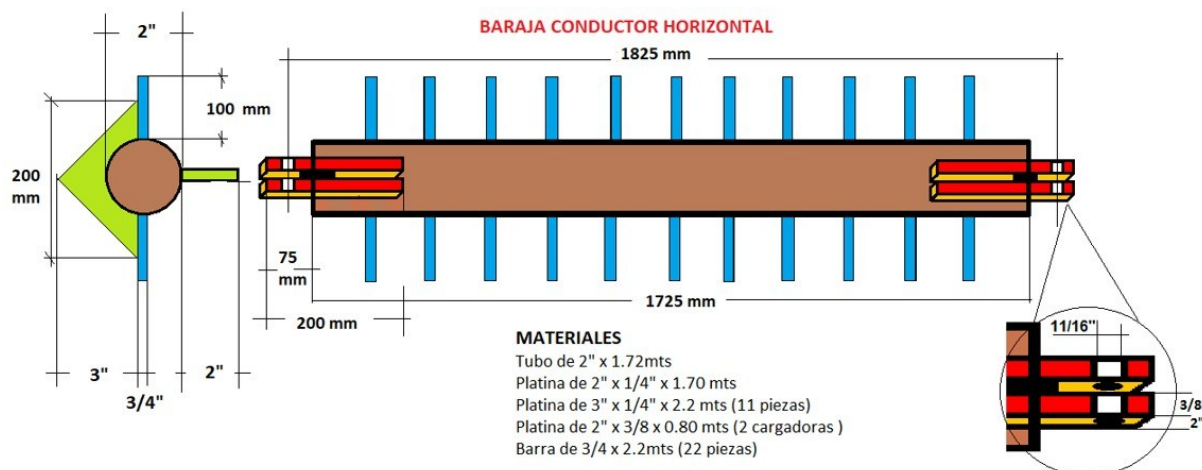
Estas relaciones dimensionales permiten que la pieza conserve la envolvente requerida por la artesa y mantenga compatibilidad con la cadena, las catalinas y las unidades contiguas. El valor del diseño está en la coherencia del conjunto: cada dimensión y cada refuerzo responden a una función mecánica y de mantenimiento previamente identificada en el A3-Kaizen.

La lectura conjunta de estas vistas permite identificar cómo se distribuye la función del prototipo. El tubo central actúa como elemento longitudinal de continuidad; las once aletas reciben directamente la resistencia del bagazo; los nervios y barras triangulan la unión para limitar la flexión local; y las cargadoras de los extremos transfieren el esfuerzo hacia la cadena. El detalle de fijación muestra la disposición que favorece una intervención más accesible y coherente con el uso de herramienta de respuesta rápida. Esta organización beneficia la operación porque contribuye a conservar la alineación del conjunto, disminuye la libertad de deformación de las aletas y facilita la sustitución de una unidad cuando el mantenimiento lo requiere.

La lectura del plano muestra tres zonas funcionales. La primera corresponde al cuerpo longitudinal, donde el tubo recibe y distribuye las acciones generadas por el bagazo. La segunda está formada por las aletas y sus refuerzos, responsables de interceptar el material y transformar el movimiento de la cadena en empuje útil. La tercera corresponde a los extremos de fijación, donde la cargadora reorientada y los elementos de unión transfieren el esfuerzo hacia el sistema de tracción.

La modificación a 0° reduce la condición geométrica desfavorable que había sido asociada con mayor torque; los nervios reducen la longitud libre de las aletas; y la nueva fijación facilita el desmontaje con herramienta eléctrica. El resultado es una arquitectura mecánica que no solo busca resistir la carga, sino conservar alineación, simplificar la sustitución y permitir fabricación repetitiva a partir de materiales comerciales.

Figura 14. Plano dimensional original de la baraja para conductor horizontal, utilizado como referencia de fabricación y control geométrico.



2.19 Relación entre arquitectura de la pieza, actividades de servicio y beneficios operativos

La pieza prototipada fue concebida para intervenir en actividades concretas del conductor horizontal: arrastre continuo de bagazo, conservación de la alineación durante el recorrido, transmisión de carga hacia la cadena, inspección preventiva, sustitución de unidades deterioradas y recuperación rápida del servicio. Su beneficio no debe interpretarse únicamente como un aumento de resistencia. La geometría reforzada contribuye a que las aletas conserven su posición frente a acumulaciones y cargas repetitivas; los extremos normalizados favorecen la intercambiabilidad; la fijación accesible reduce operaciones manuales lentas; y las tuercas de seguridad mejoran la estabilidad de la unión frente a vibración.

Estas características apoyan la continuidad productiva porque disminuyen la probabilidad de que una deformación local evolucione hacia problemas de cadena o catalina y, al mismo tiempo, permiten que el personal intervenga con procedimientos y herramientas previamente definidos.

Tabla 6. Relación entre componente, actividad y beneficio operativo de la baraja reforzada

Elemento arquitectónico	Actividad asociada	Función técnica	Beneficio operativo
Tubo central	Transporte continuo	Integra el conjunto y recibe esfuerzos de aletas y extremos	Mantiene geometría longitudinal y facilita repetibilidad de fabricación.
Aletas de arrastre	Empuje del bagazo	Interceptan el material y transmiten la reacción hacia el cuerpo	Sostienen el flujo de biomasa a lo largo del conductor.
Nervios y barras	Trabajo bajo carga variable	Arriostran las aletas y reducen su longitud libre efectiva	Disminuyen la susceptibilidad a pandeo y deformación.

Cargadoras a 0°	Transmisión hacia cadena	Corrigen la relación geométrica del extremo de fijación	Reduce el brazo funcional desfavorable identificado en el diseño original.
Fijación accesible y tuercas de seguridad	Sustitución y mantenimiento	Facilita desmontaje y conserva la unión frente a vibración	Reduce complejidad de intervención y mejora mantenibilidad.
Estandarización dimensional	Gestión de repuestos	Permite fabricar unidades equivalentes a partir del plano	Favorece intercambiabilidad y disponibilidad de repuestos en sitio.

Capítulo 3. Funcionamiento, utilización y mantenimiento

3.1 Principio de funcionamiento

La baraja trabaja como elemento transversal de empuje. La cadena del conductor proporciona el movimiento longitudinal y cada unidad intercepta el bagazo situado en su trayectoria. La masa fibrosa ofrece resistencia, de modo que la aleta recibe una fuerza opuesta al avance. Esa fuerza se transmite desde la superficie de arrastre hacia los nervios, las barras y el tubo central, y finalmente hacia los extremos de fijación. El desempeño depende de que la pieza conserve su geometría durante ciclos repetidos. Si una aleta se deforma, aumenta la probabilidad de roce, concentración de carga y alteración de la trayectoria de la cadena. Por esta razón, el refuerzo no es un componente secundario; forma parte del camino de carga.

El manejo de biomasa presenta variabilidad inherente. Cheng et al. (2021) muestran que el comportamiento de flujo depende de propiedades del material y de condiciones de proceso. Lu et al. (2021) señalan que la compresibilidad y la forma irregular de las partículas pueden generar desafíos relevantes en los sistemas de manipulación. Aunque esos trabajos no estudian esta baraja específica, ayudan a explicar por qué el conductor no recibe una carga perfectamente uniforme. La solución necesita tolerar acumulaciones locales y cambios de densidad aparente sin perder alineación.



Figura 11. Baraja reforzada instalada en el conductor horizontal. Se observa la integración con la cadena y la repetición de aletas a lo largo del conjunto.

3.2 Integración con cadena, catalinas y artesa

La baraja no funciona de manera independiente. Sus extremos se vinculan con la cadena y esta, a su vez, engrana con las catalinas. El A3 identificó que la deformación de la baraja podía alterar la distancia entre eslabones y favorecer descarrilamientos. La

dimensión longitudinal y la posición de las cargadoras deben conservar, por ello, una compatibilidad estricta con el paso del sistema. Edmondson (1992) trató una preocupación semejante en un conveyor de minería: las fuerzas transmitidas por el flight podían dañar los links de unión, y el diseño buscó reducir ese efecto sin desmontar la cadena. En el conductor de bagazo, la estabilidad dimensional de la baraja contribuye a mantener la relación funcional entre cadena, catalinas y trayectoria de arrastre.

La artesa o superficie de transporte también condiciona el movimiento. Una deformación hacia abajo puede aumentar roce y, en casos extremos, interferir con el fondo del conductor. Una deformación lateral puede modificar el contacto con guías o con componentes cercanos. El diseño reforzado busca conservar la posición relativa de las aletas sin transformar la baraja en un elemento excesivamente pesado. La elección de tubo y platinas comerciales produce una estructura sencilla de inspeccionar y reparar, con formas que el personal de taller reconoce y puede reproducir.

3.3 Puesta en servicio y régimen normal

La puesta en servicio comienza con una verificación visual del conjunto instalado. La baraja debe quedar alineada con las unidades contiguas, sin interferencias, con fijaciones asentadas y con espacio suficiente para completar el recorrido. Durante los primeros movimientos es razonable observar el paso por zonas de transición y el engrane de la cadena con las catalinas. El proyecto A3 incluyó una ruta de inspección del conductor, lo que muestra que el diseño se acompañó de una práctica de seguimiento. Una baraja correctamente fabricada puede fallar si se instala con desalineación o si una fijación pierde su condición de apriete; por eso el control operativo forma parte del desempeño de la pieza.

En régimen normal, la inspección se concentra en señales simples: deformación visible, roce, fisuras en soldaduras, cambios de ruido, vibración anormal, pérdida de material de recubrimiento y condición de las tuercas de seguridad. CEMA (2020) recomienda que la operación y el mantenimiento de transportadores se apoyen en inspecciones sistemáticas y en la detección temprana de anomalías. En este proyecto, esa lógica resulta coherente con el antecedente de descarrilamiento: una variación geométrica detectada a tiempo puede evitar que la falla evolucione hasta comprometer la cadena o la catalina.

3.4 Inspección y control

El control de la baraja puede organizarse en tres niveles. El primero es visual y se realiza con el equipo detenido y asegurado: se revisan aletas, refuerzos, cordones y

extremos. El segundo es geométrico: se compara la alineación general y se verifica que no exista deformación apreciable respecto de las unidades vecinas. El tercero se concentra en la unión: se examinan pernos, tuercas de seguridad, desgaste alrededor de perforaciones y cualquier evidencia de movimiento relativo. Esta secuencia permite identificar daños sin convertir cada inspección en un desmontaje completo.

La documentación fotográfica es útil para comparar el estado de una pieza a lo largo del tiempo. Una imagen tomada desde el mismo ángulo puede mostrar la aparición de flexión, desgaste o grietas. La práctica de registrar reparaciones también favorece la trazabilidad de cambios de taller. En equipos que trabajan con material fibroso y polvo, los indicios iniciales no siempre son espectaculares; una soldadura con una fisura incipiente o una cargadora ligeramente deformada puede preceder a una falla mayor. El mantenimiento eficaz depende de reconocer esas señales antes de que la baraja pierda su geometría funcional.

3.5 Sustitución de una baraja

La intervención sobre una baraja dañada debe comenzar con la detención y aislamiento del conductor conforme a los procedimientos de seguridad de la planta. Una vez asegurado el equipo, se limpia el área de trabajo para exponer la fijación. El rediseño fue concebido para que la unión pueda atenderse con herramienta eléctrica de rápida respuesta, reduciendo el tiempo asociado con operaciones manuales lentas. Se retiran los elementos de seguridad, se liberan los fijadores y se extrae la baraja evitando transmitir cargas innecesarias a la cadena. La unidad de repuesto se presenta, alinea y fija siguiendo el orden inverso.

La disponibilidad de repuestos en sitio fue una contramedida explícita del A3. Esta decisión convierte el mantenimiento en una operación planificada y no en una fabricación de emergencia. Fayed y Skocir (1997) destacan la importancia de considerar mantenimiento y sustitución desde la selección del transportador. En este caso, la estandarización dimensional de las barajas cumple una función similar: una pieza almacenada debe poder instalarse sin ajustes improvisados. La fotografía de varias unidades fabricadas demuestra que el equipo avanzó hacia esa lógica de repuesto normalizado.

3.6 Herramientas, repuestos y mantenibilidad

La instalación de una caja de herramientas en el área del transportador fue una medida sencilla, pero coherente con la causa de demora identificada. La reducción del tiempo de reparación no depende solo de la pieza. Un sistema puede tener un buen

diseño y permanecer detenido si el personal necesita localizar una llave, trasladar un equipo de impacto o esperar un repuesto. El proyecto integró diseño, herramienta y entrenamiento. Esa combinación es una de sus fortalezas porque reconoce que la mantenibilidad es una propiedad del sistema de trabajo, no únicamente del componente.

La capacitación del personal directo de caldera para responder ante un daño emergente también disminuye dependencia de otras áreas. Esta medida no reemplaza competencias especializadas cuando una reparación lo requiere, pero permite resolver intervenciones rutinarias con un procedimiento conocido. La ruta de inspección mostrada en el A3 y la solicitud de una cadena de reserva completan ese enfoque. En conjunto, las contramedidas forman una arquitectura de confiabilidad: baraja reforzada, fijación de rápida intervención, tuercas de seguridad, herramientas cercanas, personal entrenado y repuestos disponibles.

3.7 Seguridad de la fijación

La vibración y los movimientos repetitivos pueden reducir la precarga de una unión roscada si el sistema no incorpora medios de retención adecuados. El A3 especificó el uso de tuercas de seguridad para evitar soltura durante la operación. Budynas y Nisbett (2020) explican que el comportamiento de las uniones atornilladas depende de la precarga, de la rigidez relativa de las piezas y de las cargas externas. En la práctica, la función de la tuerca de seguridad es evitar que una variación de apriete evolucione hasta una pérdida de fijación. El control visual sigue siendo necesario, porque ningún dispositivo elimina la necesidad de inspección en un equipo sometido a vibración y contaminación.

La geometría de las perforaciones también influye. Un agujero deformado, una holgura excesiva o una superficie de apoyo irregular puede permitir movimiento relativo y acelerar desgaste. Por eso la fabricación de las cargadoras debe asegurar alineación y superficie de contacto suficiente. El cambio a 0° no debe interpretarse como una cifra aislada; representa una nueva relación geométrica entre cargadora, fuerza y base de la pieza. La integridad de esa relación depende de que las perforaciones, platinas y fijadores conserven la forma definida en el diseño.

3.8 Evidencia de aplicación en campo

El archivo entregado documenta distintas etapas de materialización. La fotografía del conductor muestra unidades instaladas dentro del sistema. La comparación entre piezas negras y rojizas permite observar cambios constructivos. El plano dimensionado

define medidas y materiales. La imagen de barajas verdes agrupa varias unidades terminadas, lo que confirma que la fabricación se ejecutó en serie. Estas evidencias, consideradas en conjunto, convierten el proyecto en algo más que una propuesta conceptual. Existe una pieza definida, repetible y físicamente construida, cuya utilidad se relaciona con un problema industrial previamente documentado.

No es necesario atribuir al diseño cifras de desempeño que no estén registradas para sustentar su existencia técnica. La evidencia más sólida disponible es la trazabilidad entre problema, contramedidas, plano, materiales, fotografías y unidades fabricadas. Para una futura memoria de propiedad industrial, esta continuidad documental será importante porque permite explicar la evolución del componente sin depender de descripciones genéricas. El libro conserva esa secuencia y la contextualiza con fuentes técnicas externas.

3.9 Estrategia de mantenimiento preventivo

La experiencia del proyecto muestra que el mantenimiento del conductor debe anticiparse a la falla completa de una baraja. El objetivo preventivo consiste en identificar deformación, fisuras, holguras y desgaste antes de que alteren la trayectoria de la cadena. Naidoo et al. (2022) resaltan que una estrategia de mantenimiento para transportadores debe construirse a partir de los modos de falla y de sus consecuencias operacionales. En este caso, la consecuencia crítica es la pérdida de continuidad del suministro de bagazo y la posible afectación de calderas y generación.

La frecuencia de inspección debe relacionarse con la experiencia de la instalación y con la criticidad del componente. El A3 muestra recorridos definidos para los tres turnos, lo que crea una observación frecuente del sistema. Esta práctica puede conservarse como inspección operacional de primer nivel, complementada por revisiones programadas con el equipo detenido. La combinación evita depender exclusivamente de una inspección anual o de una intervención cuando el daño ya es evidente.

La inspección preventiva debe ser breve y repetible. Un listado de verificación con cinco o seis puntos permite observar estado de aletas, cordones, cargadoras, fijaciones, alineación y ruidos anormales. Cuando se detecta una desviación, se abre una orden de trabajo más detallada. De esta manera el personal de operación no necesita realizar diagnósticos complejos durante cada recorrido, pero sí cuenta con criterios claros para escalar una anomalía.

El historial de hallazgos permite identificar patrones. Si varias unidades muestran fisuras en una misma zona, el problema puede relacionarse con fabricación, carga o geometría. Si el aflojamiento aparece en un extremo concreto, puede existir una condición de vibración o acceso distinta. Registrar estos eventos transforma la experiencia cotidiana en información de ingeniería y permite ajustar el mantenimiento sin modificar el diseño de manera intuitiva.

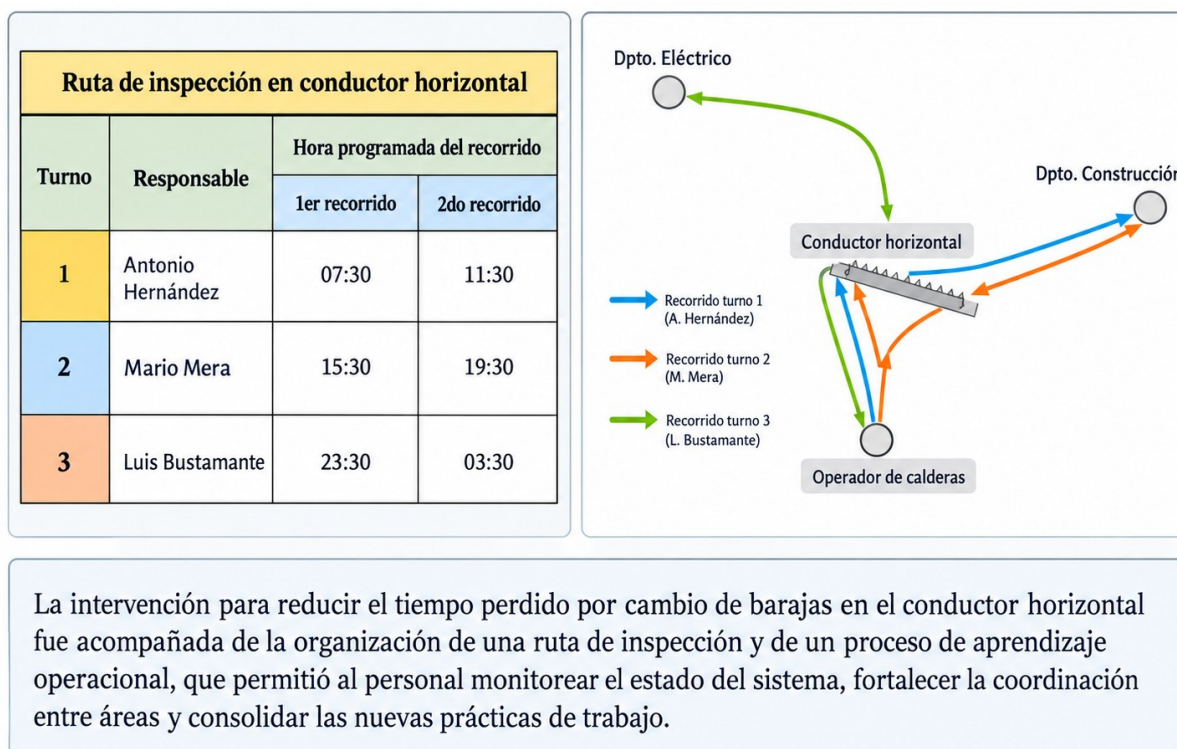
3.10 Ruta de inspección por turnos y coordinación entre áreas

La ruta de inspección incluida en el A3 asigna responsables y horarios a cada turno. Su valor no reside únicamente en demostrar que se planificaron recorridos; establece una responsabilidad concreta sobre la observación del conductor. La coordinación con operación de calderas, mantenimiento eléctrico y construcción reduce la probabilidad de que una anomalía permanezca sin dueño. En sistemas continuos, esta claridad organizativa puede ser tan importante como la capacidad técnica para reparar.

Cada recorrido debe observar el comportamiento general antes de concentrarse en una pieza. Cambios de sonido, acumulación de bagazo, vibración de la cadena o desplazamiento irregular pueden señalar un problema que todavía no es visible en una baraja. Después se inspeccionan puntos accesibles y se comparan las unidades entre sí. Una baraja inclinada respecto de las vecinas constituye una referencia visual inmediata de pérdida de geometría.

La comunicación entre turnos debe registrar anomalías pendientes. Si un hallazgo se repite, la intervención puede programarse antes de una parada no planificada. Esta práctica es coherente con enfoques de mantenimiento basados en condición y con los estudios recientes sobre confiabilidad de transportadores. El registro no necesita ser complejo; fecha, turno, ubicación, observación y acción recomendada son suficientes para construir una secuencia histórica útil.

Figura 12. Seguimiento y aprendizaje operacional: ruta de inspección por turnos y coordinación alrededor del conductor horizontal.



3.11 Indicadores visuales de degradación

La deformación permanente de una aleta es uno de los indicadores más directos. Debe observarse su perpendicularidad respecto del tubo, la simetría de los refuerzos y la separación con la artesa. Una aleta que se inclina puede haber recibido una sobrecarga o presentar una soldadura debilitada. Aunque continúe arrastrando material, su condición altera la distribución de esfuerzos y puede incrementar la probabilidad de interferencia.

Las fisuras en cordones y bordes son un segundo indicador. Las zonas donde el nervio termina sobre la aleta o el tubo concentran cambios de rigidez y requieren atención. Una fisura visible no debe cubrirse con pintura sin analizar su origen. La reparación debe restaurar la continuidad resistente y, cuando el daño sea repetitivo, revisar si existe una causa común asociada con posición, carga o secuencia de fabricación.

El desgaste de perforaciones y la pérdida de precarga en fijaciones constituyen un tercer grupo. Marcas brillantes alrededor de un agujero, movimiento relativo o una tuerca desplazada indican que la unión ha trabajado con holgura. Este tipo de daño puede transferir impacto a la cadena y acelerar la degradación del extremo. La inspección debe incluir la condición de arandelas, tuercas de seguridad y superficies de contacto.

El cuarto indicador es el comportamiento del conjunto: ruido, vibración, saltos de cadena o irregularidad en el paso por catalinas. Estos síntomas no pertenecen exclusivamente a la baraja, pero pueden revelar que una deformación local ya afecta el sistema. Por eso la inspección debe

mantener una visión de conjunto y no limitarse a evaluar cada pieza como si trabajara de forma independiente.

3.12 Procedimiento estandarizado de sustitución

La sustitución debe iniciar con autorización, parada y aislamiento de energías conforme a los procedimientos de seguridad de la planta. El área se limpia para exponer la fijación y se confirma que la cadena no pueda moverse. Una vez asegurada la condición, se identifican los elementos de unión y se prepara la baraja de repuesto. La disponibilidad previa de herramientas y repuestos evita que la parada se prolongue por búsqueda de recursos.

El desmontaje comienza liberando los dispositivos de seguridad y utilizando la herramienta prevista para los fijadores. La pieza debe sostenerse de forma que su peso no cargue inesperadamente la cadena cuando se retira el último elemento. Si existe deformación, puede ser necesario liberar tensiones con mayor cuidado. La extracción se realiza evitando golpes sobre eslabones o catalinas, pues el objetivo es reemplazar la baraja sin introducir una falla nueva.

Antes de instalar el repuesto se comparan extremos y perforaciones. La unidad debe entrar en posición sin forzar, señal de que conserva la intercambiabilidad. Los fijadores se instalan y aprietan de acuerdo con la práctica definida por la planta; luego se colocan los medios de seguridad. Después se gira o desplaza el sistema en condición controlada para verificar libre movimiento y alineación antes de devolverlo a régimen normal.

El cierre de la intervención debe registrar pieza retirada, causa aparente del daño y repuesto instalado. Conservar la pieza fallada durante el tiempo necesario para inspección permite analizar patrones. Esta trazabilidad ayuda a distinguir entre desgaste esperado, defecto de fabricación, sobrecarga o problema del sistema. Una mejora de mantenibilidad se sostiene cuando el procedimiento puede repetirse con recursos conocidos y cuando cada intervención genera información para la siguiente.

Tabla 7. Secuencia estandarizada para sustitución de una baraja

Paso	Acción	Control crítico
1	Autorizar parada y bloquear energías	Confirmar condición segura del conductor
2	Limpiar y acceder a la fijación	Visibilidad completa de pernos y tuercas
3	Preparar herramienta y repuesto	Evitar búsqueda durante la intervención

4	Liberar elementos de seguridad y fijadores	Sostener la pieza para evitar carga súbita
5	Retirar la baraja dañada	No golpear cadena ni catalinas
6	Inspeccionar puntos de unión	Verificar agujeros, eslabones y superficies de apoyo
7	Instalar y alinear repuesto	Montaje libre, sin forzar geometría
8	Asegurar fijaciones	Restituir tuercas o dispositivos de seguridad
9	Verificar recorrido controlado	Ausencia de interferencias y ruido anormal
10	Registrar intervención	Identificar pieza, causa y observaciones

3.13 Gestión de repuestos, herramientas y tiempo de respuesta

El A3-Kaizen reconoce que una parte del tiempo perdido no provenía de la operación mecánica en sí, sino de la disponibilidad de herramientas y personal. La instalación de una caja de herramientas junto al transportador elimina traslados innecesarios y reduce incertidumbre. La selección de herramientas debe corresponder al sistema de fijación real e incluir elementos de respaldo para situaciones como corrosión, suciedad o fijadores difíciles.

El inventario de repuestos debe mantener una cantidad compatible con la criticidad del conductor y con el tiempo de fabricación de nuevas unidades. La fotografía de producción seriada indica que el proyecto ya avanzó en esta dirección. Almacenar barajas terminadas permite que una falla se resuelva mediante sustitución, dejando la reparación de la pieza retirada para un momento posterior. Esta separación entre recuperación del equipo y reparación del componente mejora la disponibilidad.

La gestión de herramientas y repuestos debe incluir inspección periódica. Un equipo eléctrico descargado, un dado faltante o una baraja almacenada con una perforación incorrecta no cumplen su función cuando ocurre la emergencia. La lista de preparación debe verificar estado, ubicación y accesibilidad. Esta disciplina operacional

parece sencilla, pero forma parte del objetivo original de reducir el tiempo de intervención.

Los estudios de mantenimiento de transportadores confirman la importancia de intervenir los componentes críticos con una estrategia definida. Marimin y Zulna (2022) demostraron que la programación preventiva sobre equipos de fuel conveyor mejora indicadores de confiabilidad. Aunque los componentes analizados son distintos, la enseñanza es aplicable: disponibilidad se obtiene combinando diseño robusto, repuestos, inspección y tiempos de respuesta controlados.

3.14 Seguridad durante inspección y mantenimiento

La facilidad de mantenimiento nunca debe interpretarse como autorización para intervenir el transportador en movimiento. Toda operación que implique contacto con barajas, cadena o puntos de atrapamiento requiere aislamiento de energía y verificación de condición segura. La mejora de acceso a fijaciones reduce tiempo una vez que el equipo está bloqueado, pero no elimina las medidas de seguridad asociadas con partes móviles.

La inspección visual en operación debe realizarse desde posiciones protegidas y sin introducir manos, herramientas o dispositivos en la trayectoria. Cuando un hallazgo requiere aproximación, el equipo debe detenerse. Esta separación entre observación operacional e inspección física evita que la presión por reducir tiempo de parada genere prácticas inseguras. El diseño mantenible debe facilitar el trabajo seguro, no incentivar intervenciones improvisadas.

Durante la sustitución, el peso y la forma alargada de la baraja exigen control de manipulación. La pieza debe sostenerse para evitar caída o giro inesperado cuando se libera la fijación. Si la posición obliga a trabajar en altura o dentro de una estructura, se aplican los requisitos adicionales de acceso y protección de la planta. La planificación debe contemplar estas condiciones antes de iniciar el desmontaje.

La seguridad se fortalece con estandarización. Cuando el personal conoce el procedimiento, la ubicación de herramientas y la secuencia de bloqueo, disminuye la improvisación. La capacitación prevista en el proyecto A3 cumple una doble función: ampliar la capacidad de respuesta y asegurar que esa respuesta se ejecute con un método común. En el libro, esta dimensión se integra al funcionamiento porque una invención industrial debe poder utilizarse de manera segura y repetible.

3.15 Aprendizaje operacional y mejora continua

La ruta de seguimiento documentada en el A3 muestra que el proyecto mantuvo una fase de aprendizaje después de implementar las contramedidas. Esta práctica permite distinguir entre una mejora que funciona en papel y una mejora que se integra al sistema. Los recorridos por turno generan observaciones sobre comportamiento, acceso, limpieza y coordinación. Con el tiempo, estos datos pueden justificar cambios menores de procedimiento sin alterar la esencia del diseño.

El aprendizaje debe preservar la trazabilidad de modificaciones. Si el taller cambia una dimensión, agrega material o modifica una perforación para resolver un problema puntual, esa decisión debe registrarse. De lo contrario, la serie puede fragmentarse en variantes no controladas. El diseño protegido y el diseño realmente utilizado deben mantener coherencia suficiente para que la documentación conserve valor técnico y jurídico.

La mejora continua no significa modificar permanentemente la pieza. También puede consistir en mejorar inspección, almacenamiento, herramientas o capacitación. Cuando una geometría ya cumple la función prevista, la estabilidad del estándar es valiosa. La revisión debe centrarse en evidencias de falla o en cambios de condición de operación, no en introducir complejidad sin una necesidad identificada.

3.16 Trazabilidad fotográfica y registro de condición

Las fotografías entregadas constituyen una fuente técnica porque muestran el componente en distintas etapas: instalado, comparado con versiones anteriores y fabricado en serie. Para que esa evidencia conserve valor, conviene registrar fecha, ubicación, identificación de la unidad y propósito de la imagen. Una fotografía aislada demuestra apariencia, pero una secuencia documentada permite observar evolución.

El registro fotográfico debe buscar ángulos repetibles. Vista general, detalle de cargadora, aleta con refuerzo y zona de soldadura cubren la mayor parte de los rasgos. Cuando aparece una falla, se añade una escala o referencia para estimar deformación. Estas imágenes pueden enlazarse con la orden de trabajo y con la unidad retirada, facilitando análisis posterior.

La fotografía de las unidades verdes demuestra capacidad de fabricación múltiple, mientras la imagen del conductor confirma integración en el sistema. Juntas, ofrecen una narrativa técnica completa: diseño, fabricación e instalación. Esta secuencia resulta especialmente útil para la memoria de propiedad industrial porque demuestra que la

solución posee aplicación industrial y que la descripción puede acompañarse de realizaciones concretas.

3.17 Mantenimiento centrado en confiabilidad y análisis de riesgo

El mantenimiento centrado en confiabilidad propone seleccionar tareas según función, modo de falla, consecuencia y capacidad de detección. Aplicado a la baraja, la función es transportar bagazo manteniendo geometría y conexión con la cadena. Los modos de falla principales son deformación, fisura, desgaste y pérdida de fijación. Sus consecuencias pueden avanzar desde reducción de eficiencia hasta descarrilamiento y parada del sistema. Esta estructura permite justificar por qué ciertas inspecciones deben ser frecuentes.

Marimin y Zulna (2022) utilizaron RCM en un fuel conveyor y mostraron que identificar componentes críticos y programar mantenimiento puede mejorar confiabilidad. Naidoo et al. (2022) llegaron a conclusiones compatibles al analizar estrategias de mantenimiento en transportadores de graneles. Estos estudios no sustituyen los datos de la planta, pero respaldan el criterio de que la estrategia de mantenimiento debe construirse alrededor de consecuencias y patrones reales de falla.

Una matriz de riesgo sencilla puede clasificar cada modo según probabilidad y consecuencia. El descarrilamiento tiene una consecuencia alta por el tiempo de indisponibilidad documentado; el aflojamiento inicial puede tener una probabilidad mayor pero una consecuencia menor si se detecta temprano. Esta diferenciación ayuda a priorizar inspecciones y repuestos. El objetivo no es asignar valores sin evidencia, sino crear una lógica de decisión que pueda alimentarse con el historial del conductor.

La evolución hacia mantenimiento predictivo puede incorporar medición de vibración, corriente de accionamiento o monitoreo de condición de cadena si la instalación lo justifica. El estudio de estimación de vida útil en cadenas transportadoras de 2022 muestra el potencial de estas herramientas en sistemas donde una falla provoca paradas significativas. Para la baraja, el primer nivel sigue siendo la inspección visual y geométrica; tecnologías adicionales deben incorporarse cuando aporten una decisión concreta de mantenimiento.

Capítulo 4. Sustento científico, estado de la técnica y protección industrial

4.1 Fundamento científico del manejo de biomasa

La literatura sobre biomasa coincide en que su transporte exige considerar propiedades distintas de las de un sólido granular ideal. Cheng et al. (2021) revisaron métodos de caracterización del flujo de feedstocks de biomasa y destacaron la influencia de propiedades del material, condiciones ambientales y parámetros de proceso en la confiabilidad del manejo. Lu et al. (2021) mostraron que la compresibilidad de partículas de biomasa afecta su comportamiento de flujo. Miao et al. (2014), al estudiar transporte de biomasa molida en un auger comercial, encontraron que la baja densidad aparente puede limitar la eficiencia y que la predicción del desempeño requiere variables físicas adicionales. Estos trabajos no evalúan una baraja de bagazo, pero explican por qué la ingeniería de transporte de biomasa debe diseñarse para cargas no uniformes, material compresible y variabilidad de flujo.

Hugot (1986) constituye una referencia específica para ingeniería azucarera y dedica un capítulo al feeding of mills and conveying of bagasse. La importancia de esa fuente radica en que sitúa el transporte de bagazo como parte integral de la operación del ingenio. El desarrollo analizado en este libro se inserta en ese campo: no modifica el proceso de combustión ni la composición del bagazo, sino el mecanismo que mantiene su desplazamiento horizontal hacia equipos aguas abajo. La contribución técnica se encuentra en un componente de arrastre diseñado para conservar geometría y facilitar mantenimiento en un entorno donde el material transportado es fibroso, irregular y potencialmente acumulativo.

4.2 Diseño mecánico, flexión, uniones y vibración

La explicación del rediseño puede sustentarse con principios clásicos de diseño mecánico. La flexión de una placa sometida a carga depende del momento aplicado, de la geometría de la sección y del material. El arriostamiento mediante nervios y barras reduce la libertad de deformación y modifica la trayectoria resistente. Las uniones atornilladas necesitan conservar precarga y controlar movimiento relativo. Las soldaduras deben transmitir esfuerzo sin introducir discontinuidades críticas. Budynas y Nisbett (2020) tratan estos temas en capítulos separados sobre carga y esfuerzo, rigidez, uniones no permanentes y soldadura. El proyecto integra varios de esos

principios en una pieza de taller que no pretende ser sofisticada, sino robusta y mantenible.

El concepto de momento en la unión también aparece en el estado de la técnica de transportadores. Edmondson (1992) explicó que una fuerza sobre un flight puede generar un momento proporcional a la distancia entre la base del attachment y el punto de contacto, provocando esfuerzos de corte. Su solución redujo ese brazo mediante receptáculos de geometría específica. El A3-Kaizen utilizó el mismo principio físico para justificar el cambio de cargadoras a 0°. La similitud está en el problema mecánico general; la implementación y el contexto difieren.

4.3 Patentes comparables

La revisión de patentes permite ubicar el proyecto dentro de una familia tecnológica amplia de conveyors de cadena, flights y scrapers. Maag y Straub (1986) describieron un attachment removable para flight conveyor que incorpora brazos laterales y, en algunas reivindicaciones, un nervio triangular de refuerzo. Edmondson (1992) desarrolló un chain and flight conveyor cuyo sistema de unión busca reducir el brazo de momento y permitir sustitución del flight sin alterar la posición normal de las cadenas. Walker y Stewart (2019) describieron un chain conveyor con flight bars removibles para disminuir el costo de mantenimiento de componentes desgastados. Mizuno, Hikasa y Jantabandit (2021) propusieron un flight conveyor capaz de transportar bagazo mediante una cadena sin fin y múltiples placas de arrastre.

Estos antecedentes muestran que no sería correcto presentar como novedosa, de manera aislada, la existencia de una aleta, un nervio o una unión desmontable. El interés del desarrollo está en la combinación específica que surgió del problema de planta: tubo de 2 pulgadas, distribución de aletas y refuerzos según el plano suministrado, cargadoras reorientadas respecto de la configuración previa, fijación preparada para intervención rápida, uso de tuercas de seguridad y adaptación al conductor horizontal de las calderas 10 y 11. La eventual protección deberá definirse sobre rasgos concretos que no estén anticipados por los documentos anteriores.

Tabla 8. Antecedentes comparables del estado de la técnica

Antecedente	Aporte relevante	Relación con el proyecto
Maag & Straub, US4573568A, 1986	Attachment removable con ribs triangulares de refuerzo	Confirma que el refuerzo triangular es conocido; la diferenciación debe estar en la combinación geométrica y de fijación.
Edmondson, US5088594A, 1992	Reducción del brazo de momento y sustitución de flights	Relaciona geometría de unión, momento y mantenibilidad, tema también abordado por el A3.
Walker & Stewart, US10414594B2, 2019	Flight bars removibles y cadena reconstruible	Antecedente de mantenibilidad y sustitución individual.
Mizuno et al., WO2021193933A1, 2021	Flight conveyor para transporte de bagazo	Antecedente específico de bagazo y placas de arrastre en cadena sin fin.

4.4 Diferenciación técnica del desarrollo

La comparación con el estado de la técnica debe realizarse con cuidado. El proyecto no se sustenta en la idea genérica de un flight conveyor, porque esa tecnología existe desde hace décadas. Tampoco puede descansar únicamente en el uso de nervios, porque hay patentes que describen refuerzos. Su identidad técnica está en la forma concreta en que se resolvió un problema documentado: una baraja tubular de dimensiones definidas, equipada con once elementos de arrastre y refuerzos asociados, extremos de cargadora adaptados al sistema existente, corrección de la referencia angular frente al diseño previo y fijación preparada para una intervención más rápida. A ello se suma la normalización de materiales y la fabricación seriada visible en las fotografías.

La utilidad industrial es directa. La pieza está concebida para integrarse en un conductor horizontal existente, puede fabricarse con materiales comerciales y su mantenimiento utiliza herramientas de taller conocidas. La fotografía de varias unidades terminadas demuestra repetibilidad constructiva. Desde la perspectiva de propiedad industrial, la evaluación de novedad y nivel inventivo corresponderá a la autoridad y deberá apoyarse en una búsqueda más exhaustiva, pero el libro ya aporta una base técnica ordenada: define problema, configuración, materiales, funcionamiento y antecedentes comparables. Esta sistematización es precisamente la que permite preparar una memoria de protección coherente sin confundir la pieza real con conceptos que no pertenecen al proyecto.

4.5 Aplicación industrial y utilidad

La aplicación inmediata es el transporte horizontal de bagazo asociado con calderas en instalaciones azucareras o energéticas que utilicen este residuo como combustible. El diseño puede resultar pertinente en otros transportadores con geometría compatible, pero su descripción en esta obra permanece vinculada al sistema documentado. La utilidad se manifiesta en tres planos: resistencia frente a deformación

de las aletas, estabilidad de la unión frente a vibración y facilidad de mantenimiento. Cada uno responde a una causa identificada en el A3, lo que fortalece la relación entre problema y solución.

La construcción con perfiles y platinas comerciales también favorece la adopción. No se requiere un proceso de fabricación exótico ni materiales de difícil acceso. El taller puede cortar, presentar, soldar, perforar y proteger las piezas utilizando recursos convencionales. La industrialización, en este contexto, no significa producción masiva automatizada; significa capacidad de reproducir el componente con una geometría estable y disponer de unidades de repuesto. La fotografía de la serie verde muestra precisamente esa transición desde la intervención puntual hacia un conjunto normalizado de barajas.

4.6 Base documental para protección industrial

El expediente técnico que se derive de este libro cuenta con cuatro grupos de evidencia. El primero es el A3-Kaizen, que define el problema, las causas, las contramedidas y el plan de implementación. El segundo es el plano dimensional suministrado, donde aparecen medidas, materiales y detalles de extremos. El tercero es el registro fotográfico de piezas originales, unidades rediseñadas, instalación y fabricación seriada. El cuarto corresponde al soporte bibliográfico y de patentes reunido para contextualizar el desarrollo. Esta combinación permite redactar una memoria técnica centrada en la pieza real y evitar descripciones hipotéticas ajenas al proyecto.

La memoria para SENADI deberá mantener la misma coherencia terminológica que este libro: baraja, tubo central, aletas, nervios o barras de refuerzo, cargadoras, perforaciones, sistema de fijación y tuercas de seguridad. Las reivindicaciones deberán construirse sobre características verificables de la pieza y no sobre ventajas genéricas. También será necesario identificar correctamente a las personas que aportaron al concepto inventivo, dado que el A3 reconoce un equipo de trabajo y asigna responsabilidades de diseño y construcción. La autoría del libro y la condición de inventor son conceptos distintos y deben tratarse con precisión documental.

4.7 Conclusiones técnicas

El proyecto resuelve un problema industrial definido mediante una modificación tangible del componente de arrastre. La baraja original presentaba una configuración de fijación a 45° que el equipo relacionó con mayor torque, además de susceptibilidad a pandeo y rotura bajo la fuerza de arrastre del bagazo. El rediseño corrigió la orientación de las cargadoras, incorporó refuerzos, modificó la fijación para facilitar

intervención y agregó medios de seguridad frente a vibración. El plano entregado fija una longitud total de 1825 mm y una longitud funcional de 1725 mm, y especifica materiales comerciales que fueron llevados a fabricación.

La evidencia fotográfica permite comprobar que la solución fue construida en múltiples unidades y que existe correspondencia entre el plano, la geometría final y el entorno de aplicación. La literatura técnica respalda los principios utilizados: transporte mecánico de sólidos, variabilidad de flujo de biomasa, rigidez, control de momento y mantenimiento de uniones. Las patentes revisadas muestran que algunos rasgos aislados pertenecen al estado de la técnica, por lo que el valor de una eventual protección debe concentrarse en la combinación concreta desarrollada para el conductor horizontal de bagazo. Con esta base, el prototipo queda documentado como un desarrollo reproducible, funcionalmente definido y sustentado por evidencia técnica suficiente para preparar la memoria de propiedad industrial.

4.8 Evidencia científica reciente sobre comportamiento de biomasa

La literatura publicada durante los últimos años refuerza la idea de que el manejo de biomasa no puede diseñarse suponiendo un material uniforme. Cheng et al. (2021) revisaron los métodos de caracterización de flujo y concluyeron que tamaño, forma, humedad, consolidación, temperatura, tiempo de reposo y geometría del equipo afectan la fluidez. Esta variedad de factores explica por qué el conductor puede experimentar condiciones cambiantes incluso sin modificar su velocidad nominal. El componente de arrastre necesita, por tanto, margen estructural frente a variación de carga.

Lu et al. (2021) abordaron la compresibilidad de partículas de biomasa mediante experimentos multiescala y modelación constitutiva. Su trabajo muestra que las relaciones esfuerzo-deformación de estos materiales no son triviales y que la respuesta al corte depende del estado de consolidación. En 2024, Lu et al. estudiaron la dependencia con la velocidad de corte en biomasa granular y mostraron diferentes regímenes de flujo. Estas contribuciones son relevantes porque permiten sustentar científicamente la existencia de cargas variables y comportamiento no lineal en materiales lignocelulósicos.

Dikici et al. (2024) evaluaron características de flujo de biomasa molida y cortada para aplicaciones industriales y destacaron la necesidad de datos confiables para el diseño de almacenamiento y equipos de proceso. Aunque el bagazo de caña posee propiedades particulares, la conclusión general se mantiene: la geometría del equipo debe responder a propiedades reales del material. En el proyecto estudiado, el rediseño

nació de observaciones directas de pandeo y descarrilamiento, lo que representa una forma práctica de adaptar el componente a su contexto de servicio.

El trabajo de Gomes et al. (2021) sobre alimentación de biomasa en transporte neumático confirma que las características físicas del material pueden producir problemas operacionales durante el transporte. El mecanismo es distinto al conductor de cadena, pero la dificultad fundamental es comparable: el comportamiento del material condiciona estabilidad del proceso. Estas referencias modernas complementan la literatura clásica de ingeniería azucarera y permiten actualizar el sustento del libro sin desplazar la evidencia específica del proyecto.

4.9 Flujo, degradación de material y condiciones de transporte

El transporte no solo afecta al equipo; el equipo también modifica el material. En sistemas neumáticos, la degradación de partículas puede generar polvo y cambiar la distribución granulométrica. Una revisión de 2023 sobre degradación de biomasa en transporte destaca que las interacciones entre material, velocidad y geometría condicionan este fenómeno. En un conductor horizontal de bagazo, la energía de contacto es menor que en transporte neumático, pero la idea de interacción bidireccional sigue siendo útil: acumulaciones, compactación y fricción dependen de la forma en que la baraja empuja el material.

El diseño de la aleta debe evitar zonas que atrapen excesivamente el bagazo y eleven la resistencia. Al mismo tiempo, necesita superficie suficiente para transmitir empuje. El compromiso se resuelve mediante geometría simple y repetitiva, sin cavidades complejas. La pieza documentada utiliza perfiles y barras abiertas que facilitan limpieza visual y no dependen de superficies cerradas difíciles de inspeccionar. Esta sencillez resulta coherente con el ambiente de proceso, donde la acumulación de fibra puede ocultar daño.

La degradación de la propia baraja también depende del material transportado. Partículas minerales mezcladas con bagazo pueden incrementar abrasión; la humedad puede favorecer corrosión; acumulaciones localizadas pueden elevar carga. Por eso el control de condición debe interpretar el estado de la pieza junto con el material y el proceso. Un aumento de desgaste no siempre indica defecto de fabricación; puede reflejar un cambio en alimentación o contaminación.

La literatura actual sobre flujo de biomasa contribuye a fundamentar esta visión sistémica. Ningún modelo de flujo elimina la necesidad de observación en campo. El valor del proyecto reside precisamente en haber traducido una condición real de operación en cambios geométricos y de mantenimiento. La ciencia externa explica por

qué esa condición es plausible y por qué la respuesta debe considerar variabilidad, mientras las fotografías y el A3 documentan cómo se manifestó en la instalación.

4.10 Fallas y mantenimiento de transportadores en literatura 2022-2025

Los estudios recientes sobre transportadores muestran que la disponibilidad depende de una relación estrecha entre diseño y mantenimiento. Naidoo et al. (2022) analizaron fallas en sistemas de transporte de materiales a granel y relacionaron la estrategia de mantenimiento con pérdidas de capacidad y vida útil. Su conclusión de verificar diseño y condiciones de carga resulta pertinente para el presente caso, donde el rediseño surge precisamente después de observar que la configuración original favorecía deformación y tiempos prolongados de intervención.

Bortnowski et al. (2022) revisaron tipos y causas de daño en bandas transportadoras y destacaron la necesidad de seleccionar métodos de monitoreo adecuados al modo de falla. Aunque la baraja no es una banda, el principio metodológico se aplica: cada falla exige un indicador. La deformación se controla geométricamente, las soldaduras se revisan visualmente, la fijación se verifica por condición de apriete y las anomalías de cadena se observan durante el recorrido. Un programa genérico de inspección perdería eficacia si no distingue estos mecanismos.

Shahin et al. (2022) documentaron un caso de falla de eslabón de cadena y mostraron la utilidad de integrar examen visual, metalurgia y condiciones de servicio. Esta perspectiva resulta importante porque una falla del conductor no debe atribuirse automáticamente a la pieza que termina rompiéndose. Las cargas transmitidas entre barajas, eslabones y catalinas pueden redistribuirse. El proyecto de rediseño busca precisamente impedir que la deformación de la baraja se convierta en una condición que dañe otros componentes.

En 2025, Čabaníková y Ambriško analizaron fallas de transportadores mediante una matriz de riesgo aplicada a datos de mantenimiento de 2022 a 2024. Su estudio subraya la utilidad de combinar frecuencia y duración de intervenciones para identificar equipos de mayor riesgo operacional. Este enfoque ofrece una línea de continuidad para la gestión futura del conductor: el historial de cambios de baraja, descarrilamientos y tiempos de recuperación puede utilizarse para revisar periodicidad de inspección y cantidad de repuestos.

4.11 Estado de la técnica en transportadores de flights y scrapers

El estado de la técnica muestra múltiples soluciones para unir elementos de arrastre a cadenas y reforzar sus brazos. US4573568A describe un attachment removable para flight conveyor y contempla ribs que refuerzan los brazos laterales, incluso con geometría triangular. Esta referencia confirma que el refuerzo por nervios es conocido y que no debe reivindicarse de forma aislada como la esencia de la solución desarrollada para bagazo.

US5088594A aborda un chain and flight conveyor donde las fuerzas sobre el flight pueden generar un momento en el attachment link y donde el diseño busca facilitar el reemplazo sin alterar la posición normal de la cadena. El documento es especialmente relevante porque reconoce dos problemas presentes también en el proyecto: el momento generado por la fuerza aplicada y la dificultad de reemplazo. Sin embargo, su arquitectura, sector de aplicación y geometría de conexión son diferentes.

Otros antecedentes muestran attachments removibles, superficies de apoyo y sistemas para limitar inclinación o desgaste. La revisión demuestra que los transportadores de flights han sido objeto de numerosas mejoras a lo largo del tiempo. Por ello, la protección del presente desarrollo debe apoyarse en la combinación concreta de características y en su aplicación funcional, no en términos genéricos como “baraja reforzada” o “fijación rápida”.

La búsqueda de anterioridades también ayuda a redactar el libro con mayor precisión. Permite separar principios conocidos de decisiones específicas del proyecto. Los nervios son conocidos; las uniones desmontables son conocidas; las cadenas transportadoras son conocidas. La contribución debe describirse como una configuración determinada de tubo, aletas, refuerzos, cargadoras reorientadas, dimensiones y mantenibilidad desarrollada para resolver el problema documentado en el conductor de bagazo.

4.12 Comparación de antecedentes y diferenciación técnica

Comparar patentes no significa buscar una pieza idéntica, sino identificar qué rasgos ya fueron divulgados y cuáles permanecen asociados con una combinación específica. US4573568A aporta el antecedente de nervios de refuerzo; US5088594A aporta el análisis de momento y reemplazo de flights; otros documentos de la misma familia muestran conexiones desmontables. El proyecto de bagazo se distingue por la forma particular en que integra estos objetivos con cargadoras a 0°, tubo longitudinal,

once aletas, barras de refuerzo y una estrategia de intervención en una instalación energética.

La diferenciación también se apoya en la evidencia de implementación. El diseño no se presenta como una posibilidad teórica, sino como un componente fabricado en serie y aplicado dentro del conductor. La memoria técnica puede utilizar las fotografías y el plano para describir una realización concreta. Esta condición favorece la aplicación industrial, uno de los requisitos básicos de la protección por patente o modelo de utilidad.

La modalidad de modelo de utilidad merece especial atención porque SENADI la define para mejoras funcionales o estructurales basadas en una nueva disposición, forma o combinación que proporciona una ventaja técnica o práctica. El proyecto corresponde conceptualmente a una modificación de un elemento conocido para mejorar resistencia y mantenibilidad. La clasificación definitiva dependerá de la búsqueda completa y de la redacción de reivindicaciones, pero el libro ya reúne los elementos técnicos necesarios para sustentar esa evaluación.

La estrategia de protección debe evitar exageraciones. No es necesario afirmar que ningún transportador previo utilizó refuerzos o fijaciones rápidas. Basta con describir qué combinación específica se desarrolló, cómo resuelve el problema y qué diferencias pueden demostrarse frente a los documentos más cercanos. Esta aproximación produce una memoria más robusta y coherente con la función de las reivindicaciones.

Tabla 9. Matriz comparativa de antecedentes de propiedad industrial

Documento	Rasgo relevante	Relación con el proyecto	Diferenciación principal
US4573568A	Flight attachment removible con nervios de refuerzo	Confirma que el uso de ribs en flights es conocido	Geometría, material, sistema de cargadoras y aplicación en bagazo son diferentes
US5088594A	Unión de flights a cadena y reducción de momento; reemplazo sin	Comparte preocupación por momento y mantenibilidad	Arquitectura de conexión y sector de minería distintos

	reposicionar cadena		
AU617619B2 / familia	Flight removible y links de cadena especializados	Antecedente de reemplazo modular	No presenta la configuración tubular con aletas repetitivas del proyecto
Proyecto A3- Kaizen	Reorientación a 0°, nervio, fijación accesible y tuercas de seguridad	Base técnica directa del desarrollo	Combinación aplicada a conductor horizontal de bagazo y serie fabricada

4.13 Novedad técnica como combinación funcional

En ingeniería mecánica, muchas innovaciones se construyen a partir de elementos previamente conocidos. La novedad puede encontrarse en la disposición o cooperación entre ellos cuando produce un resultado funcional diferente. El proyecto reúne un cuerpo tubular, aletas, refuerzos, cargadoras y fijadores, componentes que por separado no son nuevos. La evaluación debe centrarse en cómo se organizan, qué relación dimensional mantienen y qué problema técnico resuelven en conjunto.

La reorientación de la cargadora modifica la relación entre la fuerza transmitida y la base; los refuerzos cambian la rigidez de las aletas; la fijación accesible reduce operaciones de mantenimiento; las tuercas de seguridad atienden la vibración; la serie de repuestos reduce tiempo de espera. La ventaja no proviene de una sola característica. Esta cooperación puede ser especialmente pertinente para un modelo de utilidad, donde la nueva forma o combinación debe aportar una ventaja técnica o práctica.

La memoria técnica debe expresar esta cooperación sin depender del lenguaje del A3. El A3 es evidencia de origen y funcionamiento, pero la solicitud necesita una descripción autónoma que permita a una persona capacitada reproducir la pieza. El presente libro desarrolla dimensiones, materiales, fabricación, operación y mantenimiento precisamente para crear esa base descriptiva.

4.14 Aplicación industrial y reproducibilidad

La aplicación industrial está respaldada por la existencia de unidades fabricadas y por la integración del componente en el conductor. Las fotografías muestran varias barajas con geometría repetida, acabadas y preparadas para uso. El plano identifica materiales comerciales y dimensiones, lo que permite reproducir la pieza en un taller metalmecánico con procesos habituales de corte, perforado y soldadura.

La reproducibilidad no exige que cada unidad sea idéntica a nivel microscópico, sino que conserve los rasgos funcionales descritos. La memoria puede admitir variaciones de espesor o material cuando no alteren el principio, pero debe definir con claridad los elementos esenciales. En este caso, la relación entre tubo, aletas reforzadas y extremos de fijación constituye el núcleo físico de la realización.

La utilidad práctica se vincula con mantener la continuidad de transporte y facilitar la recuperación ante daño. Estos beneficios son comprensibles a partir del problema documentado, incluso sin atribuir cifras no verificadas. El tiempo de descarrilamiento y cambio registrado en el A3 establece la criticidad inicial; la existencia de repuestos y un sistema de fijación adaptado demuestra que el rediseño se orientó directamente a reducir esa vulnerabilidad.

4.15 Documentación requerida para protección industrial

La guía vigente de SENADI para solicitudes de patentes y modelos de utilidad identifica como documentos centrales la memoria técnica, las reivindicaciones y los dibujos. La memoria debe describir la invención de manera suficientemente clara y completa para que una persona capacitada pueda comprenderla y ejecutarla. Las reivindicaciones delimitan aquello que se pretende proteger y los dibujos contribuyen a explicar la configuración. Esta estructura coincide con la organización técnica desarrollada en el libro.

El expediente debe mantener consistencia entre título, descripción, signos de referencia y dibujos. Si una pieza se denomina “cargadora” en el texto, conviene conservar la misma denominación en las figuras y reivindicaciones o introducir formalmente un término equivalente. La estabilidad terminológica reduce ambigüedad. Del mismo modo, las dimensiones del ejemplo de realización deben coincidir con el plano y la lista de materiales.

La búsqueda del estado de la técnica debe preceder al cierre de las reivindicaciones. SENADI recomienda localizar documentos relacionados para obtener

una idea de la novedad de la creación. El análisis incluido en este capítulo constituye una base inicial con patentes relevantes, pero la memoria final debe traducir esa información en una redacción de alcance técnico precisa. El libro cumple una función de sustento: reúne antecedentes, funcionamiento, fabricación y evidencia de aplicación en un único documento coherente.

4.16 Trazabilidad entre evidencia del proyecto y memoria técnica

La fortaleza documental del desarrollo puede representarse como una cadena de evidencia. El A3 identifica problema y contramedidas; el plano define geometría y materiales; las fotografías muestran configuración, fabricación en serie e instalación; la literatura explica principios mecánicos y de transporte; las patentes delimitan antecedentes. La memoria técnica puede apoyarse en todos estos elementos para describir qué se hizo y por qué funciona.

Esta trazabilidad también ayuda a resolver dudas sobre versiones. Cuando una fotografía muestra una pieza distinta, debe identificarse como anterior, rediseñada o variante. El libro diferencia el diseño inicial y el corregido y evita usar representaciones que no correspondan al proyecto. La coherencia visual será especialmente importante en los dibujos de SENADI, donde una vista inconsistente con la descripción puede generar observaciones.

El registro de autores y participantes debe mantenerse separado de la definición técnica de la invención. El A3 documenta un equipo con responsabilidades distribuidas. La determinación formal de inventores debe basarse en la contribución al concepto que finalmente quede reivindicado. El libro reconoce el antecedente colectivo y presenta el diseño como producto de un proceso técnico documentado.

4.17 Síntesis técnica final

La baraja reforzada responde a un problema industrial definido: pandeo, roturas, descarrilamiento y demora en el cambio de componentes del conductor horizontal de bagazo. El rediseño modifica la geometría de cargadoras, agrega refuerzos, mejora el acceso a fijaciones y utiliza medios de seguridad contra aflojamiento. Estas decisiones se encuentran respaldadas por un plano, una lista de materiales y fotografías de unidades fabricadas.

La literatura reciente sobre biomasa confirma que el material transportado presenta variabilidad de flujo, compresibilidad y comportamiento dependiente de condiciones de proceso. Los estudios de confiabilidad de transportadores muestran que las fallas

pueden traducirse en pérdidas productivas y que la estrategia de mantenimiento debe vincularse con modos de daño y consecuencias. Los antecedentes de patentes demuestran que refuerzos y conexiones desmontables son conocidos, lo que obliga a describir la aportación del proyecto como una combinación específica.

Con estos elementos, el libro funciona como guía técnica integral del prototipo: explica su origen, estructura, fabricación, operación, mantenimiento, sustento científico y relación con el estado de la técnica. La siguiente etapa documental puede tomar este contenido como base para la memoria de propiedad industrial, manteniendo las figuras, las dimensiones y la terminología ya consolidadas.

4.18 Transferencia tecnológica, escalabilidad y valor documental

La transferencia tecnológica de una mejora mecánica exige que el conocimiento pueda salir del equipo que la desarrolló sin perder su lógica funcional. En este proyecto, la información esencial se encuentra distribuida entre la hoja A3, el plano dimensional, la lista de materiales, las fotografías de fabricación y los procedimientos de intervención. El libro integra estas fuentes en una secuencia común para que un técnico ajeno al proceso original pueda comprender por qué se modificó la baraja, cómo se construye, qué función cumplen sus refuerzos y de qué manera se instala y mantiene. Esta consolidación reduce la dependencia de conocimiento tácito y facilita que el diseño pueda reproducirse bajo condiciones controladas.

La escalabilidad se evidencia en la fabricación de varias unidades con la misma configuración general. Cuando una solución pasa de un prototipo aislado a una serie, aparecen exigencias adicionales: materiales disponibles de manera estable, plantillas de trazado, tolerancias de montaje, secuencia de soldadura, control de acabado y verificación final. La fotografía de las barajas verdes permite observar esa transición. La repetición geométrica demuestra que el concepto puede convertirse en repuesto estandarizado y que la organización posee capacidad práctica para producirlo más de una vez, rasgo relevante tanto para mantenimiento como para aplicación industrial.

El valor documental también reside en la posibilidad de separar claramente la evidencia histórica de la interpretación técnica. El A3 conserva las causas, objetivos y responsables; las figuras reconstruidas ayudan a explicar esos datos sin reemplazarlos; la literatura científica ofrece un marco para comprender flujo de biomasa, flexión, confiabilidad y mantenimiento; y las patentes comparables delimitan soluciones conocidas. Esta combinación permite sustentar el desarrollo sin atribuirle características

que no constan en el proyecto. La protección industrial se fortalece cuando la memoria puede mostrar una línea continua entre problema, decisión de diseño, fabricación y uso.

La aplicación en otros conductores requerirá verificar dimensiones de cadena, catalinas, artesa, paso y espacio disponible, pero no altera la lógica central de la solución. El diseño puede adaptarse manteniendo sus rasgos funcionales: cuerpo longitudinal, aletas repetitivas reforzadas, extremos de fijación orientados para reducir condiciones desfavorables de momento y medios de seguridad contra aflojamiento. Esta capacidad de adaptación es compatible con una transferencia tecnológica responsable, donde el principio se conserva y las dimensiones se ajustan al equipo receptor bajo criterios de ingeniería.

Con esta estructura, el libro supera la función de memoria histórica y se convierte en un documento técnico de referencia. El lector dispone de la explicación del problema, el fundamento de las decisiones, la geometría, los materiales, la fabricación, la operación, el mantenimiento, el estado de la técnica y la evidencia física del prototipo. Esa continuidad es precisamente la que debe mantenerse al preparar la memoria para SENADI: las reivindicaciones podrán concentrarse en los rasgos que se pretenden proteger, mientras el libro conserva el contexto técnico amplio que demuestra cómo y por qué se desarrolló la solución.

Conclusiones y recomendaciones

Propósito y objetivos de la obra

El objetivo general de este libro fue convertir la experiencia de rediseño de la baraja del conductor horizontal de bagazo en un documento técnico organizado, verificable y suficientemente detallado para explicar el problema que dio origen al proyecto, la solución construida y la lógica que sustenta su utilización.

A partir de ese propósito se definieron cuatro objetivos específicos: reconstruir la relación entre la falla original y los requerimientos de diseño; documentar la arquitectura mecánica, los materiales y el proceso de fabricación; explicar la utilización, inspección y sustitución de la pieza dentro del conductor; y reunir un estado de la técnica que permita valorar la solución frente a antecedentes científicos y de propiedad industrial.

El resultado es una base documental que conecta el A3-Kaizen, el plano, las fotografías de fabricación seriada, la operación del componente y las fuentes externas necesarias para sustentar técnicamente el prototipo.

Criterios de éxito documentados del prototipo

El éxito técnico documentado no se limita a la existencia de una pieza fabricada. La evidencia disponible muestra que el diseño llegó a una configuración dimensional definida, fue reproducido en varias unidades, incorporó cambios directamente vinculados con causas de falla identificadas y se integró con una estrategia de mantenimiento que contempla herramientas, repuestos, capacitación e inspección.

La fabricación seriada confirma que la geometría puede repetirse en taller; las fotografías del conductor muestran la integración física de las barajas con el sistema; y el plano consolida dimensiones y materiales necesarios para su reproducción. De esta manera, el prototipo cumple tres condiciones relevantes para una solución de ingeniería: responde a un problema industrial concreto, puede fabricarse de manera repetible y posee una aplicación funcional claramente identificable dentro del transporte horizontal de bagazo.

Conclusiones

La revisión integral del proyecto permite concluir que la mejora se origina en la combinación de decisiones geométricas, estructurales y de mantenimiento. La reorientación de las cargadoras modifica la condición de transferencia de carga que el A3 había asociado con un brazo de momento desfavorable; los nervios y barras de refuerzo arriostran las aletas y reducen su libertad de flexión; la estandarización

dimensional favorece la sustitución por repuestos previamente fabricados; y el sistema de fijación, acompañado por tuercas de seguridad, responde a la necesidad de intervenir con mayor accesibilidad bajo vibración y trabajo repetitivo.

La fortaleza del prototipo no reside en un solo elemento, sino en la cooperación de estas características dentro de un componente destinado a mantener el flujo de bagazo y preservar la relación geométrica entre cadena, catalinas y artesa. La evidencia física y documental reunida en la obra permite sustentar esta configuración como un desarrollo técnico reproducible y con utilidad industrial.

Recomendaciones técnicas, operativas y de protección industrial

Se recomienda conservar el plano maestro y la lista de materiales como documentos controlados de fabricación; mantener una plantilla de inspección para revisar alineación, soldaduras, perforaciones y fijaciones; utilizar repuestos fabricados con la misma referencia geométrica; registrar fotografías y fechas de cada sustitución; y conservar trazabilidad de modificaciones posteriores para evitar que cambios de taller alteren el comportamiento del conjunto.

En materia de propiedad industrial, la solución debe presentarse ante el SENADI con una memoria coherente con el prototipo fabricado, dibujos técnicos, resumen y reivindicaciones sustentadas en la búsqueda del estado de la técnica. El SENADI distingue entre patente de invención y modelo de utilidad; este último protege nuevas formas, configuraciones o disposiciones de un objeto que aporten un mejor o diferente funcionamiento, mientras la patente de invención exige novedad, nivel inventivo y aplicación industrial.

Por la naturaleza mecánica del desarrollo, resulta aconsejable tramitar formalmente la protección y definir la modalidad final después de contrastar las reivindicaciones con antecedentes cercanos, evitando divulgaciones adicionales que puedan afectar la novedad antes de la presentación.

Proyección del desarrollo

La publicación del libro cumple una función de transferencia tecnológica: transforma una experiencia de planta en conocimiento técnico estructurado y preserva la lógica que llevó desde el problema operativo hasta la solución construida. A partir de esta base pueden desarrollarse procedimientos internos de fabricación, entrenamiento para mantenimiento, fichas de repuesto normalizado y documentación para propiedad industrial.

La pieza también puede servir como referencia para estudiar mejoras posteriores de desgaste, materiales, recubrimientos o técnicas de monitoreo, siempre que esas modificaciones se documenten como desarrollos posteriores y no se confundan con la configuración aquí descrita. El valor inmediato del libro está en consolidar una memoria técnica completa del prototipo, mientras su valor futuro reside en facilitar protección, transferencia y reproducción controlada dentro de aplicaciones compatibles de transporte de biomasa.

Referencias

- Bortnowski, P., Kawalec, W., Król, R., & Ozdoba, M. (2022). Types and causes of damage to the conveyor belt—Review, classification and mutual relations. *Engineering Failure Analysis*, 140, 106520. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106520>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2020). *Shigley's mechanical engineering design* (11th ed.). McGraw-Hill Education.
- Čabaníková, L., & Ambriško, L. (2025). Failure analysis of conveyors using the RBI method. *Transport & Logistics: The International Journal*, 25(59). <https://doi.org/10.46544/TNT.v25n59.02>
- Cheng, Z., Leal, J. H., Hartford, C. E., Carson, J. W., Donohoe, B. S., Craig, D. A., Xia, Y., Daniel, R. C., Ajayi, O. O., & Semelsberger, T. A. (2021). Flow behavior characterization of biomass feedstocks. *Powder Technology*, 387, 156–180. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.04.004>
- Conveyor Equipment Manufacturers Association. (2020). *Belt conveyors for bulk materials* (7th ed., 2nd printing). CEMA.
- Dikici, B., Saad, H. A. K., & Zhao, B. (2024). Evaluating flow characteristics of ground and cut biomass for industrial applications. *Powders*, 3(3), 437–459. <https://doi.org/10.3390/powders3030024>
- Fayed, M. E., & Skocir, T. S. (1997). *Mechanical conveyors: Selection and operation*. Technomic Publishing.
- Gomes, T. L. C., Lourenço, G. A., Ataíde, C. H., & Duarte, C. R. (2021). Biomass feeding in a dilute pneumatic conveying system. *Powder Technology*, 391, 321–333. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.06.020>
- Hugot, E. (1986). *Handbook of cane sugar engineering* (3rd ed.). Elsevier.
- Lu, Y., Jin, W., Klinger, J., Saha, N., Xia, Y., & Dai, S. (2024). Shear rate dependency on flowing granular biomass material. *Powder Technology*, 442, 119834. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2024.119834>
- Lu, Y., Jin, W., Klinger, J., Westover, T. L., & Dai, S. (2021). Flow characterization of compressible biomass particles using multiscale experiments and a hypoplastic

model. Powder Technology, 383, 396–409.
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.01.027>

Marimin, M., & Zulna, N. F. (2022). Analisis interval pemeliharaan komponen kritis unit fuel conveyor dengan pendekatan Reliability Centered Maintenance (RCM). Jurnal Teknologi Industri Pertanian, 32(1), 12–20.
<https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2022.32.1.12>

Naidoo, L., Jones, J., & Sharma, V. (2022). The identification and selection of an optimised maintenance strategy for conveyor systems used in the transportation of bulk materials: A case study. South African Journal of Industrial Engineering, 33(1), 177–189. <https://doi.org/10.7166/33-1-2591>

Servicio Nacional de Derechos Intelectuales. (2025). Instructivo SENADI: Patentes—solicitud de patente. SENADI.

Servicio Nacional de Derechos Intelectuales. (2026). Requisitos para registro de patente de invención, patente de modelo de utilidad y registro de diseño industrial. SENADI.

Shahin, D. S., Khalifa, W., & Mohamed, L. Z. (2022). Analysis of a chain conveyor link failure. Journal of Failure Analysis and Prevention, 22(3), 1050–1058.
<https://doi.org/10.1007/s11668-022-01396-8>

Maag, H., & Straub, H. (1986). Chain for a flight conveyor (U.S. Patent No. 4,573,568). U.S. Patent and Trademark Office.

Edmondson, R. E. (1992). Chain and flight conveyor (U.S. Patent No. 5,088,594). U.S. Patent and Trademark Office.

Comunidad Andina. (2000). Decisión 486: Régimen común sobre propiedad industrial. Comisión de la Comunidad Andina.

Anexos

Anexo A. Documento A3-Kaizen de origen

Se reproduce la hoja A3 utilizada por el equipo para documentar el problema, la situación inicial, el objetivo, las contramedidas, el plan de implementación y el seguimiento del cambio de barajas. El documento constituye la principal fuente primaria para reconstruir la lógica del rediseño.

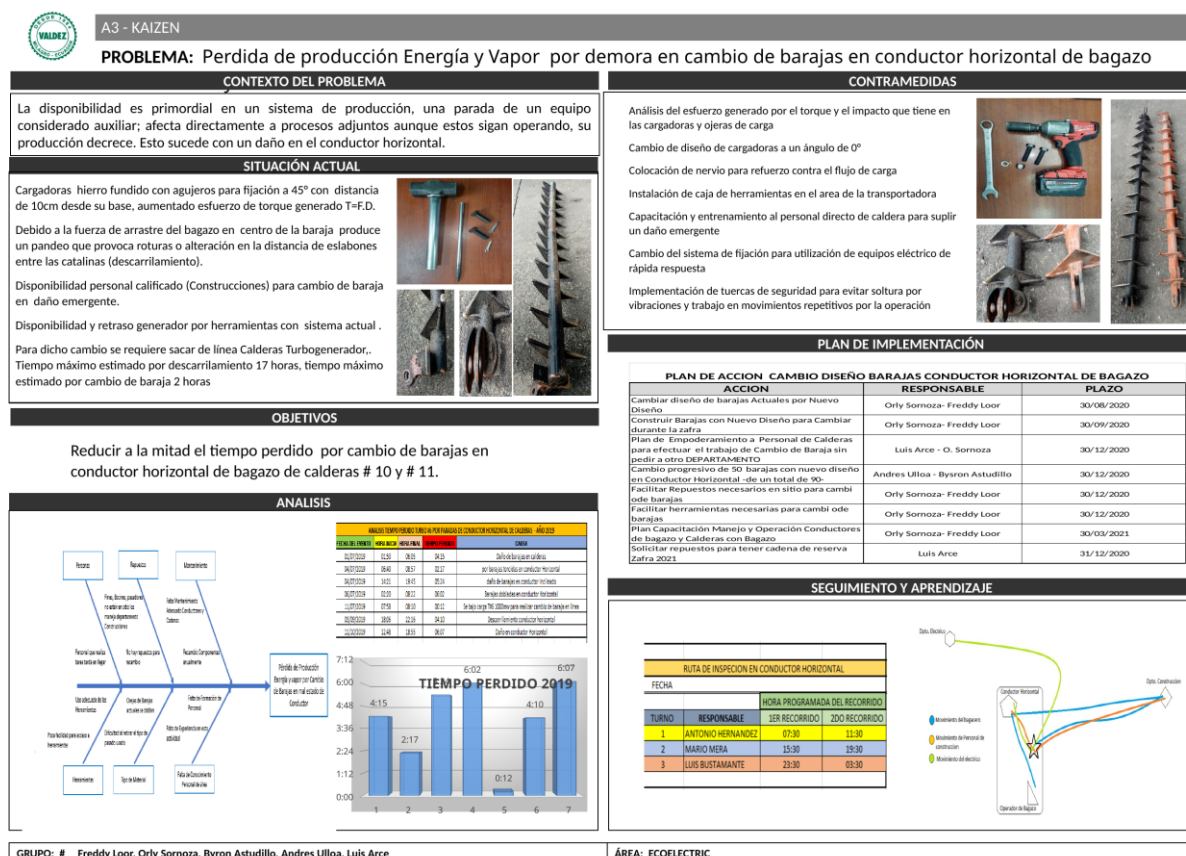


Figura 13. Hoja A3-Kaizen de origen del proyecto.

Anexo B. Plano dimensional suministrado

El plano entregado resume las dimensiones principales y la lista de materiales de la baraja para conductor horizontal. Se conserva íntegramente porque constituye evidencia directa de la configuración fabricada.

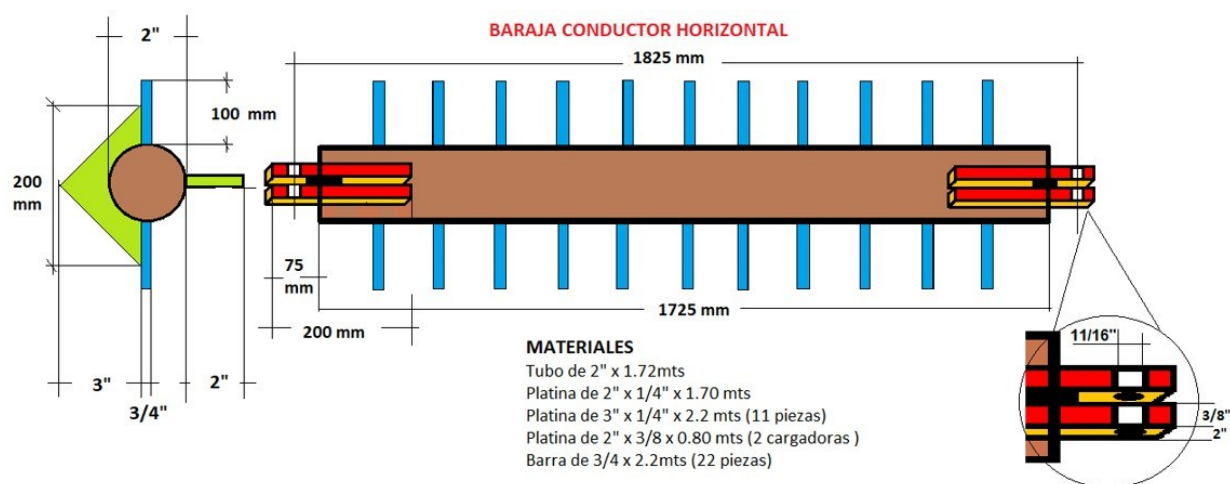


Figura 14. Plano dimensional original suministrado por el equipo.

Anexo C. Registro fotográfico de baraja instalada

La fotografía muestra la baraja dentro del conductor y permite observar su integración con la cadena, el fondo del transportador y las aletas de arrastre.



Figura 15. Baraja instalada en el conductor horizontal.

Anexo D. Comparación de piezas y detalle constructivo

El montaje fotográfico permite reconocer diferencias entre unidades y observar con mayor detalle las cargadoras, barras de refuerzo y soldaduras.



Figura 16. Comparación visual de unidades y detalles del conjunto.

Anexo E. Serie de unidades fabricadas

La imagen documenta varias barajas terminadas, alineadas y protegidas con recubrimiento verde. Su presencia confirma la repetibilidad de la fabricación.



Figura 17. Serie de unidades fabricadas.

Anexo F. Ficha técnica consolidada

Tabla 10. Ficha técnica consolidada de la baraja reforzada

Parámetro	Especificación consolidada
Aplicación	Conductor horizontal de bagazo asociado con calderas 10 y 11.
Longitud total	1825 mm.
Longitud funcional del tubo	1725 mm.
Tubo central	2 pulgadas × 1,72 m.
Altura total indicada	200 mm.
Proyección superior indicada	100 mm.
Aletas principales	11 posiciones según plano y lista de materiales.
Cargadoras	2 unidades fabricadas con platina de 2 in × 3/8 in.
Refuerzo	Nervios y barra de 3/4 in contra el flujo de carga.
Fijación	Configuración corregida a 0° y apta para intervención con herramienta eléctrica.
Seguridad	Tuercas de seguridad frente a vibración y movimientos repetitivos.
Material documental	A3-Kaizen, plano dimensional y fotografías de unidades construidas e instaladas.

Anexo G. Matriz de evidencia técnica

Tabla 11. Matriz de evidencia técnica del proyecto

Evidencia	Información que sustenta	Uso dentro del libro
A3-Kaizen	Problema, causas, tiempos, objetivo, contramedidas y responsables.	Capítulos 1, 3 y 4.
Plano dimensional	Medidas, materiales, número de piezas y geometría de extremos.	Capítulo 2 y ficha técnica.
Fotografía en conductor	Integración física del componente en el sistema.	Capítulo 3.
Comparación de piezas	Diferencias constructivas y detalles de refuerzo/fijación.	Capítulo 2.
Serie de unidades verdes	Repetibilidad y fabricación múltiple.	Capítulos 2 y 4.
Literatura científica	Fundamentos de transporte de biomasa y sólidos a granel.	Capítulos 1 y 4.
Patentes	Estado de la técnica de flights, scrapers y fijaciones.	Capítulo 4.

Colofón

Esta edición técnica fue organizada en cuatro capítulos para presentar, de manera continua, el problema industrial, el diseño mecánico, la operación de la baraja y su sustento científico y tecnológico. La redacción se reconstruyó a partir del documento A3-Kaizen, el plano dimensional, las fotografías suministradas y fuentes bibliográficas verificables. Las figuras y tablas se integraron junto al contenido que explican con el propósito de evitar páginas vacías y conservar una lectura técnica fluida. Ecuador, 2026.

Sobre la obra

Esta obra documenta el diseño, la construcción, la operación y el sustento técnico de la baraja reforzada para conductor horizontal de bagazo, desarrollada como respuesta a un problema real de mantenimiento y disponibilidad en sistemas asociados a calderas. A partir del diagnóstico de fallas recurrentes, el libro explica la lógica del rediseño, la configuración geométrica de la pieza, los materiales empleados, el comportamiento funcional del prototipo y las ventajas operativas observadas en servicio. Asimismo, integra criterios de ingeniería mecánica, mantenimiento industrial y protección de la propiedad industrial, con el propósito de ofrecer una base técnica sólida para la comprensión del prototipo y su eventual defensa como desarrollo aplicable en el sector agroindustrial.



Contenido central

- Contexto técnico del problema y necesidad del rediseño
- Diseño arquitectónico, plano y prototipo fabricado
- Funcionamiento, instalación, operación y mantenimiento
- Sustento técnico y proyección para protección industrial

Autor

Ing. Luis Arce Yépez

Edición técnica • Ecuador 2026



Liveworking
EDITORIAL

ISBN: 978-9907-851-00-7



9 789907 851007