Universidad Técnica Federico Santa María

Departamento de Ingeniería Mecánica

Levantamiento y Propuesta de Optimización del Proceso de Reparación de Componente Crítico Caterpillar en Empresa de la Tercera Región Usando Metodologías de Mejoramiento Continuo

MAURICIO VICENTE HIDALGO CORTES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA : PEDRO SARIEGO P.

PROFESOR CORREFERENTE : ANDRÉS BREGANTE B.

ENERO 2025

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): × ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Optimización del Proceso de Reparación de Componentes Críticos de Maquinaria Pesada Utilizando Metodología de Mejora Continua para Empresa de Servicios de la Región de Atacama.

Nombre del candidato(a): Mauricio Vicente Hidalgo Cortés

Carrera / Grado: Ingeniería Civil Mecánica

Campus: Casa Central **Departamento:** Ingeniería Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, PEDRO SARIEGO PASTEN, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por **(marcar una opción)**:

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 24 - 08 - 2026 **Firma:**

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 24 - 08 - 2026 **Firma:**

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Agradecimientos

Este trabajo marca el cierre de una etapa fundamental, un logro que comparto plenamente con quienes me han acompañado y sostenido durante el proceso.

En primer lugar, a mi familia. A pesar de los kilómetros que nos separan, su presencia se ha sentido cercana en cada paso de este camino. Les agradezco profundamente por ser mi fuente de motivación y por enviarme siempre la fuerza necesaria para no decaer ante la adversidad. Su apoyo constante, que trasciende cualquier distancia física, ha sido el motor que me ha impulsado a perseverar y a culminar este desafío.

A mi pareja, compañera de vida. Te agradezco la valentía de embarcarnos juntos en esta aventura universitaria, enfrentando el desafío de construir un hogar y convivir día a día en una ciudad nueva donde no conocíamos a nadie. Gracias por apoyarme y por tu paciencia durante las largas jornadas que requirió este trabajo.

A la familia de mi pareja, por abrirme las puertas de su hogar y hacerme sentir parte de él. Quiero expresar mi más sincera gratitud por su generosidad, su cariño y, muy especialmente, por su enorme comprensión durante este exigente periodo de finalización de estudios. Gracias por su paciencia, por entender mis tiempos y por brindarme el respaldo necesario para concentrarme en esta meta.

A mis amigos y compañeros, con quienes compartí esta travesía. De la universidad me llevo mucho más que conocimientos; me llevo los mejores recuerdos. Agradezco cada trabajo realizado en equipo, las interminables horas de estudio en la biblioteca y aquellas llamadas a deshoras para resolver problemas, que hicieron de la carga académica una experiencia compartida y memorable.

Finalmente, mi sincero agradecimiento a la empresa Comercial San Ignacio. Gracias por abrirme las puertas de sus instalaciones y confiar en mí para el desarrollo de este estudio. Quiero destacar especialmente la gran disposición humana de todos sus trabajadores, quienes siempre tuvieron el tiempo y la voluntad para ayudarme, resolver mis dudas y aportar con su experiencia práctica al éxito de este proyecto.

A todos ustedes, muchas gracias.

Resumen Ejecutivo

El presente trabajo de titulación se desarrolló en las instalaciones de la empresa Comercial San Ignacio, ubicada en la región de Atacama, la cual está dedicada a la reparación y remanufactura de componentes para equipos del rubro minero, además de ofrecer servicios de mantenimiento y reparación en faenas. Este análisis esta focalizado específicamente en la unidad de negocios del Centro de Reparación de Componentes. El objeto de estudio principal fue el proceso de reparación de Mandos Finales para maquinaria de minería Caterpillar, seleccionado debido a su alto impacto dentro de la organización y a la variabilidad histórica que presentaba en sus tiempos de entrega.

Para abordar la problemática, se utilizó la metodología de mejora continua Six Sigma bajo la estructura del ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). En la etapa diagnóstica, el despliegue de herramientas estadísticas y cualitativas, tales como el diagrama SIPOC, Ishikawa y el Análisis de Modo y Efecto de Falla, permitió caracterizar un proceso que operaba en un estado de inestabilidad severa, con un Nivel Sigma inicial de 0,88 y una capacidad de proceso negativa.

La estrategia de intervención se fundamentó en dos pilares técnicos: la estandarización de los criterios de decisión mediante el diseño de Matrices de Riesgo de Calidad y la implementación de un sistema de gestión visual digital a través de Dashboards de control en tiempo real. Se proyectaba como resultado ideal alcanzar un Nivel Sigma de 2,0 y reducir la media de retraso a menos de 15 horas, buscando transformar la dinámica poco controlado del taller en un flujo industrial controlado por métricas e indicadores de desempeño a la altura de organización.

Los resultados obtenidos tras la fase de control validaron la efectividad de la reingeniería aplicada. Se logró una reducción del 71,2 % en la media de retraso, disminuyendo el tiempo promedio de demora desde 31,21 horas a 8,98 horas. En términos de variabilidad, la desviación estándar de largo plazo experimentó una contracción del 32,3 %, lo que generó una convergencia estructural entre la capacidad potencial y el desempeño real del sistema. Aunque el Nivel Sigma final de 1,28 no alcanzó la meta teórica propuesta, el ascenso desde un bajo desempeño operativo representa un avance sustancial en la madurez del proceso.

Desde la perspectiva organizacional, la Gerencia General ha valorado positivamente el levantamiento de una arquitectura de información que anteriormente era inexistente. La transición desde una administración basada en la intuición hacia una gobernanza fundamentada en datos cuantificables ha sido reconocida como un activo valioso obtenido por este estudio, quedando la operación a la espera de la implementación de la estrategia de stock crítico para consolidar las mejoras logísticas pendientes.

Abstract

This degree thesis was conducted at the facilities of Comercial San Ignacio, located in the Atacama Region. The company specializes in the repair and remanufacturing of components for mining equipment, in addition to providing on-site maintenance and repair services. This analysis focuses specifically on the Component Repair Center business unit. The primary object of study was the repair process of Final Drives for Caterpillar mining machinery, selected due to its high impact within the organization and the historical variability observed in its delivery times.

To address this issue, the Six Sigma continuous improvement methodology was employed under the DMAIC cycle structure (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control). In the diagnostic phase, the deployment of statistical and qualitative tools, such as the SIPOC diagram, Ishikawa diagram, and Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), allowed for the characterization of a process operating in a state of severe instability, with an initial Sigma Level of 0.88 and a negative process capability.

The intervention strategy was founded on two technical pillars: the standardization of decision-making criteria through the design of Quality Risk Matrices, and the implementation of a digital visual management system via real-time control Dashboards. The ideal projected outcome was to achieve a Sigma Level of 2.0 and reduce the average delay to less than 15 hours, aiming to transform the workshop's poorly controlled dynamics into an industrial flow governed by metrics and performance indicators befitting the organization.

The results obtained following the Control phase validated the effectiveness of the applied reengineering. A 71.2 % reduction in the average delay was achieved, decreasing the mean delay time from 31.21 hours to 8.98 hours. In terms of variability, the long-term standard deviation experienced a 32.3 % contraction, generating a structural convergence between the potential capability and the actual performance of the system. Although the final Sigma Level of 1.28 did not reach the proposed theoretical target, the improvement from low operational performance represents a substantial advancement in process maturity.

From an organizational perspective, General Management has positively valued the establishment of an information architecture that was previously nonexistent. The transition from intuition-based management to governance grounded in quantifiable data has been recognized as a valuable asset gained from this study, with operations now awaiting the implementation of the critical stock strategy to consolidate pending logistical improvements.

Nomenclaturas y definiciones

- **CSI:** Comercial San Ignacio.
- **CRC:** Centro de Reparación de Componentes.
- **CRMM:** Centro de Reparación Metalmecánica.
- **ST:** Servicio Técnico.
- **Overhaul:** Revisión general de un equipo, reparando o reemplazando partes móviles que hayan cumplido su vida útil, sin cambiar todos los componentes.
- **Rebuild:** Reconstrucción completa, reemplazando la mayoría o todas las piezas para devolver el equipo a un estado casi nuevo, según especificaciones del fabricante.
- **ABOD:** Área de Bodega.
- **GCRC:** Gerencia de Operaciones del Centro de Reparación.
- **UTCC:** Unidad Técnica y Control de Calidad.
- **KPIs:** Indicadores clave de desempeño.
- **OT:** Orden de Trabajo.
- **TPS:** Sistema de Producción Toyota.
- **MUDA:** Pérdidas o desperdicio operacional.
- **JIT:** Just In Time (Justo a tiempo).
- **LSS:** Lean Six Sigma.
- **PPM:** Partes por Millón.
- **PFMEA:** Análisis de Modos y Efectos de Falla en Procesos.
- **SJ:** Tiempo estándar de reparación o mantenimiento definido por el fabricante para cada componente, sistema o tarea específica.
- **VOC:** Voz del cliente o de la empresa.
- **VOP:** Voz del proceso.
- **NPR:** Número de Prioridad de Riesgo.
- **MRC:** Matriz de Riesgos de Calidad.
- **OEM:** Fabricante de Equipo Original.
- **MiniTab:** Software estadístico utilizado principalmente en ingeniería y control de calidad para analizar datos, identificar tendencias y validar mejoras en los procesos mediante herramientas como el análisis de capacidad y gráficos de control.

Índice

1. Introducción **10**

2. Generalidades **10**
2.1. Objetivo general 10
2.2. Objetivos específicos 10

3. Antecedentes Generales Comercial San Ignacio **11**
3.1. Servicios 11
3.1.1. Servicio Técnico en Faena del Cliente 11
3.1.2. Metalmecánica 12
3.1.3. Mantención de Equipos Mineros 12
3.1.4. Compra y Venta de Repuestos y Componentes 12
3.1.5. Reparación de Equipos Mineros 12
3.1.6. Reparación de Componentes Mineros 12
3.2. Declaraciones Estratégicas 12
3.2.1. Misión 12
3.2.2. Visión 13
3.3. Clientes 13
3.4. Centros de Reparación 13
3.4.1. Centro de Reparación de Componentes 13
3.4.2. Servicio Técnico 14
3.4.3. Centro de Reparación Metalmecánica 15
3.5. Casa Matriz Copiapó 15
3.5.1. Localización 17
3.5.2. Layout 18
3.5.3. Organigrama 20
3.5.4. Diagrama de flujo CRC 22
3.5.5. Principales actividades del Diagrama de Flujo 23
3.6. Gerencia de Operaciones del Centro de Reparación 24
3.6.1. Departamento CRC de la GCRC 24
3.6.2. Proyectos destacados CSI 25

4. Proyecto a realizar y Situación Actual **26**
4.1. Componentes pertenecientes al tren de potencia de equipos 27
4.1.1. Motor 27
4.1.2. Convertidor de Par 28
4.1.3. Transmisión 28
4.1.4. Diferencial 29
4.1.5. Mando Final 30
4.2. Proceso de Reparación de Componentes 30
4.2.1. Desarme y Evaluación 31
4.2.2. Armado 31
4.2.3. Pruebas y Ajustes 31
4.2.4. Pintura y Embalaje 32

5. Marco Teórico **32**
5.1. Mejora Continua . . . 32
5.1.1. Sistema de Producción Toyota . . . 33
5.2. Ciclo Deming . . . 34
5.3. Pensamiento LEAN . . . 35
5.3.1. Modo de Operación . . . 35
5.3.2. Conceptos de MUDA . . . 36
5.4. Six Sigma . . . 37
5.5. Lean Six Sigma . . . 38
5.5.1. Preparación . . . 39
5.5.2. Identificación . . . 40
5.5.3. Ejecución . . . 40
5.5.4. Evaluación . . . 43
5.6. Herramientas para Análisis del Proceso . . . 43
5.6.1. Diagrama de Ishikawa . . . 43
5.6.2. Análisis de Modo y Efectos de Falla en Procesos . . . 44
5.6.3. Metodología 5W+2H . . . 45
5.6.4. Análisis de Pareto . . . 46
5.6.5. Análisis de Capacidad de Procesos . . . 47

6. Desarrollo y Resultados **54**
6.1. Preparación . . . 55
6.2. Identificación . . . 55
6.2.1. Definir . . . 56
6.2.2. Medir . . . 56
6.2.3. Analizar . . . 79
6.3. Ejecución . . . 80
6.3.1. Definir . . . 80
6.3.2. Medir . . . 83
6.3.3. Analizar . . . 99
6.3.4. Mejorar . . . 105
6.3.5. Controlar . . . 135
6.4. Evaluación . . . 138
6.4.1. Análisis Cumplimiento de Objetivos . . . 138
6.4.2. Evaluación del Proyecto . . . 141
6.4.3. Lecciones Aprendidas y Sugerencias . . . 142

7. Conclusiones **144**
7.1. Sugerencias . . . 146

Referencias **148**

8. Anexos **150**

A. Carta Gantt del Proyecto **150**

B. Constantes y Variables **150**

C. Diagrama de Pareto **154**
C.1. Recurrencia 154
C.2. Impacto 155
C.3. Clasificación de Componentes 156

D. Análisis de Capacidad - Proceso Histórico Componentes **161**
D.1. Cálculo de Indicadores y Variables - Diferenciales 170
D.2. Cálculo de Indicadores y Variables - Convertidores 174
D.3. Cálculo de Indicadores y Variables - Transmisiones 183
D.4. Cálculo de Indicadores y Variables - Mandos Finales 192

E. Análisis de Capacidad - Proceso Histórico Mandos Finales **208**
E.1. Cálculo de Indicadores y Variables - Desarme 208
E.2. Cálculo de Indicadores y Variables - Armado 223
E.3. Cálculo de Indicadores y Variables - Pintura 239
E.4. Cálculo de Indicadores y Variables - Pruebas 254

F. PFMEA **271**

G. Matriz de Riesgo de Calidad **273**

H. Matriz Estrategia de Reparación y Stock Critico **280**

I. Análisis de Capacidad - Proceso Actual Mandos Finales **286**

Índice de figuras

1. Centro de Reparación de Componentes 14
2. Servicio Técnico Sucursal Paipote 14
3. Centro de Reparación Metalmecánica 15
4. Sucursal Casa Matriz CSI 16
5. Ubicación de Sucursal Casa Matriz de CSI 17
6. Layout Casa Matriz CSI 19
7. Organigrama CSI 20
8. Diagrama de flujo CRC CSI 22
9. Motor Caterpillar C175 27
10. Convertidor Camión Caterpillar 793F 28
11. Transmisión Caterpillar R3000H 29
12. Diferencial Caterpillar 784C 29
13. Mando Final Tractor Caterpillar D7R 30
14. Los Principios del Pensamiento LEAN 35
15. Metodología para Implementación Lean Six Sigma 39
16. Metodología DMAIC para Proyecto Lean Six Sigma. 41
17. Ejemplo de Estructura - Diagrama de Ishikawa 44
18. Ejemplo de Estructura - Diagrama de Pareto 47
19. Distribución Normal. 49
20. Comparativa Recurrencia e Impacto Tren de Fuerza versus Otros . . . 59
21. Diagrama de Pareto Aplicado a Familia de Equipos 60
22. Análisis de Capacidad de Proceso de Reparación - Diferenciales 66
23. Análisis de Capacidad de Proceso de Reparación - Convertidores 70
24. Análisis de Capacidad de Proceso de Reparación - Transmisiones 74
25. Análisis de Capacidad de Proceso de Reparación - Mandos Finales . . . 78
26. Project Charter 81
27. Informe de Capacidad de Proceso - Desarme 87
28. Informe de Capacidad de Proceso - Armado 91
29. Informe de Capacidad de Proceso - Pintura 94
30. Informe de Capacidad de Proceso - Pruebas 97
31. Diagrama de Ishikawa - Reparación Mandos Finales 101
32. Matriz de Riesgo de Calidad - Identificación 107
33. Matriz de Riesgo de Calidad - Detalle de Etapa y Actividad 108
34. Matriz de Riesgo de Calidad - Documentación 110
35. Matriz de Riesgo de Calidad - Riesgos y Controles de Calidad 112
36. Matriz de Riesgo de Calidad - Criterios de Aceptación y Conformidad . 113
37. Matriz de Riesgo de Calidad - Registros de Control y Actualización . . 114
38. Matriz de Riesgo de Calidad - Responsable de Liberación 115
39. Matriz de Riesgo de Calidad - Identificación 116
40. Estrategia de Reparación y Stock Crítico - Mando Final 994F 118
41. Desglose Funcional de la Interfaz de Gestion Visual - Dashboard 121
42. Análisis de Capacidad Proceso de Reparación - Actual 134
43. Análisis de Capacidad Proceso de Reparación - Histórico 134

Índice de cuadros

1. Carpeta de Clientes de CSI 13
2. Etapas del Ciclo Deming 34
3. Ejemplo de Estructura - PFMEA 44
4. Cuadro para Uso de Metodología 5W+2H 46
5. Cantidad de Componentes por Fabricante 56
6. Costo ($CLP) HH Promedio por Componente 57
7. Clasificación según Ubicación en Pareto Recurrencia - Impacto 57
8. Compilación de Componentes Clasificación Crítica 58
9. Datos de Entrada para Análisis de Capacidad de Procesos 61
10. Resumen de Indicadores Estadísticos por Componente 79
11. Niveles Sigma Estandarizados por Componente 79
12. Diagrama SIPOC - Proceso de Reparación de Mando Final 82
13. Datos de Entrada para Análisis de Capacidad - Etapas 84
14. Resumen de Indicadores Estadísticos por Etapa 98
15. Niveles Sigma Estandarizados por Etapa 98
16. Resumen de Criticidad por Causa Potencial - PFMEA 103
17. Análisis 5 Porqués para Modos de Falla Críticos 104
19. Registro de Ingresos de Mandos Finales por Equipos y Periodo - Pareto 106
20. Plan de Acción de Mejora - Metodología 5W+2H 123
22. Mandos Finales Ingresados Posterior a Implementación de Mejoras . . 125
23. Cuadro Comparativo Resultados - Línea Base y Proceso Actual 131
24. Cuadro Comparativo - Cumplimiento de Objetivos Planteados 139

1. Introducción

La minería en Chile, especialmente en regiones como Atacama, representa un pilar económico fundamental, pero también enfrenta retos operativos originados por una alta carga operativa y las condiciones extremas que enfrentan los equipos, de modo que un componente con falla crítica puede paralizar faenas enteras y generar costos elevados. Bajo este escenario, empresas como Comercial San Ignacio (CSI) emergen como aliados estratégicos, brindando servicios de reparación de componentes y mantenimiento de equipos que aseguran la continuidad y confiabilidad en marcas líderes como Caterpillar y Komatsu. No obstante, en un contexto de presiones por eficiencia y reducción de costos, optimizar estos procesos no es solo una opción, sino una necesidad imperiosa para mantener la competitividad.

En línea con lo anterior, este trabajo explora la optimización del proceso de reparación de componentes críticos Caterpillar en CSI, empleando metodologías de mejoramiento continuo como Lean Six Sigma. Para ello, se busca identificar y reducir ineficiencias en el Centro de Reparación de Componentes, tales como tiempos muertos o variabilidades en la calidad, con el fin de mejorar indicadores clave como la productividad, el tiempo de ciclos, el cumplimiento de los plazos de entrega, la eficiencia global y la reducción de costos. En consecuencia, el objetivo general radica en proponer un modelo integral de optimización que eleve la productividad operativa, mientras que los objetivos específicos incluyen analizar el flujo actual de reparaciones, aplicar herramientas diagnósticas como DMAIC, evaluar sus impactos y, además, utilizar MiniTab como un medio de contraste de los resultados, en comparación con el desarrollo y la explicación de las herramientas estadísticas empleadas para obtenerlos.

2. Generalidades

2.1. Objetivo general

Optimizar el proceso de reparación de componentes críticos en el Centro de Reparación de Componentes de CSI, mediante la aplicación de metodologías de mejoramiento continuo que permitan reducir pérdidas y alinear los tiempos de reparación con los estándares del fabricante.

2.2. Objetivos específicos

1. Jerarquizar los componentes críticos Caterpillar recibidos en el Centro de Reparación de Componentes, considerando frecuencia, los costos y los tiempos reales de reparación.

2. Analizar los registros de tiempos reales de reparación registrados en los sistemas de la organización y compararlos con los tiempos de reparación estándar proporcionados por Caterpillar.

3. Identificar oportunidades de mejora en el flujo de reparación de los componentes críticos seleccionados.

4. Diseñar propuestas de optimización basadas en metodologías Lean Six Sigma.

3. Antecedentes Generales Comercial San Ignacio

Comercial San Ignacio es una empresa dedicada a la venta de repuestos, la reparación y la remanufactura de componentes para equipos mineros, además de ofrecer servicios de mantenimiento y reparación en faenas. La empresa tiene una sólida presencia en la Región de Atacama, donde operan tres unidades de negocio: el Centro de Reparación de Componentes (CRC), el Servicio Técnico (ST) y el Centro de Reparación Metalmecánica (CRMM). Asimismo, en la Región de Antofagasta, su Servicio Técnico (ST) se especializa en procesos de Rebuild y Overhaul de equipos, y cuenta con operaciones activas en la mina Spence de BHP.

Las operaciones se encuentran principalmente enfocadas en equipos de las marcas Caterpillar y Komatsu, integrando procesos estandarizados, infraestructura especializada y un equipo técnico humano de alta calificación. Todo ello tiene como propósito garantizar la continuidad operacional de sus clientes, bajo estrictos lineamientos de calidad, seguridad y medio ambiente. En este contexto, la empresa se ha posicionado como un socio estratégico en el ámbito de la reparación de componentes y la mantención de equipos mineros en la macrozona norte del país, contribuyendo de manera directa a la confiabilidad y disponibilidad física de los equipos que operan en la gran minería en Chile.

En función de esta estructura organizacional y de la cobertura operativa descrita, CSI articula su propuesta de valor a través de un conjunto de servicios especializados que responden a las necesidades de la industria minera en materia de reparación, mantención y confiabilidad de equipos críticos. A continuación, se presentan los principales servicios que la empresa ofrece, los cuales constituyen la base operativa sobre la que se desarrolla el presente estudio y permiten comprender el alcance técnico del proceso de reparación analizado en los apartados siguientes.

3.1. Servicios

Para efectos de este estudio, los servicios de CSI se describen según su ámbito de ejecución (faena del cliente o instalaciones propias) y su foco técnico (mantenimiento de equipos, reparación de equipos y reparación de componentes). En los apartados siguientes se presenta cada línea de servicio, destacando sus capacidades, alcance operativo y relación con el proceso de reparación analizado.

3.1.1. Servicio Técnico en Faena del Cliente

Esta unidad cuenta con infraestructura, herramientas, equipos y personal altamente calificado y certificado para diagnosticar, desarmar, evaluar, reparar y realizar pruebas funcionales a distintos modelos de equipos, tales como camiones, cargadores, motoniveladoras y tractores, entre otros, estos procesos son realizados bajo condiciones controladas de seguridad, lo cual se ha convertido en una alternativa rentable para prolongar la vida útil de los equipos, llevándolos a una alta disponibilidad y confiabilidad operativa.[2]

3.1.2. Metalmecánica

Cuenta con Ingenieros y Técnicos especializados los cuales se desempeñan en el CRMM, además de servicios en faenas del cliente. Dentro de los servicios se encuentran el Mecanizado de componentes, Metalizado con equipo arco spray, Reparación de tolvas y baldes con equipos de soldadura semiautomáticos, y recuperación de alojamientos. [2]

3.1.3. Mantención de Equipos Mineros

Esta unidad cuenta con Ingenieros y Técnicos altamente calificados, los cuales ejecutan labores de gestión de mantenimiento en las faenas mineras, a través de procesos como; Inspecciones y diagnósticos de equipos, planificación y ejecución. Además desarrollan y llevan a cabo distintos tipos de mantenimientos correctivos, preventivos y predictivos.[2]

3.1.4. Compra y Venta de Repuestos y Componentes

Esta sección está encargada de comercializar y mantener un stock de repuestos y componentes necesarios para suministrar a las reparaciones y mantenimiento de equipos mineros, contando con proveedores nacionales e internacionales.[2]

3.1.5. Reparación de Equipos Mineros

Esta unidad especializada en reparación de equipos mineros está compuesta por un equipo de ingenieros y técnicos de alta trayectoria técnica, con amplia experiencia en el reacondicionamiento de maquinaria utilizada en faenas mineras. Cada proceso de reparación se ejecuta bajo estrictos estándares de calidad, incorporando las políticas, procedimientos y especificaciones técnicas definidas por el fabricante.[2]

3.1.6. Reparación de Componentes Mineros

Esta unidad cuenta con infraestructura, herramientas, equipos y personal con experiencia comprobada y certificados para desarmar, evaluar, reparar y validar distintos componentes según los modelos de equipo como son: convertidores, transmisiones, diferenciales, mandos finales, conjuntos de suspensión, mazas y frenos, entre otros componentes. Además, posee un moderno sistema dinamométrico para el control de calidad de las reparaciones, el cual certifica y garantiza que todas las reparaciones se encuentren dentro de los rangos y especificaciones definidas por el fabricante.[2]

En función de lo anterior, el estudio se focaliza en el proceso de reparación de componentes mineros, desarrollado en la unidad de negocio de Reparación de Componentes Mineros de CSI, la cual constituye el objeto de análisis del presente trabajo.

3.2. Declaraciones Estratégicas

3.2.1. Misión

Somos una empresa integral de reacondicionamiento de equipos, componentes, contrato de mantenimiento y comercialización de repuestos para el mercado minero, entregando un servicio con foco en el ahorro de tiempo, costos, calidad, rapidez, flexibilidad y confiabilidad. [1]

3.2.2. Visión

Ser una empresa nacional altamente reconocida en la zona norte del país en constante crecimiento, aportando valor y generando retorno a todas nuestras partes interesadas, contribuyendo así al sector minero regional. [1]

3.3. Clientes

La empresa mantiene alianzas estratégicas con diversos clientes que respaldan y confían en la calidad de los servicios prestados. Estas asociaciones abarcan desde operaciones mineras específicas hasta grandes holdings del sector, reflejando la diversidad del entorno en que se ejecutan sus servicios.

Tabla 1: Carpeta de Clientes de CSI

Fuente: Propiedad de CSI

Cliente	Faenas / Divisiones
CODELCO	División El Teniente, División El Salvador.
BHP	Escondida, Faena Spence, Cerro Colorado.
TECK	Quebrada Blanca, Carmen de Andacollo.
Lundin Mining	Candelaria, Caserones.
Antofagasta Minerals	Los Pelambres, Zaldívar, Antucoya, Centinela.
Capstone Copper	Mantos Blancos, Mantoverde.
Otros Clientes	Collahuasi, CMP, PUCOBRE, THIESS, Atacama Kozan. El Abra, OPAC, SQM Nueva Victoria, Maricunga, AngloAmerican, Lomas Bayas, EPSA, Sierra Gorda, KINROSS.

3.4. Centros de Reparación

3.4.1. Centro de Reparación de Componentes

El CRC se especializa en la reparación de componentes de equipos mineros Caterpillar y Komatsu. Equipado con tecnología avanzada y herramientas especializadas, el taller opera bajo estándares de control y trazabilidad, y sigue los procedimientos de los fabricantes para el desarme, evaluación y armado de componentes, incorporando inspecciones técnicas en cada etapa. Además, se realizan procesos de limpieza, pintura y embalaje con alto nivel de detalle para asegurar una presentación profesional al cliente. De este modo, se garantiza la calidad, confiabilidad y funcionalidad del componente reacondicionado, cumpliendo con los requisitos de desempeño y seguridad exigidos por la operación minera.

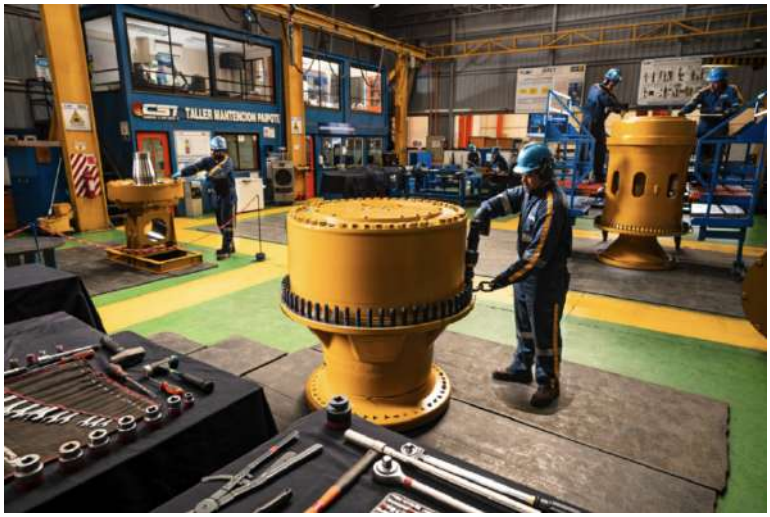

Figura 1: Centro de Reparación de Componentes

Fuente: Propiedad de CSI.

3.4.2. Servicio Técnico

El Servicio Técnico tiene como función la reparación de equipos mineros, ajustando las intervenciones según el servicio solicitado por el cliente, tales como Rebuild u Overhaul, conforme al alcance definido para cada equipo. Cuenta con tecnología y herramientas especializadas para ejecutar las tareas requeridas, y adicionalmente realiza reparaciones estructurales orientadas a restituir las condiciones operativas del equipo y extender su vida útil.

Figura 2: Servicio Técnico Sucursal Paipote

Fuente: Propiedad de CSI.

Importante señalar que los componentes retirados de los equipos son enviados al Centro de Reparación de Componentes (CRC) para su reparación. Una vez repara-

dos bajo los estándares del fabricante, son devueltos para completar el armado de los equipos.

3.4.3. Centro de Reparación Metalmecánica

Una de las tareas principales del CRMM consiste en la recuperación de piezas provenientes del desarme y evaluación de componentes realizados en el CRC, las cuales han sido diagnosticadas como reparables por la Unidad Técnica y Control de Calidad (UTCC).

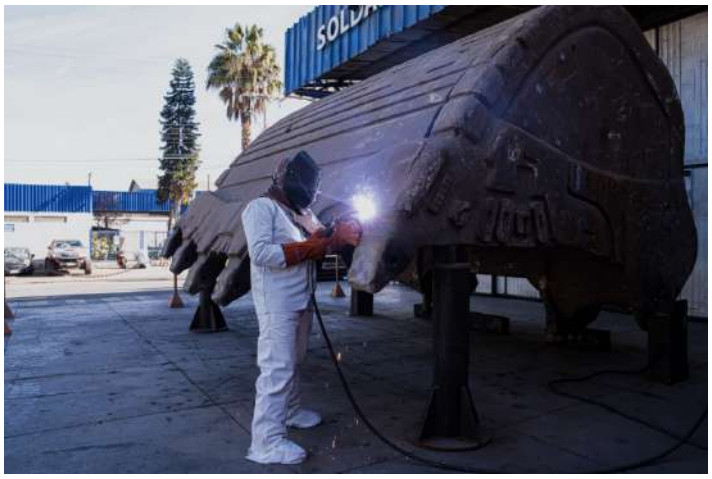

Figura 3: Centro de Reparación Metalmecánica

Fuente: Propiedad de CSI.

Además de estos trabajos internos, esta unidad también atiende requerimientos directos de los clientes, como reparaciones estructurales de equipos, tanto en faena como en los talleres. Estos trabajos estructurales incluyen la reparación de frame, A-frame, baldes, dozzer, tolvas, implementos de cargadores y tractores, entre otros.

Ya vista la descripción de los centros de reparación, a continuación se presenta la Casa Matriz Copiapó. Este punto considera la importancia de su localización, la distribución de los talleres, los diagramas de procesos, las actividades relevantes y los descriptores de cargos, entre otros elementos, con el fin de mostrar de manera clara cómo se administra, controla y gestiona el negocio y sus unidades operativas.

3.5. Casa Matriz Copiapó

La sucursal Casa Matriz de CSI, ubicada en la ciudad de Copiapó, Región de Atacama, concentra dos unidades de negocio: CRC y CRMM. En esta sucursal son recibidos una gran cantidad de componentes de equipos pertenecientes a la minería para su desarme, evaluación y completa reparación para su óptimo funcionamiento.

Figura 4: Sucursal Casa Matriz CSI

Fuente: Elaboración propia.

3.5.1. Localización

La Casa Matriz se encuentra en la Calle 8, Sitio G-104, Barrio Industrial Paipote, Copiapó, lugar donde operan el CRC y el CRMM. Esta ubicación, situada a aproximadamente 10 km del centro urbano de Copiapó y a 810 km de Santiago, capital de Chile, permite comprender su posición dentro del territorio y la cercanía con los principales ejes de conectividad regional, como se muestra en la **Figura 5**

Figura 5: Ubicación de Sucursal Casa Matriz de CSI

Fuente: Elaboración propia.

La elección del Barrio Industrial Paipote responde a su cercanía con importantes faenas mineras de la Región de Atacama, como la División El Salvador de CODELCO CHILE, Mineras Candelaria, Caserones y La Coipa. Esta proximidad optimiza la logística y el traslado de componentes y equipos, consolidando la posición estratégica de CSI en la cadena de suministro regional.

3.5.2. Layout

La **Figura 6** presenta la distribución espacial de la Casa Matriz, donde se localiza el CRC. Esta área se encuentra conformada por el banco de pruebas, el taller de transmisiones, el taller de hidráulica y la nave central. Esta última se organiza en áreas específicas destinadas a diferenciales, mandos finales, convertidores de torque y frenos-mazas, lo que permite una adecuada segregación de actividades según el tipo de componente intervenido.

Cada sector del taller está dotado de un Mecánico A especializado, un Mecánico B de apoyo, junto con el equipamiento necesario para la ejecución de las actividades de desarme y armado de componentes. Asimismo, las naves disponen de accesos habilitados para grúas horquilla, destinadas al movimiento de componentes, y de puentes grúa que permiten su desplazamiento dentro del área de trabajo, favoreciendo un flujo operativo más eficiente y seguro.

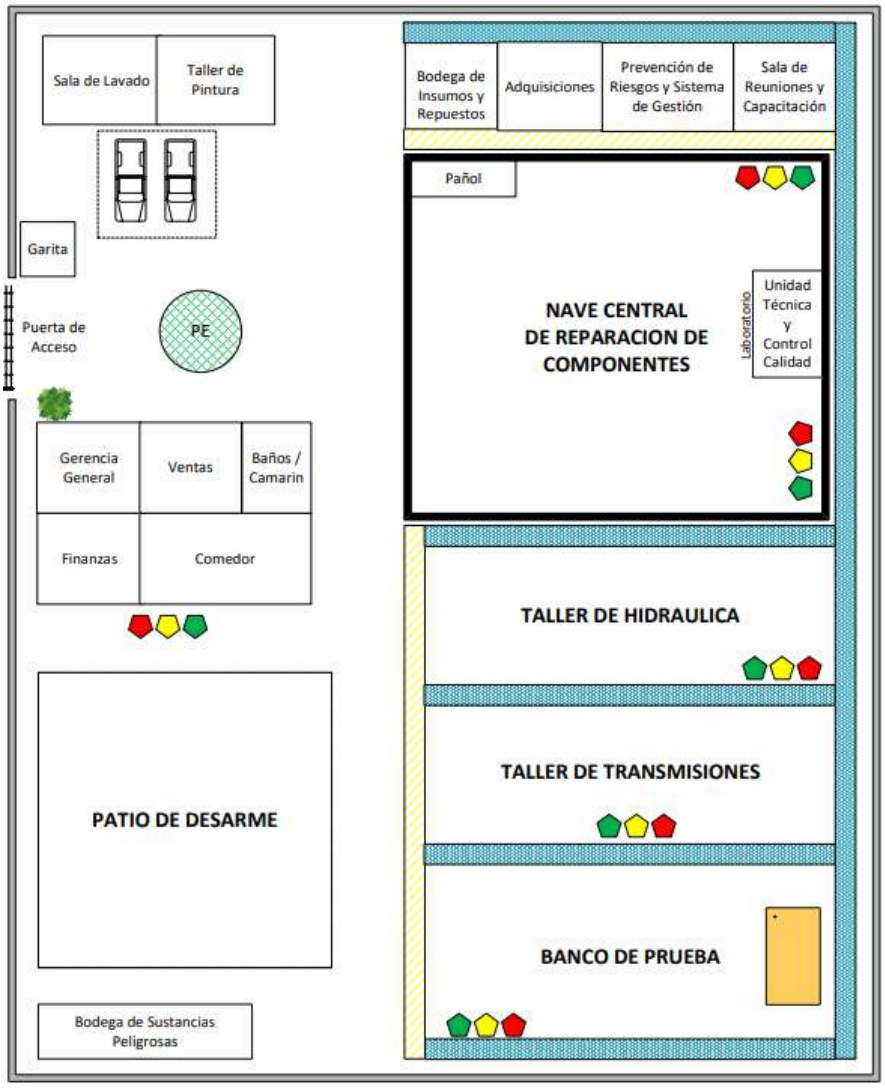

Figura 6: Layout Casa Matriz CSI

Fuente: Propiedad de CSI.

3.5.3. Organigrama

Se muestra en la Figura 7 el organigrama de CSI, en donde se detallan las distintas gerencias y jefaturas con las que cuenta la empresa.

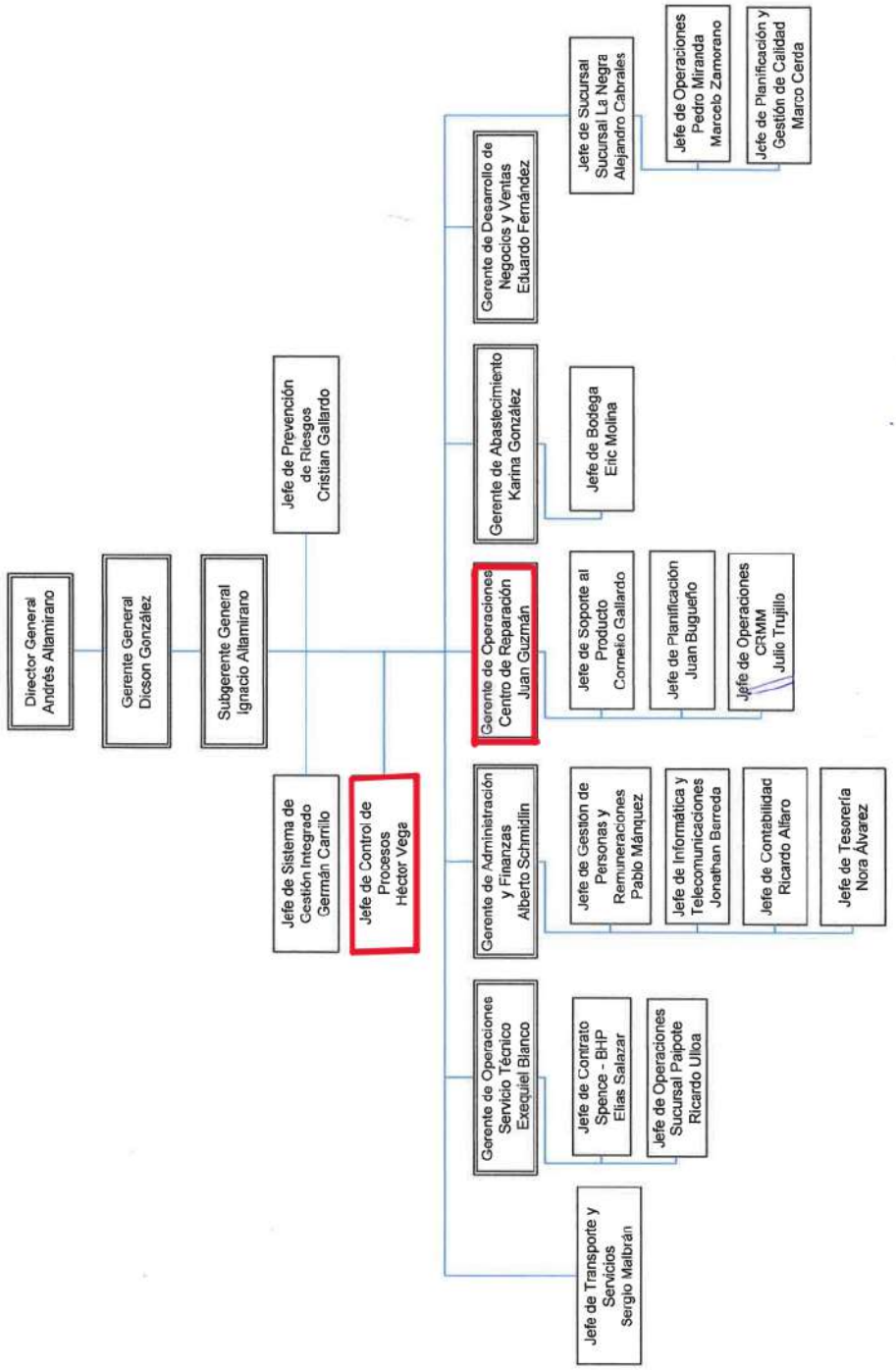

Figura 7: Organigrama CSI

Fuente: Propiedad de CSI.

El presente proyecto se desarrolla en la Gerencia de Operaciones del Centro de Reparación de componentes (GCRC), la cual se encuentra bajo la dirección de Juan Guzmán en su rol de Gerente de Operaciones, responsable de establecer los lineamientos estratégicos, garantizar la eficiencia de los procesos y asegurar el cumplimiento de los objetivos corporativos asociados a la gestión de reparación de componentes mineros.

La ejecución y seguimiento de las actividades está supervisada por el Jefe de Control de Procesos, Héctor Vega, quien tiene a su cargo el monitoreo de Indicadores de Desempeño (KPIs) y la verificación de que las metodologías aplicadas cumplan con los estándares de calidad, seguridad operacional, medio ambiente y productividad exigidos por la compañía.

3.5.4. Diagrama de flujo CRC

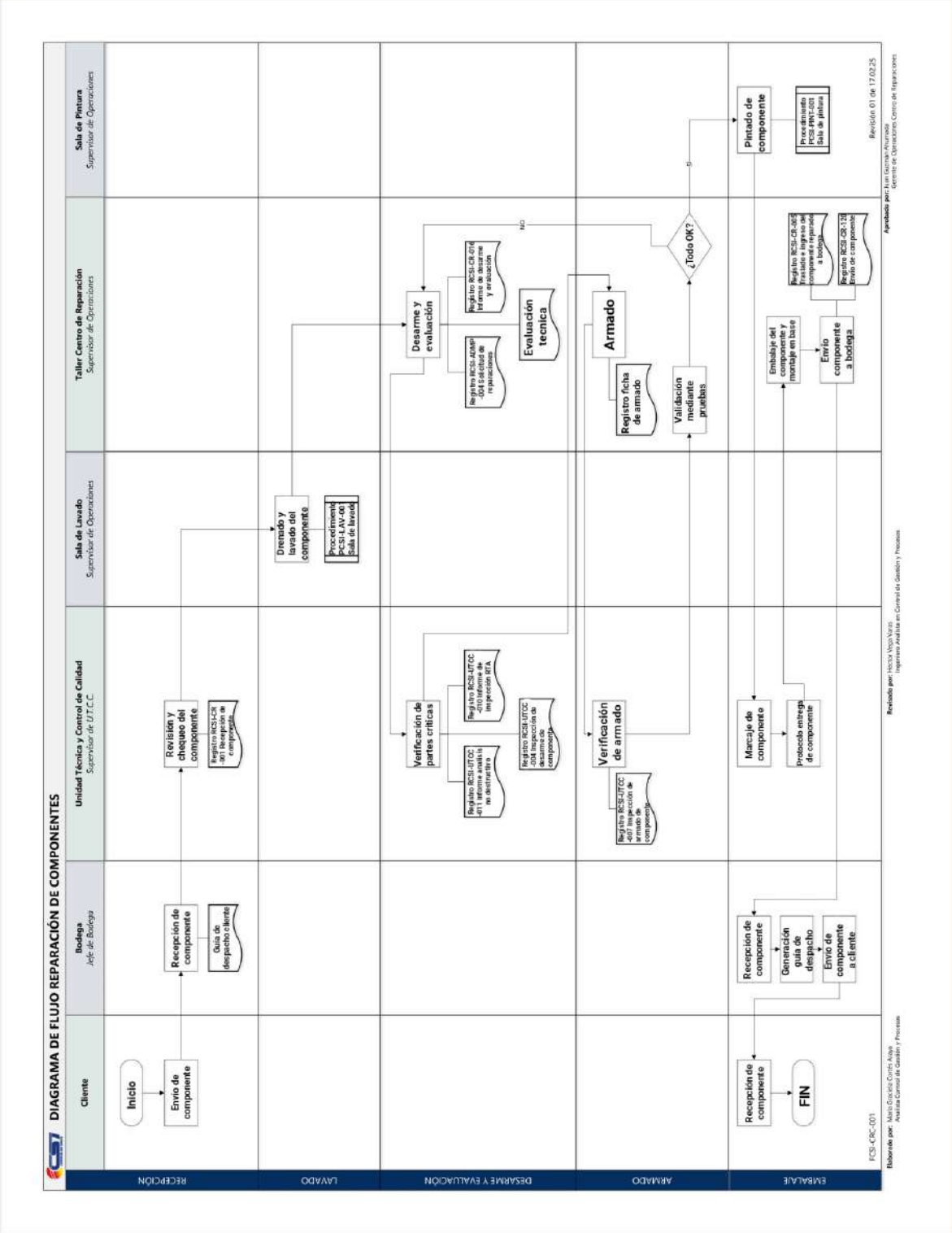

Figura 8: Diagrama de flujo CRC CSI

Fuente: Propiedad de CSI.

3.5.5. Principales actividades del Diagrama de Flujo

- **Recepción:** Ingreso y registro de los componentes en el CRC, estableciendo su Orden de Trabajo (OT) y documentación asociada. Se realiza, además, una inspección inicial, verificando condición física, presencia de derrames o contaminantes y cualquier riesgo para su manipulación.

- **Lavado:** Limpieza exhaustiva de los componentes para eliminar residuos, suciedad o contaminantes, facilitando la inspección y el manejo posterior.

- **Desarme y Evaluación:** Desmontaje pieza a pieza del componente según los procedimientos del fabricante, seguido de una evaluación detallada para informar al cliente sobre las condiciones internas y los pasos a seguir en la reparación.

- **Unidad Técnica y Control de Calidad:** Recepción de piezas para evaluación metrológica y ensayos no destructivos, con el fin de verificar el cumplimiento de tolerancias según especificaciones del fabricante.

  - Si cumplen con las especificaciones, retornan a la bodega de almacenaje del CRC, a la espera del proceso de armado.
  - En caso de no cumplir, se determina su capacidad de reparación: las piezas reparables se envían al CRMM, mientras que las no reparables son descartadas.

- **Armado:** Montaje pieza a pieza siguiendo detalladamente los procedimientos proporcionados por el fabricante. Las piezas para montaje corresponden a repuestos nuevos, piezas reparadas por el CRMM y piezas reutilizadas, todo bajo el estricto control establecido por la Guía de Reutilización de Piezas del fabricante.

- **Prueba de Banco:** Evaluación de los componentes en un banco de pruebas para verificar su rendimiento, funcionalidad y cumplimiento de los estándares del fabricante, bajo condiciones controladas. Esta actividad es requerida solo en convertidores de par y transmisiones. *Esta actividad es requerida solo en Convertidores de Par y Transmisiones.*

- **Preparación para Despacho:** Limpieza final, pintura, embalaje y verificación de los componentes para su entrega al cliente, asegurando una presentación profesional y protección durante el transporte. Además, el equipo se entrega con la documentación correspondiente a la garantía de reparación.

3.6. Gerencia de Operaciones del Centro de Reparación

La GCRC es el área encargada de liderar, coordinar y optimizar las actividades operativas vinculadas a la reparación y reacondicionamiento de componentes. Esta gerencia, liderada por Juan Guzmán, cumple un rol central en la ejecución de los lineamientos estratégicos de la empresa, asegurando que los componentes sean intervenidos y entregados en forma oportuna y con altos estándares de calidad, seguridad y medio ambiente, en coherencia con las certificaciones ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001.

3.6.1. Departamento CRC de la GCRC

El Departamento Centro de Reparación de Componentes de la GCRC constituye una unidad estratégica dentro de la empresa, orientada a la gestión, planificación y ejecución de los procesos de reparación de componentes de equipos mineros. Su estructura integra funciones de soporte técnico, control de calidad, planificación de recursos y supervisión operativa, permitiendo que cada intervención se desarrolle de manera ordenada, trazable y alineada con los estándares internos y del fabricante. En este marco, se presentan las principales funciones y responsabilidades de los cargos que componen el departamento, en relación con el flujo de trabajo y las exigencias técnicas de la operación.

Jefe de Soporte al Producto: Responsable de brindar asistencia técnica y operativa especializada para asegurar una correcta reparación de los componentes mineros en el Centro de Reparación. Además, gestiona la compra de garantía, identifica variables que puedan afectar la confiabilidad del componente reparado y verifica la existencia de mejoras implementadas por el fabricante.

Jefe de Planificación: Responsable de dirigir la programación de órdenes de trabajo para la reparación de componentes mineros, asignando recursos humanos, herramientas y repuestos conforme al software SAP. Elabora y controla los cronogramas de trabajo, verificando el cumplimiento de plazos establecidos y la disponibilidad de recursos para sostener la continuidad operacional.

Supervisor de Operaciones CRC: Responsable de verificar que los trabajos ejecutados por los mecánicos del CRC se desarrollen de manera óptima y bajo altos estándares de seguridad, calidad y medio ambiente, asegurando el estricto cumplimiento de los procedimientos de armado y desarme de componentes. Su función se orienta a resguardar la correcta ejecución técnica y el estándar de calidad definido por la marca propietaria del equipo.

Laboratorio UTCC: Equipo responsable de verificar el estado de las piezas de los componentes desarmados y determinar si se encuentran en condiciones de reutilización, de acuerdo con la Guía de Reutilización de Piezas proporcionada por el fabricante, o si requieren reparación o deben ser dadas de baja. Las mediciones se realizan mediante instrumentos metrológicos y ensayos específicos, según corresponda a la pieza evaluada, utilizando, entre otros, ultrasonido, yugo magnético, rugosímetro, durómetro y medidor de espesor de recubrimiento, asegurando trazabilidad y consistencia técnica en la

decisión final.

Mecánicos A/B CRC: Trabajadores responsables de ejecutar de manera óptima los procesos de desarme y armado de componentes, siguiendo estrictamente los procedimientos establecidos por la marca. El Mecánico A cumple un rol de especialista del área, cuenta con autorizaciones especiales mediante licencias internas y municipales para la operación de grúas horquilla destinadas al traslado de componentes, así como para el uso de tecles eléctricos en el movimiento de piezas y subconjuntos dentro del taller. Por su parte, el Mecánico B actúa como apoyo directo del Mecánico A, contribuyendo a una ejecución más eficiente y ordenada de las labores asignadas.

3.6.2. Proyectos destacados CSI

A lo largo de su trayectoria, CSI ha participado en proyectos relevantes para compañías mineras a nivel nacional, abordando requerimientos de alta exigencia técnica asociados a la recuperación, reparación y reacondicionamiento de equipos y componentes. Estas intervenciones se han desarrollado en distintos contextos operacionales y han considerado tanto trabajos de mantención mayor como reparaciones integrales orientadas a restituir condiciones operativas, extender la vida útil de los equipos y asegurar su continuidad en faena. A continuación, se presentan algunos proyectos destacados que reflejan el alcance, experiencia y capacidades técnicas de la empresa.

3.6.2.1. Bulldozer Caterpillar D11T

Proyecto realizado para Minera Escondida BHP, se realizó servicio de remoción e instalación de componentes menores y mayores para prolongar la vida útil y la confiabilidad del equipo. Proyecto en cuestión tuvo una duración total de tres meses en su ejecución. [3]

3.6.2.2. Recuperación de Wheeldozer 834G

Tractor polifuncional perteneciente a Operación La Coipa, se le aplicó un plan de reparación integral como parte de estrategia de recuperación de activos y mejora general de equipos. Tras enviarlo a reparación a CSI, se realizó un cambio completo de componentes, incluyendo el tren de potencia y la reparación de la articulación central, aplicando también un plan de mantenimiento integral para optimizar su desempeño.[4]

3.6.2.3. Reacondicionamiento Equipos Móviles de Extracción Komatsu 930

Reacondicionamiento a condiciones óptimas de funcionamiento a camión Komatsu CAEX 930-E para CODELCO División El Salvador, permitiendo optimizar el rendimiento del equipo, reducir costos de operación y mantenimiento, aumento de la seguridad dentro de la faena. Se realizó restauración y refuerzo estructural del chasis y tolva, sustitución de componentes menores y mayores, y la verificación del correcto funcionamiento del equipo antes de la reincorporación a la faena. [5]

Con lo expuesto en los puntos anteriores, se han establecido el contexto organizacional, operativo y técnico de CSI, junto con una muestra representativa de proyectos ejecutados que evidencian su experiencia y capacidades en la reparación y reacondicionamiento de equipos mineros. Sobre esta base, resulta pertinente avanzar hacia la

definición del proyecto a desarrollar, abordando su alcance, justificación y la situación actual que da origen a su formulación.

4. Proyecto a realizar y Situación Actual

CSI es una empresa con una sólida experiencia en la búsqueda de la excelencia operacional. En este contexto, el presente proyecto se orienta a optimizar los procesos de reparación dentro del CRC de la Casa Matriz, focalizando los esfuerzos en aquellos componentes que, por su impacto en la operación de CSI, resultan críticos para la continuidad operativa de la empresa.

Actualmente, la empresa tiene registradas en sus sistemas las Horas-Hombre de trabajo (HH) que demora cada componente en ser reparado. El tiempo estándar definido por el fabricante se denomina SJ (Standard Job). Sin embargo, no se realiza ningún análisis que compare las HH reales utilizadas en la reparación del componente con su SJ proporcionado por el fabricante. Debido a esto, la empresa maneja la información de las HH reales de reparación, pero no se realiza un análisis comparativo con los SJ del fabricante, perdiendo un Indicador Clave de Desempeño (KPI) fundamental: las desviaciones entre el tiempo real y el tiempo estándar de reparación.

Por directriz de la Gerencia General, el análisis se enfocará exclusivamente en los componentes pertenecientes al tren de fuerza (mandos finales, diferenciales, transmisiones, convertidores de par y motores), debido a su alto impacto en el proceso productivo de la organización, tanto por el elevado consumo de HH asociado a su reparación completa, como por la necesidad de que, en el marco de la excelencia operacional, estos componentes lleguen al cliente en óptimas condiciones, al ser críticos para la confiabilidad del equipo, la disminución de costos y el aumento de la disponibilidad.

La selección de los componentes críticos se realizará mediante una metodología combinada. En primer lugar, se aplicará un análisis de Pareto sobre el histórico de reparaciones registradas en SAP entre los años 2022 y 2025, para identificar qué componentes del tren de fuerza presentan mayor recurrencia de reparación dentro del CRC. Posteriormente, se complementará este análisis con una evaluación estadística, utilizando gráficos de distribución normal para analizar la variabilidad de los tiempos reales de reparación de cada componente en comparación con los tiempos estándar definidos por el fabricante (SJ), que se encuentran registrados en el software Kronos usado por la empresa. Los componentes críticos serán aquellos que, además de presentar una alta frecuencia de reparación en las instalaciones, registren elevados costos de intervención y un alto consumo de horas-hombre, y cuya incidencia resulte determinante en la calidad del trabajo, al impactar directamente en la disponibilidad de los equipos del cliente y en la confiabilidad de nuestras reparaciones.

Una vez identificado el componente crítico, se realizará un análisis detallado de su flujo de reparación interno, desglosando las etapas de trabajo: desarme, armado, pintura y pruebas funcionales. Para establecer cuál de estas etapas constituye el proceso de reparación crítico, también se utilizarán gráficos de distribución normal, con el fin de

evaluar el comportamiento estadístico de los tiempos asociados a cada etapa y detectar aquella que presente la mayor dispersión, retrasos o desviación respecto del tiempo estándar esperado. Esta etapa crítica será priorizada para el desarrollo de propuestas de optimización, aplicando herramientas de mejoramiento continuo para identificar las oportunidades de mejora presentes en el proceso crítico y aplicar las mejoras correspondientes para perfeccionar la etapa de reparación del componente.

Para estructurar la mejora del proceso, se aplicará la metodología DMAIC de Six Sigma, la cual permitirá optimizar los procesos a partir de un análisis cuantitativo. A través de sus etapas (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) se identificarán los componentes críticos y el proceso de reparación con mayor variabilidad, se medirán sus indicadores operacionales, se analizarán las principales causas de ineficiencia y se desarrollarán propuestas de mejora sostenibles. El detalle de su aplicación se profundizará en el marco teórico correspondiente.

4.1. Componentes pertenecientes al tren de potencia de equipos

En los equipos Caterpillar y Komatsu, los componentes del tren de potencia varían según el modelo; sin embargo, mantienen similitudes internas y funciones equivalentes, aun cuando sus dimensiones sean distintas. A continuación, se presentan algunos de los componentes más comunes que se reciben para reparación en el CRC.

4.1.1. Motor

El motor constituye la fuente primaria de energía mecánica del equipo y el elemento central del tren de potencia. Su función principal es transformar la energía contenida en el combustible en energía mecánica útil, mediante el proceso de combustión interna, la cual es requerida tanto para la propulsión del equipo, como para la operación de sus sistemas auxiliares.

Figura 9: Motor Caterpillar C175

Fuente: https://n9.cl/mc38r

La eficiencia, confiabilidad y potencia del motor resultan determinantes para el

desempeño global del equipo, ya que condicionan directamente su capacidad de carga, tracción y operación continua bajo condiciones de alta exigencia, propias de la industria minera.

4.1.2. Convertidor de Par

El convertidor de par actúa como un acoplamiento hidráulico entre el motor y la transmisión. Su función es transmitir y multiplicar el torque generado por el motor, especialmente en fases críticas como el arranque y en situaciones de alta resistencia al avance, permitiendo una entrega de potencia más controlada y eficiente.

Figura 10: Convertidor Camión Caterpillar 793F

Fuente: https://parts.cat.com/es/catcorp/20R-0130

Permite una transferencia de potencia más suave y progresiva, reduciendo los impactos mecánicos y protegiendo los componentes de la transmisión frente a sobrecargas.

4.1.3. Transmisión

La transmisión es el componente encargado de transferir la potencia del motor hacia el sistema de tracción, modulando el torque y la velocidad según las condiciones de operación. Permite el cambio de marchas y la inversión del sentido de avance y retroceso, asegurando un funcionamiento eficiente del tren de potencia y ajustando el desempeño del equipo a distintos requerimientos operacionales.

Figura 11: Transmisión Caterpillar R3000H

Fuente: https://parts.cat.com/es/catcorp/576-9818

4.1.4. Diferencial

El diferencial cumple la función de distribuir la potencia hacia las ruedas motrices, permitiendo que estas giren a diferentes velocidades cuando el equipo se encuentra en maniobras de giro. Esto contribuye a la estabilidad y maniobrabilidad del equipo, y reduce los esfuerzos sobre los componentes del sistema de tracción.

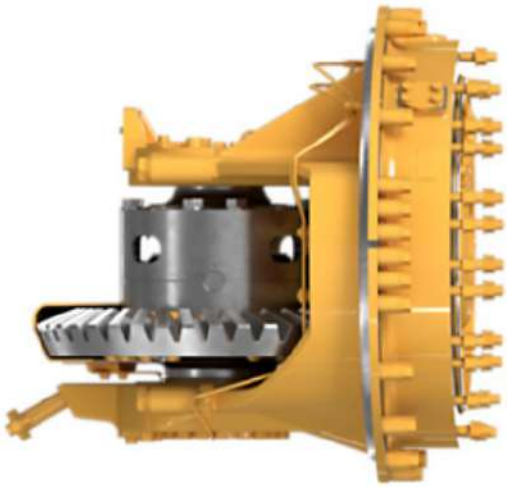

Figura 12: Diferencial Caterpillar 784C

Fuente: https://parts.cat.com/es/catcorp/130-6634

Los diferenciales están diseñados para soportar altos niveles de torque, garantizando

un funcionamiento confiable, incluso en condiciones extremas.

4.1.5. Mando Final

El mando final es un conjunto de engranajes reductores ubicados en el eje trasero del equipo, donde van montadas las ruedas directamente sobre el componente. Su función principal es reducir la velocidad de rotación proveniente del diferencial y aumentar el torque transmitido al suelo, permitiendo una entrega de fuerza adecuada para las condiciones de operación.

Figura 13: Mando Final Tractor Caterpillar D7R

Fuente: https://parts.cat.com/es/catcorp/9W-0593

Este incremento de torque es esencial para que la maquinaria desarrolle esfuerzos de tracción elevados, necesarios para labores como arrastre, empuje, trabajo en pendientes y transporte de cargas pesadas.

4.2. Proceso de Reparación de Componentes

Los procesos de reparación de componentes siguen una secuencia metodológica estandarizada, orientada a garantizar la confiabilidad operacional del componente y el cumplimiento de las especificaciones del fabricante. Si bien cada tipo de componente presenta particularidades técnicas, en términos generales todas las intervenciones siguen etapas similares que permiten restituir las condiciones funcionales del conjunto mecánico antes de su retorno al servicio. Estos procesos se encuentran definidos por el fabricante, quien establece los tiempos estándar necesarios para ejecutar de manera correcta los procesos de cada etapa; abarcan desde la recepción del componente, la ejecución de ensayos no destructivos y la recuperación de piezas, hasta el armado final, además del tiempo dedicado a preparar la información técnica que se entrega al cliente sobre la condición del componente y las intervenciones requeridas para su correcta operación.

A continuación, se describen cada una de las etapas del proceso de reparación, presentando sus actividades principales y su propósito dentro del flujo de trabajo, con el fin de explicar de manera clara cómo se ejecuta la intervención desde la recepción del componente hasta su entrega final.

4.2.1. Desarme y Evaluación

El proceso de desarme comienza al momento de que el componente es ingresado a las dependencias de CSI, luego de la recepción por parte de bodega. Este proceso considera la elaboración un Informe de Recepción de componente en el cual se registra el estado general con que llega al taller. Luego, el componente ingresa a un proceso de lavado exterior donde se efectúa la limpieza y descontaminación de la carcasa del componente con el fin de evitar la contaminación de las piezas internas.

Finalmente, se realiza el desarme y evaluación técnica pieza a pieza del componente con la utilización de herramientas especializadas y puentes grúa, ejecutando las labores según los manuales de desarme del componente en cuestión en un principio de un Informe de Desarme, en donde se detalla el estado exterior e interior en que es recibido el componente en el taller. También consta de un Lavado Exterior, en donde se realiza proceso de limpieza y descontaminación de la caratula del componente, evitando la contaminación de las zonas de trabajo.

4.2.2. Armado

El proceso de armado de los componentes consta del ensamble pieza a pieza, utilizando piezas reutilizadas, reparadas y nuevas, según el estado en que llegó el componente a las instalaciones y la evaluación técnica realizada durante el proceso de desarme. El armado se ejecuta conforme al procedimiento de montaje proporcionado por el fabricante, el cual establece la secuencia del ensamblaje, las herramientas especiales requeridas, los torques de apriete, los puntos de inspección por etapa, entre otros. Dentro del armado se elabora un Informe de Armado en el que se registra el procedimiento utilizado, las herramientas, mediciones y verificaciones finales, con el objetivo de entregar al cliente un respaldo trazable de todas las actividades ejecutadas durante el armado del componente.

4.2.3. Pruebas y Ajustes

Para componentes tales como mandos finales, diferenciales y motores, las pruebas y ajustes incluyen la verificación de hermeticidad mediante pruebas de presión o vacío, el control de posibles fugas en sellos y uniones, el ajuste de los pares de apriete de los pernos según las especificaciones del fabricante y, cuando corresponde, la comprobación del juego axial y radial, así como del patrón de contacto de los engranajes.

Para transmisiones y convertidores, además, se realizan ensayos en banco de pruebas, donde se verifica el sistema de lubricación (presión y caudal), el funcionamiento de bombas internas, embragues y frenos, la calidad de los cambios de marcha y la respuesta del conjunto bajo distintas cargas y regímenes de giro, monitoreando temperaturas, vibraciones y posibles fugas de aceite. De este modo, se evalúa la calidad del

ensamble y se entrega al cliente la certeza de que el componente cumple los estándares operacionales definidos para su correcto funcionamiento.

4.2.4. Pintura y Embalaje

En esta última etapa, el componente es enviado a la zona de pintura para aplicar el color correspondiente, de acuerdo con lo definido por el fabricante. Posteriormente, se colocan los tapones y el componente es enviado al taller de reparación para su embalaje corporativo, junto con toda la documentación técnica y su garantía asociada.

Los procesos de reparación mencionados poseen tiempos estándar para cada uno de ellos, según el tipo de componente y el tipo de equipo al que pertenece. Si bien los equipos comparten componentes similares en el tren de fuerza, presentan variaciones significativas entre sí, tales como diferencias en capacidad de carga, rango de potencia, configuración del tren de fuerza y condiciones de operación para las que fueron diseñados. Estas variaciones se reflejan en el tiempo requerido para ejecutar cada etapa del proceso, así como en la cantidad y el nivel de especialización de los trabajadores necesarios para llevarlo a cabo. Por ende, el estudio contemplará tanto las HH (horas-hombre) utilizadas para reparar un componente en general, definidas por el fabricante en sus estándares de reparación, como las HH empleadas para completar cada uno de los procesos de reparación mencionados anteriormente, de manera individual.

Con lo anterior, queda descrito el proceso completo de reparación de componentes, sus etapas operativas y las variables que influyen en su desempeño, particularmente en términos de tiempos, recursos y especialización requerida. Esta caracterización permite identificar brechas y oportunidades de mejora en la ejecución de los procesos, las cuales serán abordadas mediante herramientas y enfoques de mejora continua. En este contexto, a continuación se presenta el marco teórico que sustenta el análisis y las metodologías aplicadas en el desarrollo del presente estudio.

5. Marco Teórico

El presente marco teórico reúne los principales conceptos, enfoques y metodologías que sustentan el desarrollo del estudio, proporcionando el fundamento conceptual necesario para el análisis del proceso de reparación de componentes y la formulación de propuestas de mejora. Estos elementos teóricos permiten contextualizar las herramientas utilizadas, comprender su aplicación en entornos industriales y respaldar técnicamente las decisiones metodológicas adoptadas a lo largo del trabajo.

5.1. Mejora Continua

El Kaizen Institute [8] comenta que la mejora continua es un concepto fundamental en el contexto de la excelencia operacional y se refiere al esfuerzo sistemático y constante para perfeccionar procesos, servicios y productos de una organización. Este concepto se basa en la idea de que siempre existen oportunidades de mejora, independientemente de cuán eficientes o avanzados sean los sistemas actuales.

El enfoque principal de la mejora continua es aumentar la eficiencia, reducir des-

perdicios, mejorar la calidad y agregar valor a cada proceso, todo ello bajo un marco de participación activa de los trabajadores. Su objetivo central es lograr que la organización se mantenga en un ciclo permanente de aprendizaje y adaptación, garantizando así su capacidad de responder a los cambios del entorno y a las demandas del mercado.

Originada en Japón tras la Segunda Guerra Mundial, la filosofía Kaizen, que significa *mejora continua* o *cambio para mejor*, impulsa pequeños ajustes constantes para optimizar procesos y empoderar a los empleados en la resolución de problemas. Kaizen inspiró el Sistema de Producción Toyota (TPS), que formalizó la mejora continua en un marco operativo mediante principios como Just-In-Time (JIT) y jidoka. El TPS sirvió como base para el pensamiento Lean, que generaliza estos conceptos para maximizar el valor al cliente y reducir los desperdicios en diversas industrias.

Complementariamente, la mejora continua puede estructurarse mediante distintos enfoques metodológicos. Por ejemplo, el Ciclo de Deming (PDCA) actúa como un mecanismo básico de gestión que operacionaliza el Kaizen, permitiendo planificar, ejecutar, verificar y ajustar mejoras de manera sistemática. Asimismo, Six Sigma aborda la mejora desde un enfoque analítico, utilizando herramientas estadísticas para reducir la variabilidad y aumentar la estabilidad de los procesos. En este contexto, la integración de estos enfoques con el pensamiento Lean da origen a Lean Six Sigma (LSS), el cual combina la eliminación de desperdicios con el control riguroso de la calidad, ampliando el alcance de la mejora continua en contextos organizacionales complejos.

5.1.1. Sistema de Producción Toyota

El TPS tuvo sus orígenes a principios del siglo XX en la industria textil, de la mano de Sakichi Toyoda. En esa época, Toyoda implementó mecanismos que permitían la detención automática de las máquinas al detectar un atoramiento, además del intercambio automático del carrete de hilo. Estas innovaciones constituyeron el inicio de uno de los pilares fundamentales del TPS: el Jidoka, o automatización con un toque humano.

Con el paso del tiempo, los herederos de la empresa textil decidieron trasladarse a la industria automotriz, dando origen a lo que hoy se conoce como Toyota Motor Corporation, uno de los fabricantes líderes a nivel mundial y el modelo a seguir de muchas de las compañías automovilísticas que existen en el mundo. En este proceso, Kiichiro y Eiji Toyoda, junto con Taiichi Ohno, enfrentaron el desafío de competir contra los fabricantes estadounidenses que dominaban el mercado tras la Segunda Guerra Mundial. Para lograrlo, diseñaron un sistema de producción en el que equipos, recursos y trabajadores cooperaran de manera eficiente, generando valor sin incurrir en desperdicios.

De esta forma se consolidó el TPS, cuya esencia no reside únicamente en herramientas metodológicas como el JIT o el propio Jidoka, sino en la instauración de una cultura organizacional de mejora continua. En ella, cada trabajador asume un rol activo en la optimización de procesos, guiados por el principio rector del sistema: la eliminación sistemática de MUDA.

- **JIT:** Sincroniza los procesos productivos con la demanda real, fabricando solo lo necesario, en la cantidad exacta y en el momento preciso, reduciendo costos e inventarios innecesarios.
- **Jidoka:** Integra automatización y supervisión humana, deteniendo procesos al detectar defectos para garantizar calidad en origen y facilitar la resolución inmediata de problemas.

5.2. Ciclo Deming

Si bien existen muchas metodologías que siguen el camino de la mejora continua, para los especialistas el Ciclo Deming es la base esencial del mejoramiento continuo. En palabras del propio Deming, esta metodología es un procedimiento valioso que ayuda a perseguir la mejora en cualquier etapa; también es un procedimiento para descubrir una causa especial que haya sido detectada por una señal estadística.[13]

El ciclo Deming, o ciclo PHVA (Planificar – Hacer – Verificar – Actuar), constituye una metodología fundamental en la mejora continua. Su enfoque cíclico permite mantener los procesos constantemente revisados, asegurando que se evalúen periódicamente sus resultados y se identifiquen oportunidades de optimización. A través de esta dinámica, se logra la detección sistemática de pérdidas y fuentes de ineficiencia, favoreciendo la implementación de mejoras que incrementan la eficiencia, la confiabilidad y el aprendizaje organizacional.

Tabla 2: Etapas del Ciclo Deming

Fuente: Deming, E. (1989)

Etapa	Descripción
Planificar	Se identifican problemas, se analizan sus causas y se planifican mejoras, definiendo objetivos claros y alcanzables.
Hacer	Se ejecutan las acciones planificadas, generalmente en forma de prueba piloto o en pequeña escala, capacitando al personal e implementando soluciones.
Verificar	Se revisan y miden los resultados obtenidos para compararlos con los objetivos planteados, validando la efectividad de las mejoras.
Actuar	Se estandarizan las mejoras exitosas y, en caso de desviaciones, se ajustan los procesos, fomentando la mejora continua.

El Ciclo Deming es fundamental en cuanto a la mejora continua, pues este requiere de un proceso cíclico e inacabado; es decir, estar constantemente analizando procesos y proponiendo mejoras frente a ciertos procesos deficientes. En este sentido, la mejora continua siempre será una meta en sí, mientras que la perfección es inalcanzable. En consecuencia, implementar la mejora continua de manera inacabada impulsa la búsqueda de maximizar los estándares y lograr acercarse lo más posible a la perfección.

5.3. Pensamiento LEAN

El pensamiento LEAN tiene como principal objetivo aumentar el valor para el cliente y minimizar las pérdidas o desperdicios mediante procesos de mejoramiento continuo que promueven la eficiencia, la calidad y la flexibilidad. Con esto se busca instaurar una cultura organizacional donde todos los trabajadores participen activamente en la identificación e implementación de mejoras, contribuyendo a la satisfacción del cliente y a la reducción de los costos.

5.3.1. Modo de Operación

Los principios fundamentales del pensamiento Lean constituyen la base estructural de esta filosofía, estableciendo un marco operativo que guía su implementación en cualquier organización. Estos principios, inspirados del TPS, son cinco y se presentan como un enfoque sistemático para transformar procesos.

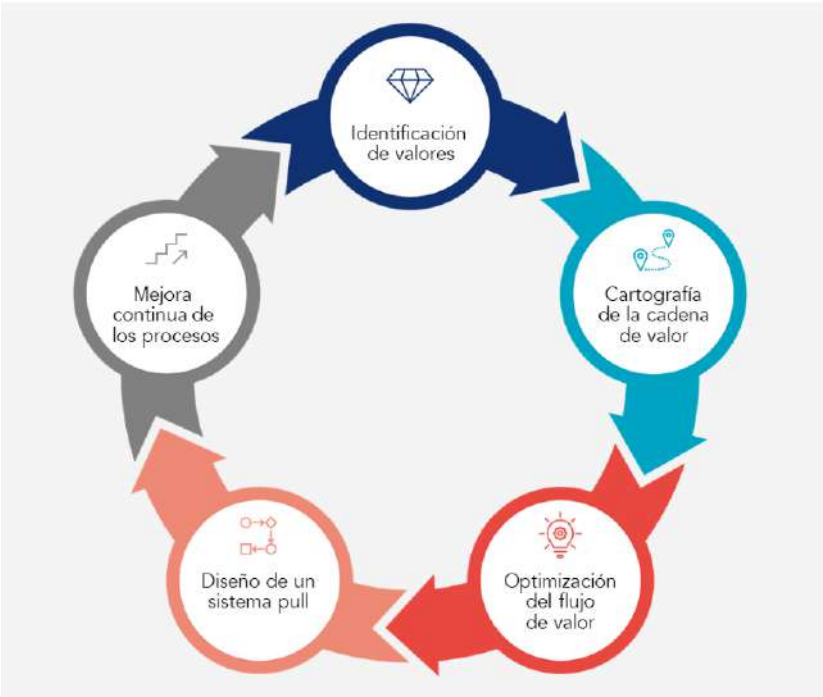

Figura 14: Los Principios del Pensamiento LEAN

Fuente: Kaizen Institute. Definición y ventajas del Lean

1. **Identificación de Valores**
   Este principio implica determinar el valor desde la perspectiva del cliente, definiéndolo como las características del producto o servicio por las que está dispuesto a pagar. Womack y Jones [6] subrayan que el valor debe establecerse mediante un análisis detallado de las necesidades del cliente, excluyendo actividades que no aporten beneficios directos. En contextos industriales, el valor podría incluir la entrega oportuna de un producto o la confiabilidad de un servicio de mantenimiento, priorizando estos aspectos por sobre procesos administrativos redundantes.

2. **Cartografía de la Cadena de Valor**
   Consiste en documentar y analizar la secuencia completa de actividades necesarias para entregar valor a lo largo del proceso, desde la entrada de los insumos hasta la entrega del producto o servicio. Womack y Jones [6] denominan esta secuencia como *value stream* y proponen clasificar cada etapa en actividades que agregan valor, actividades necesarias pero no valoradas y desperdicios. Este mapeo permite identificar desperdicios y cuellos de botella, como la reorganización de flujos de producción o la reducción de tiempos de espera.

3. **Optimización del Flujo de Valor**
   Este principio busca establecer un proceso sin interrupciones, asegurando que cada etapa avance sin espera hacia la siguiente, de manera fluida. Se destaca la importancia de eliminar paradas que generan acumulaciones de trabajo en curso o defectos. La implementación de un flujo continuo puede lograrse mediante la reconfiguración de líneas de producción o la sincronización de etapas, reduciendo los tiempos de ciclo.

4. **Diseño de un Sistema Pull**
   Implica producir o realizar actividades únicamente cuando existe una demanda explícita del cliente, evitando la acumulación de inventarios excesivos. Este concepto se introduce con el sistema Kanban como mecanismo visual de señalización. Este enfoque se implementa mediante sistemas de gestión visual que activan la producción o reposición de materiales según el consumo real, optimizando los recursos disponibles.

5. **Mejora Continua de los Procesos**
   Este principio promueve una mejora continua iterativa, conocida como Kaizen, donde se realizan ajustes constantes para afinar los procesos. Womack y Jones consideran que la perfección es un objetivo a largo plazo que requiere un compromiso organizacional sostenido, implementado a través de revisiones periódicas y ajustes basados en datos.

5.3.2. Conceptos de MUDA

Taiichi Ohno consideraba que toda actividad que consume recursos y no agrega valor para el cliente debe considerarse como MUDA. Eliminar estas MUDA permite reducir costos, acortar tiempos de entrega, mejorar la calidad y aumentar la flexibilidad del sistema productivo.

- **Sobreproducción:** Producir más de lo que se necesita o antes de que sea requerido, lo que genera acumulación innecesaria de inventarios y costos adicionales.

- **Inventario excesivo:** Mantener más materias primas, productos en proceso o terminados de lo estrictamente necesario, lo que oculta ineficiencias y aumenta los gastos de almacenamiento.

- **Transporte innecesario:** Trasladar materiales, componentes o productos sin que ello agregue valor, incrementando riesgos y tiempos improductivos.

- **Esperas:** Tiempos muertos generados por la falta de sincronización entre procesos, cuando trabajadores, máquinas o materiales permanecen detenidos sin aportar valor.
- **Procesamiento inadecuado:** Emplear procesos más complejos, costosos o redundantes de lo necesario para cumplir con los requisitos, generando un uso ineficiente de los recursos.
- **Movimientos innecesarios:** Desplazamientos innecesarios de los trabajadores, como caminar, girar, agacharse o buscar herramientas, que aumentan el tiempo de ciclo y la fatiga.
- **Defectos y retrabajos:** Producir piezas fuera de especificación que deben corregirse o desecharse, lo que incrementa los costos y afecta la satisfacción del cliente.

La identificación y comprensión de las distintas formas de desperdicio permiten establecer una base sólida para el análisis de los procesos de reparación, orientando los esfuerzos de mejora hacia aquellas actividades que no agregan valor y que impactan directamente en los tiempos, costos y calidad del servicio. Este enfoque resulta especialmente relevante en contextos donde la variabilidad de los procesos y el consumo de horas-hombre influyen de manera significativa en el desempeño operacional, haciendo necesario complementar la filosofía Lean Six Sigma con metodologías que permitan analizar y controlar dicha variabilidad de forma estructurada.

5.4. Six Sigma

Corresponde a una metodología de mejora basada en proyectos, creada por Bill Smith en Motorola, cuyo propósito central es reducir la variabilidad de los procesos y garantizar altos niveles de calidad mediante el análisis estadístico. Six Sigma establece como meta que un proceso alcance un desempeño de 3,4 defectos por cada millón de oportunidades (DPMO), valor asociado al nivel Six Sigma bajo el supuesto de un desplazamiento de 1,5 en el desempeño del proceso, lo que permite asegurar la satisfacción de los requerimientos más exigentes de los clientes.

Un principio fundamental de esta metodología es la optimización del desempeño de los procesos, lo cual se logra a través de la correcta selección de los proyectos de mejora. Para ello, se recomienda la aplicación de un análisis de costo-beneficio que permita priorizar las iniciativas con mayor impacto, considerando tanto los ahorros directos como los indirectos que estas puedan generar para la organización.

La herramienta principal para la implementación de Six Sigma es el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), concebido como una adaptación estructurada del ciclo Deming, pero con un énfasis más riguroso en la utilización de datos estadísticos y el análisis cuantitativo de los procesos. Las etapas que lo componen son las siguientes:

1. **Definir (D):** Delimitar el proyecto en el cual se aplicará la metodología, estableciendo con claridad los objetivos, el alcance y las metas del proceso a mejorar.

2. **Medir (M):** Medir y documentar el estado actual del proceso, recopilando datos relevantes y confiables que permitan caracterizar su desempeño.

3. **Analizar (A):** Analizar la información obtenida para identificar la causa raíz de los problemas, evaluando las fuentes de variabilidad y determinando las oportunidades de mejora.

4. **Mejorar (I):** Implementar soluciones orientadas a eliminar las causas identificadas, optimizando el proceso y reduciendo la variabilidad detectada.

5. **Controlar (C):** Asegurar la sostenibilidad de las mejoras implementadas mediante planes de monitoreo, control permanente y estandarización de los resultados obtenidos.

5.5. Lean Six Sigma

Lean Six Sigma (LSS) integra el pensamiento Lean y Six Sigma, uniendo la filosofía de mejora continua derivada del Kaizen y el TPS con un enfoque estadístico y basado en proyectos. Lean aporta una cultura organizacional enfocada en maximizar el valor para el cliente mediante la eliminación de desperdicios, utilizando herramientas como el mapeo de la cadena de valor para identificar actividades innecesarias. Six Sigma, por su parte, se aplica mediante el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) y el análisis estadístico para reducir la variabilidad y garantizar la calidad, con una meta de 3,4 defectos por cada millón de oportunidades. Esta combinación optimiza procesos al abordar simultáneamente la eficiencia operativa y la consistencia, por ejemplo, reduciendo tiempos de reparación en un taller mientras se minimizan defectos. LSS fomenta un cambio cultural orientado al cliente y a resultados operacionales y financieros.

Con el fin de estructurar la implementación de Lean Six Sigma en esta investigación, se adoptará la metodología propuesta por Felizzola y Luna (2014), la cual organiza el despliegue del LSS en cuatro fases: preparación, identificación, ejecución y evaluación, alineadas con metas y objetivos estratégicos, y sustentadas en una cultura de mejora continua. Esta metodología, presentada en la **Figura 15**, se utilizará como marco guía para el desarrollo de las etapas descritas a continuación.

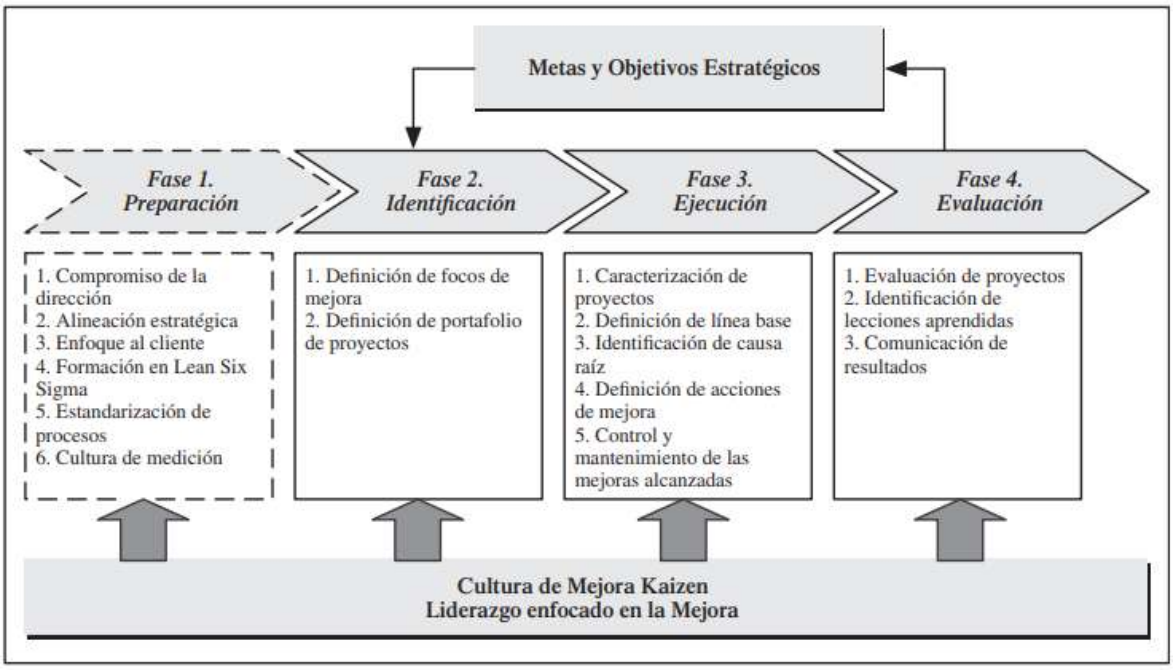

Figura 15: Metodología para Implementación Lean Six Sigma

Fuente: Felizzola, H. & Luna, C. (2014)

5.5.1. Preparación

Para implementar con éxito la metodología LSS, la organización debe asegurar una serie de condiciones habilitantes que permitan desarrollar proyectos con alta probabilidad de éxito. Estas condiciones iniciales constituyen la base para garantizar la correcta aplicación de la metodología y su alineación con los objetivos estratégicos de la organización. [14]

- **Compromiso de la Dirección**
  Asegurar la disponibilidad de recursos y promover la motivación de los trabajadores, con el fin de lograr una participación activa y sostenida en las iniciativas de mejora de procesos.

- **Alineación Estratégica**
  Definir objetivos claros y coherentes con la estrategia global de la organización, orientando los esfuerzos en mejora hacia prioridades comunes y de alto impacto.

- **Enfoque en el Cliente**
  Identificar y segmentar clientes, comprendiendo sus necesidades y expectativas como base para orientar las acciones de mejora y maximizar el valor agregado.

- **Formación en LSS**
  Contar con personal capacitado y con conocimientos suficientes sobre la metodología, asegurando una implementación adecuada.

- **Estandarización de Procesos**
  Disponer de procesos claros y estandarizados que permitan realizar mediciones confiables y comparables.

- **Cultura de Medición**
  Establecer KPIs que faciliten la verificación, el seguimiento y el control de resultados, promoviendo la mejora continua y la sostenibilidad de las mejoras implementadas.

5.5.2. Identificación

Se debe identificar el propósito y enfoque del proyecto. En esta fase, resulta fundamental responder a dos preguntas clave: ¿qué se quiere lograr con la implementación de LSS? y ¿qué proyectos se deben ejecutar para lograr los objetivos estratégicos? [14]

- **Definir focos de mejora**
  Se deben definir previamente las áreas, procesos o productos y servicios críticos sobre los cuales se va a trabajar, considerando los objetivos estratégicos y los KPIs a utilizar, con el fin de generar una estimación preliminar de los costos y beneficios del proyecto.

- **Definir portafolios de proyectos**
  Debe construirse un conjunto de proyectos alineados con los focos de mejora estratégicos de la organización, priorizando iniciativas que aporten alto impacto en los resultados financieros y en la satisfacción del cliente. La selección de proyectos no alineados con la estrategia organizacional implica desperdicio de recursos y limita el compromiso directivo, reduciendo la efectividad de la metodología.

5.5.3. Ejecución

En esta etapa se materializa la metodología mediante la aplicación del ciclo DMAIC, el cual constituye la herramienta central de mejora dentro de la fase de ejecución del modelo Lean Six Sigma adoptado. Además, se aplican principios y herramientas del pensamiento Lean orientados a la eliminación de desperdicios y a la optimización del desempeño de los procesos. Si bien el ciclo DMAIC fue presentado anteriormente en este informe, en esta fase se desarrolla su aplicación de manera más profunda y específica, en coherencia con el marco metodológico propuesto por Felizzola y Luna.

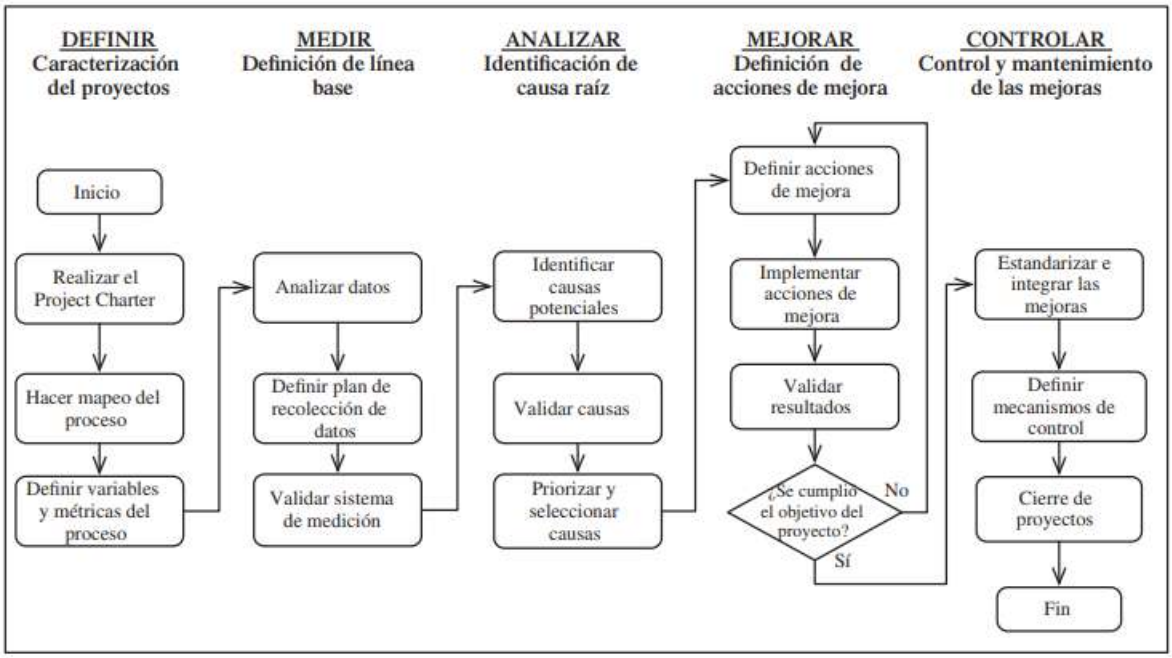

Figura 16: Metodología DMAIC para Proyecto Lean Six Sigma.

Fuente: Felizzola, H. & Luna, C. (2014)

5.5.3.1. Definir

Definir el alcance y los lineamientos finales del proyecto, utilizando herramientas de priorización como el Diagrama de Pareto, con el fin de obtener una definición más clara y específica de las áreas en las que se debe enfocar el caso de estudio.

1. **Project Charter:** Es una carta de información del proyecto, la cual como mínimo debe contener: el título del proyecto, los objetivos, el planteamiento del problema, el estado actual, las métricas LSS y el equipo del proyecto.

2. **Mapeo del proceso:** Tener en consideración el diagrama de flujo del proceso productivo, en el cual se distingan todas las actividades del proceso.

3. **Identificar KPIs:** En base al análisis del proceso, se identificarán las métricas que serán utilizadas para realizar el seguimiento y control del proyecto.

5.5.3.2. Medir

1. **Sistema de medición:** El método de análisis estadístico a utilizar depende del tipo de datos (continuos o atributos) que serán recolectados para el análisis; sin embargo, todos deben ser evaluados según exactitud, linealidad, estabilidad, repetibilidad y reproducibilidad.

2. **Plan de recolección de datos:** Definir un plan de recolección de datos para la realización del análisis, el seguimiento de KPIs y la identificación de causas raíz.

3. **Definir estado inicial:** Se debe identificar en qué estado se encuentra actualmente el proceso. El estado se define mediante un Análisis de Capacidad del

Proceso. Este análisis cuantifica la Voz del Proceso (VOP) y la compara con la Voz del Cliente (VOC) para calcular métricas LSS clave como el C_p, C_{pk}, P_{pk}, Nivel Z y Partes por Millón (PPM), estableciendo así la línea base a partir de la cual se medirá la mejora.

5.5.3.3. Analizar

En esta etapa se requiere identificar las causas potenciales del problema y priorizarlas según el impacto que tienen en el proceso. Para ello, se propone el uso de herramientas como el Diagrama de Ishikawa, el Análisis de Modo y Efecto de Falla en Procesos (PFMEA) y técnicas basadas en la identificación de causas raíz. Para esta fase del ciclo se debe tener presente el pensamiento Lean y MUDA identificadas en el proceso, las cuales fueron debidamente comentadas anteriormente.

5.5.3.4. Mejorar

El propósito de la fase de Mejorar dentro del ciclo DMAIC es definir e implementar acciones que optimicen el proceso productivo y eliminen las causas raíz de las ineficiencias detectadas. Para ello, se aplican técnicas como la lluvia de ideas, el benchmarking y el pensamiento Lean, lo que permite generar un abanico de posibles soluciones, tanto innovadoras como prácticas. Estas alternativas no se adoptan de forma inmediata, sino que se someten a un análisis comparativo a través de herramientas como la matriz de priorización, que facilita la selección de aquellas acciones con mayor impacto potencial, viabilidad técnica y alineación con los objetivos estratégicos de la organización. Una vez seleccionadas, se procede al rediseño del flujo del proceso, asegurando que las mejoras se integren de manera coherente con la operación existente y evitando la generación de nuevos desperdicios o cuellos de botella.

Finalmente, se planifica la implementación de las soluciones en dos niveles: pruebas piloto, que permiten validar su eficacia en un entorno controlado, y una posterior aplicación a gran escala. Este proceso se acompaña de la definición de indicadores clave de desempeño (KPIs), que hacen posible medir, verificar y dar seguimiento al impacto real de las mejoras sobre la eficiencia operativa, la calidad y la satisfacción del cliente.

5.5.3.5. Controlar

La última fase de DMAIC está orientada a verificar los logros alcanzados durante la etapa de mejora. No se trata solo de implementar cambios puntuales, sino de asegurar que estos permanezcan en el tiempo y se estandaricen, evitando retrocesos y asegurando la continuidad organizacional. Para ello, resulta clave documentar cada avance y definir prácticas que faciliten la continuidad operativa.

En primer lugar, es necesario estandarizar los procesos, elaborando manuales, procedimientos y guías de calidad que permitan que el conocimiento adquirido quede registrado y disponible para todos, evitando que dependa únicamente de quienes participaron en el proyecto. Del mismo modo, se deben diseñar mecanismos de control que permitan evaluar periódicamente el cumplimiento de las mejoras, facilitando su seguimiento y corrigiendo desviaciones cuando sea necesario mediante acciones definidas y

responsables asignados.

Finalmente, una parte esencial de esta etapa es el cierre formal del proyecto, lo que implica elaborar un informe claro y preciso que comunique los resultados a las partes interesadas, reconozca el trabajo realizado y deje una base sólida para futuras iniciativas de mejora y auditorías internas.

5.5.4. Evaluación

La fase de evaluación cierra el ciclo del proyecto, y busca medir los resultados de los proyectos LSS, verificando su impacto en la empresa e identificando nuevas oportunidades de mejora. Además, permite registrar aciertos y errores para fortalecer el aprendizaje organizacional. Esta etapa incluye la revisión de resultados y la sistematización de lecciones aprendidas, lo que evita repetir fallas en futuros proyectos. Dado que se trata de un proceso cíclico, es necesario revisar y replantear constantemente los proyectos para asegurar la mejora continua.

Se establece Six Sigma como un marco metodológico orientado a reducir la variabilidad y fortalecer el desempeño de los procesos mediante un enfoque analítico y sustentado en datos. En este capítulo, el ciclo DMAIC se presenta como el eje operativo para estructurar y conducir proyectos de mejora, integrándose directamente en la fase de ejecución del modelo propuesto por Felizzola y Luna, lo que permite asegurar trazabilidad, control y sostenibilidad de las acciones implementadas. Bajo este enfoque, la mejora no depende de intuiciones ni de ajustes aislados, sino de evidencia medible y de decisiones técnicas, lo que fundamenta la aplicación de herramientas específicas de análisis de procesos que se desarrollan en los capítulos siguientes.

5.6. Herramientas para Análisis del Proceso

5.6.1. Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de causa-efecto o diagrama de espina de pescado, es una herramienta visual que facilita el análisis de las posibles causas de un problema [16]. El problema se representa como la cabeza del pez, como se observa en la figura **17**.

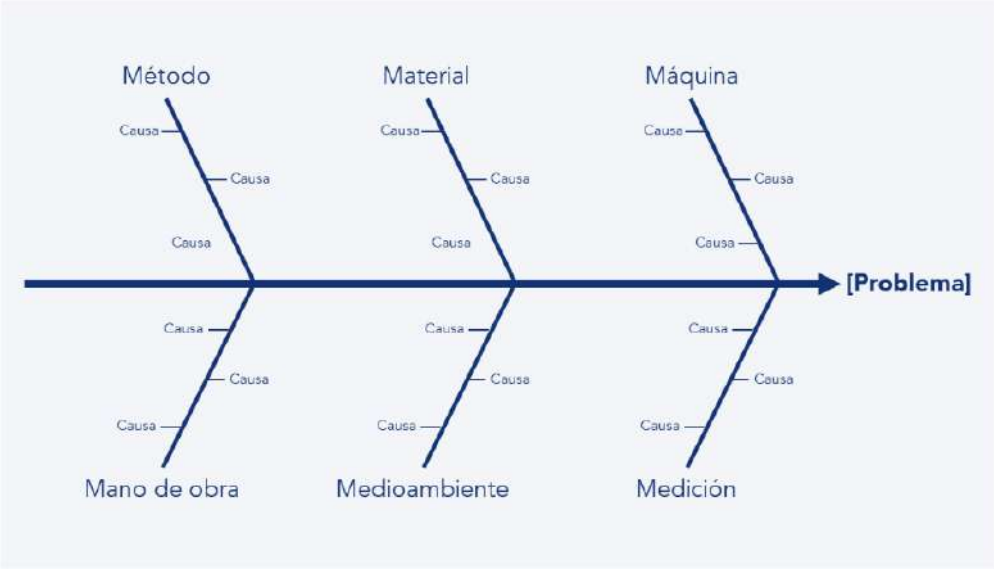

Figura 17: Ejemplo de Estructura - Diagrama de Ishikawa

Fuente: Kaizen Institute

Las causas se caracterizan dentro del marco de las 6M (Método, Material, Máquina, Mano de Obra, Medio Ambiente y Medición), las cuales se ubican en las espinas del diagrama, con el fin de generar una representación ordenada y clara desde el punto de vista visual. Para facilitar el análisis de identificación de causa raíz, esta herramienta se complementa con la técnica de los **5 Porqués**, la cual busca identificar el origen real de un problema preguntando sucesivamente "¿Por qué?" ante cada respuesta obtenida. Al alcanzar el quinto nivel de cuestionamiento, se logra identificar la causa raíz del problema.

5.6.2. Análisis de Modo y Efectos de Falla en Procesos

El Análisis de Modo y Efectos de Falla en Procesos (PFMEA) es una herramienta analítica estructurada y sistemática, utilizada para identificar y prevenir fallas potenciales antes de que estas ocurran, optimizando costos debido a la reducción de retrabajos, paradas no programadas y pérdidas en la calidad. Para ejecutarla de mejor manera, se sigue la estructura de la **Tabla 3**.

Tabla 3: Ejemplo de Estructura - PFMEA

Fuente: Elaboración Propia

Modo de Falla Potencial	Efectos de Falla Potencial	SEV	Causas o Mecanismos de Falla	Controles Preventivos Actuales	OCU	Controles de Detección Actuales	DET	NPR

1. **Definir alcance:** Mapear todas las etapas o actividades del proceso a analizar.

2. **Identificar Modos de Falla:** Mal montaje, medida fuera de tolerancia, contaminación, etc.

3. **Efectos y causas potenciales:** Identificar los efectos y alinearlos con su correspondiente causa.

4. **Evaluación de Riesgo:** Se determina el impacto que tiene el efecto (Severidad), la probabilidad de que se produzca tal efecto (Ocurrencia) y la probabilidad de detectarlo antes de que ocurra (Detectabilidad). El resultado clave del PFMEA es el Número de Prioridad de Riesgo (NPR).

   Este número cuantifica el riesgo de cada causa raíz y se calcula multiplicando las tres calificaciones, como se muestra en la ecuación 1.

   $$NPR = \text{Severidad} \times \text{Ocurrencia} \times \text{Detección} \tag{1}$$

   Los valores asignados a la severidad, ocurrencia y detectabilidad se encuentran entre 1 y 10, dando un rango de resultados de 1 a 1.000 para el NPR. Un valor de 1000 representa un riesgo extremadamente alto, mientras que un valor de 1 corresponde a un riesgo trivial para el proceso. En la fase de análisis se deben enfocar los esfuerzos en las causas raíz con los valores de NPR más altos. Las acciones de mejora que se desarrollan en la siguiente fase deben estar orientadas a reducir estos valores de NPR, principalmente mediante la disminución de la ocurrencia y el aumento de la detectabilidad.

5. **Definir e implementar acciones:** Identificadas las actividades críticas, se inicia el proceso de implementación de acciones correctivas y capacitaciones orientadas a la optimización del proceso.

6. **Revisión y control:** Actualización de la documentación cada vez que se realice una modificación en el proceso, así como la detección de nuevas fallas o la implementación de mejoras.

5.6.3. Metodología 5W+2H

Para un levantamiento de procesos y conocer en detalle cada actividad, se recomienda la utilización de la herramienta **5W+2H**, a modo de obtener una noción completa de cada una de las actividades y su contexto, según la información levantada por el usuario y los registros del proceso.

Tabla 4: Cuadro para Uso de Metodología 5W+2H

Fuente: Elaboración Propia

Clave	Preguntas
What (Qué)	- ¿Qué actividad? - ¿Qué recursos utilizan? - ¿Qué resultados se obtienen?
Why (Por qué)	- ¿Por qué es importante realizarlo? - ¿Por qué se hace de esta manera? - ¿Por qué se considera prioritario?
Who (Quién)	- ¿Quién es el responsable? - ¿Quién participa en la ejecución? - ¿Quién supervisa los resultados?
Where (Dónde)	- ¿Dónde se lleva a cabo la acción? - ¿Dónde se utilizan los recursos? - ¿Dónde se generan los resultados?
When (Cuándo)	- ¿Cuándo se realiza? - ¿Cuándo se evalúan los resultados? - ¿Cuándo se deben implementar mejoras?
How (Cómo)	- ¿Cómo se realiza la acción? - ¿Cómo se miden los resultados? - ¿Cómo se asegura la calidad del proceso?
How much (Cuánto)	- ¿Cuánto cuesta la actividad? - ¿Cuánto tiempo demora? - ¿Cuánto se espera ahorrar o ganar?

Implementada la herramienta anterior, se debe analizar y validar las causas con base en la información disponible, para finalmente seleccionar y priorizar las causas a trabajar en la implementación del modelo LSS.

5.6.4. Análisis de Pareto

El Análisis de Pareto es una herramienta fundamental de la gestión de calidad, popularizada por Joseph M. Juran. Su base conceptual es el Principio de Pareto (también conocido como la regla 80/20), el cual postula que, para la mayoría de los fenómenos, una proporción reducida de causas genera la mayor parte de los efectos, estimándose que aproximadamente el 80 % de los problemas son el resultado de solo el 20 % de las causas.

Juran adaptó este concepto para la gestión de la calidad, acuñando el término de los "pocos vitales y los muchos triviales", destacando la importancia de identificar y priorizar aquellas causas que tienen mayor impacto en el desempeño del proceso.

La estructura de esta herramienta consta de un gráfico de barras que ordena las causas de mayor a menor frecuencia, junto con una línea que representa el porcentaje acumulado, permitiendo visualizar claramente cuáles son las causas críticas sobre las

cuales conviene enfocar los esfuerzos de mejora, como se observa en la **figura 18**

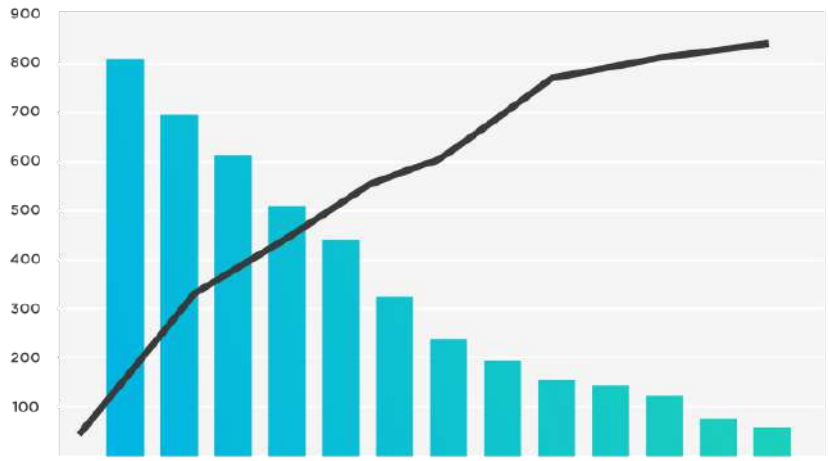

Figura 18: Ejemplo de Estructura - Diagrama de Pareto

Fuente: https://www.jaspersoft.com/es/articles/what-is-a-pareto-chart

Estructura de cálculo para la generación del Diagrama de Pareto:

1. Se tabulan las causas y su frecuencia.
2. Se ordenan las causas de mayor a menor frecuencia.
3. Se calcula el peso porcentual de cada causa sobre el total.

$$\% \text{ Causa} = \left(\frac{\text{Frecuencia de la Causa}}{\text{Frecuencia Total}}\right) \times 100 \tag{2}$$

4. Se calcula el porcentaje acumulado de cada causa, sumando progresivamente el peso porcentual de cada causa.
5. Se construye gráfico de barras (Frecuencia) y la línea porcentual acumulado, identificando el punto en que este alcanza aproximadamente el 80 % , lo que permite distinguir los *pocos vitales* de los *muchos triviales*.

El Diagrama de Pareto es una herramienta clave en la fase Definir del ciclo DMAIC. ya que permite priorizar las causas mas relevantes del problema, enfocando los esfuerzos de análisis y mejora en aquellos factores que generen el mayor impacto.

5.6.5. Análisis de Capacidad de Procesos

El Análisis de Capacidad de Procesos es un conjunto de herramientas estadísticas utilizadas para evaluar la capacidad de un proceso para cumplir con un conjunto de especificaciones o tolerancias. Es una herramienta empleada en la fase Medir del ciclo DMAIC para establecer la línea base del desempeño del proceso

Tiene como objetivo comparar la voz del proceso (VOP) con la voz del cliente (VOC). La VOC representa los requerimientos que debe cumplir el proceso, aportados por el cliente interno o externo, o por la alta gerencia de la empresa. La VOP corresponde a lo entregado por el proceso, medido a partir del comportamiento estadístico de los datos, cuantificado principalmente mediante la media y la desviación estándar, las cuales permiten describir el nivel central del desempeño y su variabilidad.

En este contexto, la caracterización estadística del proceso constituye un paso previo necesario para evaluar su capacidad, ya que permite establecer una referencia objetiva del comportamiento actual del proceso frente a los requisitos definidos por la VOC.

En este punto se definen y describen las principales variables e indicadores utilizados por el software MiniTab en el análisis de capacidad de procesos, con el propósito de establecer un marco de interpretación técnico para la lectura de sus reportes. Se abordarán parámetros como los límites de especificación (LEI y LES), el objetivo, la media, el tamaño muestral, la desviación estándar a corto y largo plazo, así como métricas de capacidad y desempeño (C_{pk}, P_{pk}, C_{pm}, nivel Z y PPM), explicando su significado y utilidad en la evaluación del cumplimiento de especificaciones. Esta base conceptual permitirá, en el capítulo de desarrollo, aplicar dichos indicadores a los datos del proceso y analizar empíricamente los resultados obtenidos, interpretando el desempeño real y la brecha de mejora identificada.

Fundamentos Estadísticos

- **Media (μ):** Es la medida de tendencia central del proceso. Representa el promedio aritmético de todos los datos de la muestra.

$$\mu = \frac{\sum X_i}{n} \tag{3}$$

- **Desviación Estándar (σ):** Es la medida de dispersión o variabilidad. Cuantifica qué tan alejados están los datos de la media. Una σ alta indica alta variabilidad, mientras que una σ baja indica baja variabilidad. También corresponde a la raíz cuadrada de la Varianza (S^2).

$$\sigma = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{n-1}} \tag{4}$$

Distribución Normal

La distribución normal, una de las más importantes y utilizadas, es una distribución de variable continua que se mueve entre]-∞,+∞[. Fue presentada por primera vez por Abraham de Moivre en un artículo publicado en el año 1733 y, posteriormente, fue utilizada por Gauss al estudiar la distribución de los errores en las observaciones astronómicas, otorgándole el famoso nombre de la campana de Gauss. Su importancia radica en que permite modelar numerosos fenómenos naturales, sociales y de comportamiento, bajo ciertas condiciones.

La distribución normal está determinada por dos parámetros, la media (μ) y la desviación estándar (σ), los cuales definen completamente su forma, y se describe mediante la siguiente función de densidad:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \tag{5}$$

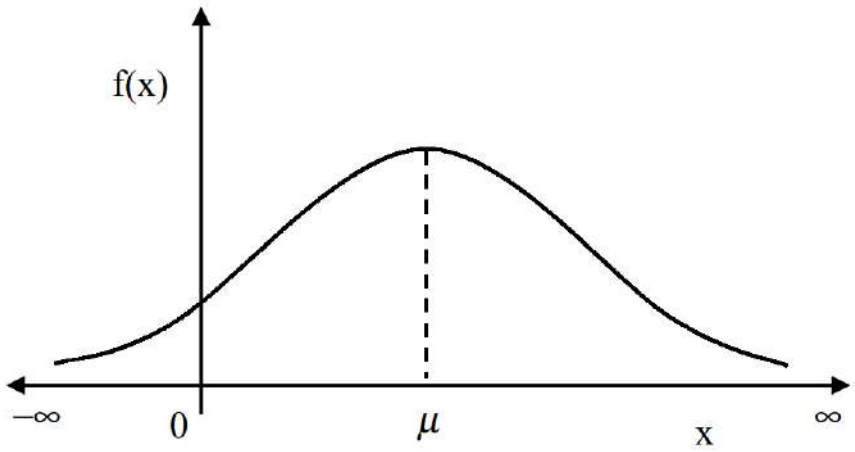

Figura 19: Distribución Normal.

Fuente: https://www.ugr.es/~bioestad/_private/Tema_5.pdf

Algunas propiedades de la distribución normal son:

1. Es simétrica respecto de su media (μ).
2. La media, la moda y la mediana coinciden.
3. Los puntos de inflexión de la curva se dan para x = (μ - σ) y x = (μ + σ).
4. Distribución de probabilidad en un entorno de la media:
   - En el intervalo [(μ - σ), (μ + σ)] se encuentra comprendida, aproximadamente, el 68,26 % de la distribución.
   - En el intervalo [(μ - 2σ), (μ + 2σ)] se encuentra, aproximadamente, el 95,44 % de la distribución.
   - En el intervalo [(μ - 3σ), (μ + 3σ)] se encuentra comprendida, aproximadamente, el 99,74 % de la distribución.

La función de distribución acumulada (FDA) de una variable aleatoria normal, $F(a)$, se define como la probabilidad de que dicha variable tome un valor menor o igual a un valor específico. Esta probabilidad se representa mediante la integral mostrada en la Ecuación 6.

$$P(x \leq a) = F(a) = \int_{-\infty}^{a} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \tag{6}$$

Debido a que esta integral no posee una solución analítica cerrada (es decir, no se puede evaluar en forma elemental), su evaluación se simplifica mediante un cambio de variable conocido como estandarización, mostrado en la Ecuación 7.

$$z = \frac{x-\mu}{\sigma} \tag{7}$$

Esta transformación convierte la variable aleatoria x, que sigue una distribución normal $N(\mu, \sigma^2)$, en una nueva variable aleatoria z, la cual sigue una distribución normal estándar (con media $\mu = 0$ y desviación estándar $\sigma = 1$).

La probabilidad original $P(x \leq a)$ se transforma entonces en un valor equivalente, como se muestra en la (Ecuación 8), el cual se representa mediante la función $\Phi(z)$.

$$P(x \leq a) = P\left\{z \leq \frac{a-\mu}{\sigma}\right\} = \Phi\left(\frac{a-\mu}{\sigma}\right) \tag{8}$$

Los valores de esta función $\Phi(z)$ están precalculados y disponibles en tablas de distribución normal estándar, presentada en la **Tabla B.3**, permitiendo así la evaluación de la probabilidad sin necesidad de integrar.

Capacidad y Desempeño

Con la finalidad de diagnosticar la estabilidad del proceso, se deben calcular dos tipos de desviaciones estándar asociadas al proceso. La desviación estándar tradicional o largo plazo (σ_{LT}) mide la variabilidad real del proceso a lo largo del tiempo, incluyendo fuentes de variación internas y externas del proceso, y se calcula directamente a partir de los datos del proceso como se muestra en la **Ecuación (4)**.

La desviación estándar a corto plazo (σ_{ST}) realiza una estimación de la variabilidad potencial del proceso, es decir, las variaciones normales de un proceso cuando este se encuentra en control estadístico, excluyendo el efecto de causas especiales. El cálculo de (σ_{ST}) requiere el método de Rango Móvil Promedio ($\bar{R}_m$) como paso previo.

1. **Rango Móvil (R_m):** Es el valor absoluto de la diferencia entre un dato y el dato anterior. (Para n datos, se obtienen $n-1$ rangos).

$$R_{mi} = |X_i - X_{i-1}| \tag{9}$$

2. **Rango Móvil Promedio ($\bar{R}_m$):** Es el promedio de todos los rangos móviles.

$$\bar{R}_m = \frac{\sum R_{mi}}{n-1} \tag{10}$$

3. **Constante d_2:** Es utilizada para calcular la desviación estándar a corto plazo y su valor depende del tamaño del subgrupo que se aplique en el análisis, según lo indicado en la **Tabla B.1**. Esta constante ajusta el rango promedio para estimar la desviación estándar del proceso, facilitando la medición de su variabilidad.

4. **Cálculo de σ_{ST}:** Se divide el $\bar{R}_m$ por la constante d_2.

$$\sigma_{ST} = \frac{\bar{R}_m}{d_2} \tag{11}$$

La diferencia entre σ_{LT} y σ_{ST} es un diagnóstico clave: si σ_{LT} es significativamente mayor que σ_{ST}, indica que el proceso es inestable en el tiempo y está siendo afectado por causas especiales de variación.

Índices de Capacidad y Desempeño

Estos índices miden qué tan bien el proceso (VOP) concuerda dentro de los límites de especificación (VOC).

- **Índice de Desempeño Real (P_{pk}):** Mide el desempeño real del proceso. Este índice es una fotografía de la realidad operativa, ya que cuantifica la capacidad del proceso utilizando (σ_{LT}), definida en la Ecuación (3). El P_{pk} incluye, por tanto, toda la variabilidad del proceso, tanto la inherente como la generada por causas especiales (ej.: cambios de turno, lotes, errores).

$$P_{pk} = \text{mín}\left[\frac{LES - \mu}{3\sigma_{LT}}, \frac{\mu - LEI}{3\sigma_{LT}}\right] \tag{12}$$

- **Índice de Capacidad Potencial (C_{pk}):** Mide la capacidad potencial del proceso. Este índice estima qué tan bueno podría ser el proceso si se lograra eliminar toda la variabilidad por causas especiales. Para ello, se calcula utilizando únicamente (σ_{ST}), definida en la Ecuación 11.

$$C_{pk} = \text{mín}\left[\frac{LES - \mu}{3\sigma_{ST}}, \frac{\mu - LEI}{3\sigma_{ST}}\right] \tag{13}$$

- **Índice de Capacidad de Taguchi (C_{pm}):** Mide la capacidad del proceso en relación directa con el valor objetivo, y no solo con los límites de especificación. A diferencia del P_{pk} y C_{pk}, este índice penaliza al proceso por cualquier desviación de la media con respecto al valor objetivo (Target).

$$C_{pm} = \frac{LES - LEI}{6 \times \sqrt{\sigma_{LT}^2 + (\mu - Target)^2}} \tag{14}$$

Estos índices constituyen herramientas fundamentales para el análisis de la capacidad y desempeño de un proceso, ya que permiten evaluar su estabilidad, su ajuste a los límites de especificación y su capacidad para cumplir consistentemente con los requisitos de calidad. Los valores de referencia y los rangos asociados a cada índice, así como su interpretación detallada, se presentan en el **Anexo B.2**, donde se resume la clasificación del comportamiento del proceso en función de cada métrica.

Z - Scores

Estas variables indican la probabilidad de que una unidad individual perteneciente a una muestra de tamaño n se encuentre fuera de especificación, en condiciones de largo o corto plazo, mediante el uso de σ_{LT} o σ_{ST}, según corresponda al caso de estudio. Son usadas en el cálculo de estimación de partes fuera de especificación, expresadas en Partes por Millón (PPM), para largo y corto plazo.

- **Z - Scores Largo Plazo**

$$Z.LES_{LT} = \frac{LES - \mu}{\sigma_{LT}} \tag{15}$$

$$Z.LEI_{LT} = \frac{LEI - \mu}{\sigma_{LT}} \tag{16}$$

- **Z - Scores Corto Plazo**

$$Z.LES_{ST} = \frac{LES - \mu}{\sigma_{ST}} \tag{17}$$

$$Z.LEI_{ST} = \frac{LEI - \mu}{\sigma_{ST}} \tag{18}$$

Si bien autores como Montgomery (1996) advierten que los índices de capacidad carecen de valor predictivo en procesos que no están bajo control estadístico, la metodología Six Sigma utiliza el índice de desempeño P_{pk} como una métrica de línea base retrospectiva. En este estudio, el cálculo del P_{pk} no tiene como objetivo predecir el comportamiento futuro de un proceso inestable, sino cuantificar la magnitud de su ineficiencia actual y establecer la brecha respecto al potencial del proceso (C_{pk}), justificando así la necesidad de la intervención.

Partes por Millón

Esta métrica cuantifica la tasa de fallas del proceso, extrapolando las unidades fuera de especificación encontradas en la muestra a Partes por Millón (PPM). Esto permite estandarizar la medición del rendimiento. Se calcula de tres formas distintas:

- **PPM Observado:** Es el conteo real de unidades fuera de especificación. Se calcula contando las unidades de la muestra (n) que se encuentran fuera de los límites de especificación superior e inferior (LES - LEI) y escalando el resultado.

$$PPM_{\text{LES}} = \left(\frac{\text{Muestras sobre LES}}{n}\right) \times 10^6 \tag{19}$$

$$PPM_{\text{LEI}} = \left(\frac{\text{Muestras bajo LEI}}{n}\right) \times 10^6 \tag{20}$$

$$PPM_{\text{Observado}} = PPM_{\text{LES}} + PPM_{\text{LEI}} \tag{21}$$

- **PPM Esperado Largo Plazo:** Es la estimación teórica de unidades fuera de especificación basada en el desempeño real del proceso, utilizando σ_{LT}.

  1. Se calculan las probabilidades de incumplimiento para cada límite usando los Z-Scores de Largo Plazo (calculados en la sección anterior):

$$p_{<LEI(LT)} = \Phi(Z_{LEI(LT)}) \tag{22}$$

$$p_{>LES(LT)} = 1 - \Phi(Z_{LES(LT)}) \tag{23}$$

     Donde $\Phi(Z)$ es la función de distribución normal estándar acumulada.

  2. Se suman las probabilidades y se escalan a un millón:

$$PPM_{LT} = P_{<LEI(LT)} \times 10^6 + P_{>LES(LT)} \times 10^6 \tag{24}$$

- **PPM Esperado Corto Plazo:** Es la estimación teórica de defectos basada en la capacidad potencial del proceso, usando σ_{ST}.

  1. Se calculan las probabilidades usando los Z-Scores de Corto Plazo:

$$p_{<LEI(ST)} = \Phi(Z_{LEI(ST)}) \tag{25}$$

$$p_{>LES(ST)} = 1 - \Phi(Z_{LES(ST)}) \tag{26}$$

  2. Se suman y se escalan:

$$PPM_{ST} = P_{<LEI(ST)} \times 10^6 + P_{>LES(ST)} \times 10^6 \tag{27}$$

Cálculo del Nivel Z

Finalmente, el Nivel Z o Sigma es la métrica que resume el desempeño total del proceso en una escala estandarizada. Mide cuántas desviaciones estándar (de corto o largo plazo) caben entre la media del proceso (μ) y el límite de especificación más cercano.

1. **Probabilidad de Defecto (P_{defecto}):**

   Primero, se debe calcular la probabilidad teórica total de que una unidad se ubique fuera de los límites de especificación (ya sea por arriba del LES o por debajo del LEI). Esta probabilidad se calcula directamente desde los PPM Esperados, ya que PPM representa una probabilidad escalada a un millón.

$$P_{\text{defecto(LT)}} = \frac{PPM_{LT}}{10^6} \tag{28}$$

$$P_{\text{defecto (ST)}} = \frac{PPM_{ST}}{10^6} \tag{29}$$

2. **Probabilidad de Éxito ($P_{\text{éxito}}$):**

   La Probabilidad de Éxito es la probabilidad de que una unidad perteneciente a la muestra se encuentre al interior de los límites de especificación. Es el inverso de la probabilidad de defecto.

$$P_{\text{éxito(LT)}} = 1 - P_{\text{defecto(LT)}} \tag{30}$$

$$P_{\text{éxito(ST)}} = 1 - P_{\text{defecto(ST)}} \tag{31}$$

3. **Nivel Z:** Se calcula utilizando la función inversa de la distribución normal estándar.

$$NivelZ_{LT} = \Phi^{-1}(p_{\text{éxito(LT)}}) \tag{32}$$

$$NivelZ_{ST} = \Phi^{-1}(p_{\text{éxito(ST)}}) \tag{33}$$

El Nivel Z se categoriza en un rango de valores de 0 a 6. Mientras mas cerca del 6 se encuentre el valor calculado, mas centrado y consistente es el proceso analizado, como se observa en la Tabla B.4. De este modo, el Nivel Z permite sintetizar el desempeño global del proceso en una métrica comparable, facilitando la toma de decisiones en el marco de la mejora continua.

Con el fin de que los indicadores de capacidad mantengan coherencia con la métrica estándar Six Sigma, se adiciona el factor de desplazamiento de 1,5σ tanto al nivel Z_{ST} como al Z_{LT}. Esta normalización permite estandarizar los resultados y facilita su comparación directa con los niveles de desempeño industrial.

6. Desarrollo y Resultados

En base a la metodología previamente descrita, se presenta a continuación un análisis detallado de los resultados obtenidos en cada una de las etapas consideradas en el estudio. Este análisis busca no solo exponer los hallazgos más relevantes, sino también interpretar sus implicancias en el contexto del proyecto, de manera que se logre una comprensión integral del proceso evaluado.

Es importante señalar que el proyecto tiene como objetivo central la elaboración de un plan de iniciativas de mejora, orientado a optimizar la reparación de los activos y generar valor a largo plazo. En este sentido, se establece que el alcance del trabajo se limita al diseño de propuestas y a la generación de pautas de control para dichas iniciativas de mejora. Por lo tanto, la empresa queda a cargo de la implementación y seguimiento de estas propuestas.

En coherencia con lo descrito en el marco metodológico, la presentación de los resultados se organiza siguiendo la estructura propuesta por Felizola y Luna (2014) para la implementación de Lean Six Sigma, desarrollando las etapas en el orden correspondiente y vinculándolas con los análisis realizados en el proceso.

6.1. Preparación

Esta memoria de título nace de los esfuerzos de CSI por ejecutar los trabajos de manera más eficiente, llevando un control más riguroso de las HH trabajadas por componente por el equipo de mecánicos del CRC. La idea del proyecto de optimización en el proceso de reparación de componentes proviene del Jefe de Control de Procesos, Héctor Vega, quien la propuso durante la práctica profesional realizada en la empresa.

La propuesta de realizar un proyecto orientado a la mejora del proceso de reparación fue presentada al Gerente General, Dicson González, quien manifestó un alto nivel de interés y puso a disposición a los departamentos de la empresa requeridos para la obtención de los datos necesarios para la ejecución del proyecto. De este modo, se cuenta con una dirección organizacional comprometida con el mejoramiento continuo de los procesos.

Para una adecuada implementación de las propuestas, se dispone de personal capacitado en mejoramiento continuo. En particular, el Jefe de Control de Procesos, Héctor Vega, Ingeniero Industrial, aporta su conocimiento en el monitoreo de KPIs y en la generación de acciones de mejora para optimizar procesos. Asimismo, se trabaja de manera coordinada con el Gerente General, Dicson González, Ingeniero Mecánico, quien posee amplio conocimiento en mejoramiento continuo y control de procesos, contando además con reconocimiento formal Black Belt Six Sigma.

Lo anterior establece las condiciones iniciales de implementación (compromiso directivo, disponibilidad de recursos y capacidad técnica), propias de la fase de Preparación en la metodología LSS.

6.2. Identificación

Con la implementación de LSS en CSI se busca la optimización del proceso de reparación del componente que mayor impacto genera en la empresa, considerando la frecuencia de reparación de este tipo de componente, así como las HH de reparación y el estado de capacidad en el que se encuentre su proceso. Para ello, es necesario aplicar la metodología DMAIC (Definir, Medir y Analizar), con el fin de definir el universo de datos que será utilizado, realizar una jerarquización de los principales componentes según las características anteriormente mencionadas y, finalmente, determinar, en conjunto con la empresa, el componente crítico que debe ser analizado con mayor detalle.

Para la ejecución de los análisis estadísticos de este proyecto, tales como el Análisis de Pareto y el Análisis de Capacidad de Procesos, se utilizarán los software especializados Minitab y Excel. Ambos son herramientas ampliamente utilizadas en la industria para el análisis de datos y la implementación de metodologías de mejora continua y Six Sigma, ya que permiten aplicar modelos estadísticos y generar informes gráficos de capacidad, los cuales se presentan en las siguientes secciones para la toma de decisiones.

La selección del componente crítico se establece en esta fase, mientras que el ciclo

DMAIC se desarrolla en las etapas posteriores del proyecto.

6.2.1. Definir

El proyecto está centrado en el análisis de datos correspondientes a los tiempos de reparación de componentes dentro del CRC, donde los datos son solicitados al departamento de informática. Los datos deben considerar las siguientes características:

- **Orden de Trabajo (OT):** Corresponde al número de identificación que se asigna al componente al momento de ser recibido en las dependencias de CSI. Permite detallar el tipo de componente, a qué equipo pertenece y el estado en que se encuentra su reparación.
- **Nombre del Componente:** Indica el nombre asociado al componente, permitiendo su identificación de manera más simple.
- **Nombre del Equipo:** Indica el equipo al cual pertenece dicho componente.
- **HH de reparación:** Corresponde a las HH de trabajo que demoró la reparación de dicho componente. Esta variable se encuentra dividida, según el SJ del fabricante, en Desarme y Evaluación, Armado, Pintura y Embalaje, y Pruebas.

La base de datos entregada contiene un universo de 1.593 componentes reparados entre enero de 2019 y septiembre de 2025, el cual se distribuye de la siguiente forma en la **Tabla 5**:

Tabla 5: Cantidad de Componentes por Fabricante

Fuente: Elaboración Propia

Fabricante	Cantidad de Componentes
Caterpillar	1.440
Otros	153
Total	**1.593**

Se puede observar que los componentes Caterpillar representan la mayor proporción dentro del taller, abarcando el 90,4 % del total de reparaciones en el período indicado anteriormente.

6.2.2. Medir

Con la base de datos ya definida, se realizan dos análisis de Pareto que abarcan la totalidad de los componentes Caterpillar reparados en el período 2019–2025.

1. **Pareto por recurrencia (Cantidad):** El primer diagrama, presentado en el **Anexo C.1**, ordena los componentes según su cantidad total de ingresos al CRC. Este análisis permite identificar los pocos vitales que generan el mayor volumen de flujo de trabajo dentro del taller.

2. **Pareto por impacto ($CLP):** El segundo diagrama, presentado en el **Anexo C.2**, ordena los componentes según el costo de reparación, estimado a partir de las HH promedio que demanda la reparación de cada componente. Este análisis permite identificar aquellos componentes que consumen la mayor carga de HH, afectando de manera directa el costo operacional.

Tabla 6: Costo ($CLP) HH Promedio por Componente

Componente	N°Trabajadores	$CLP Promedio HH
Diferencial	2	$7.197
Convertidor	2	$9.081
Transmisión	3	$8.923
Mando Final	3	$8.948
Hidráulica (Cilindros; Suspensión)	2	$7.021
Mazas y Frenos	2	$10.397
Otros	Todos	$8.643

Fuente: Valores de Horas-Hombre promedio según datos de la empresa.

Los componentes clasificados en la categoría **Otros** agrupan reparaciones que presentan una asignación de personal no estandarizada, dependiendo de la asignación discrecional del supervisor. Por esta razón, el costo para esta categoría se estima utilizando el costo promedio ponderado de la HH de todos los trabajadores del taller, reflejando así la variabilidad asociada a su ejecución y tipología de trabajo.

Para sintetizar los resultados de ambos análisis en una sola métrica de priorización, se establece una clasificación ABC. Esta clasificación asigna un nivel de criticidad basado en la posición del componente dentro de la curva de Pareto, considerando de manera conjunta Recurrencia e Impacto, tal como se define en la **Tabla 7**.

Tabla 7: Clasificación según Ubicación en Pareto Recurrencia - Impacto

Fuente: Elaboración Propia

Ubicación en Curva Acumulada	Clasificación
Dentro del 80 % (Pocos Vitales)	A
Entre 80 % y 95 % (Relevantes)	B
Entre 95 % y 100 % (Muchos Triviales)	C

La interpretación de esta clasificación es la siguiente:

- **Clasificación A:** Se asigna a los componentes de máxima criticidad. Un componente es A si se encuentra dentro del 80 % acumulado en uno o ambos análisis. Estos componentes corresponden a los pocos vitales, según el Principio de Pareto, y constituyen los principales candidatos para proyectos de optimización.
- **Clasificación B:** Se asigna a los componentes de criticidad moderada. Estos componentes son relevantes y, aunque no corresponden a los pocos vitales, su impacto es considerable.

- **Clasificación C:** Se asigna a los muchos triviales. Este grupo incluye a la gran mayoría de los componentes, pero su impacto individual es mínimo. Desde una perspectiva de optimización de recursos LSS, estos componentes no suelen justificar un proyecto de mejora dedicado, ya que el esfuerzo invertido superaría el beneficio obtenido.

El objetivo de esta clasificación es enfocar las iniciativas de mejora en el proceso del componente que ofrezca el máximo retorno de la optimización.

La clasificación de los componentes otorga dos calificaciones a cada uno, tanto por recurrencia como por el impacto en HH ($CLP), ver **Anexos C.1 y C.2**. Estas clasificaciones fueron registradas en su totalidad, ver **Anexo C.3**, en donde se genera una tabla resumen con los componentes donde su calificación designada es A para ambos análisis como se puede observar en la **Tabla 8**.

Tabla 8: Compilación de Componentes Clasificación Crítica

Fuente: Elaboración Propia

Componente	Clasif. Recurrencia	Clasif. Impacto
MANDO FINAL	A	A
TRANSMISION	A	A
CONJUNTO DE FRENO	A	A
CONVERTIDOR	A	A
SUSPENSION	A	A
CONJUNTO MAZA	A	A
DIFERENCIAL	A	A
BASTIDOR	A	A
EMBRAGUE DIRECCIONAL Y FRENO	A	A

El análisis de la Tabla **8** es concluyente. Se observa que los componentes con máxima criticidad (A/A) corresponden, en su mayoría, a los que integran el Tren de Fuerza de los equipos (Mando Final, Transmisión, Convertidor y Diferencial).

A su vez, la Figura **20** compara el impacto agregado de este grupo con el de los demás componentes Caterpillar. Aunque el conjunto de componentes del Tren de Fuerza es menor en cantidad, concentra un consumo 36 % superior de HH, lo que confirma que constituye el foco de mayor criticidad en términos de costo y esfuerzo para el CRC.

Figura 20: Comparativa Recurrencia e Impacto Tren de Fuerza versus Otros

Fuente: Elaboración Propia.

Al presentar la jerarquización mediante las tablas de clasificación de componentes y el análisis de impacto a la Gerencia General, se toma la decisión de seleccionar los componentes principales del Tren de Fuerza (Mando Final, Transmisión, Convertidor y Diferencial) para realizar la medición de su capacidad en el proceso de reparación, por tratarse del grupo con mayor impacto combinado en recurrencia (Cantidad) e Impacto ($CLP).

Si bien anteriormente se aplicaron análisis de Pareto por componente (recurrencia e impacto en $CLP) para identificar los elementos de mayor criticidad, en esta etapa se incorpora un Pareto adicional orientado a la familia de equipos. Este análisis permite acotar el universo de datos, focalizando el estudio en aquellas familias que concentran la mayor proporción de ingresos de componentes del Tren de Fuerza, manteniendo como base la priorización ya definida por los Paretos de recurrencia e impacto. Véase **Figura 21.**

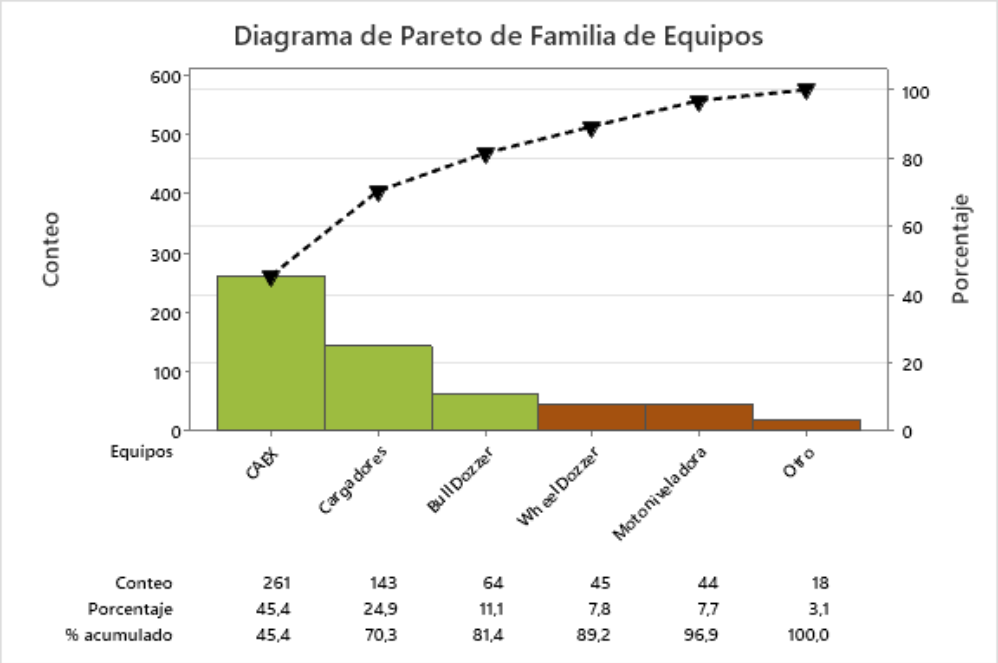

Figura 21: Diagrama de Pareto Aplicado a Familia de Equipos

Fuente: Elaboración Propia.

Con este análisis se puede observar que las familias de equipos que mas componentes del tren de fuerza llegan a reparación en CSI son los Camiones de Extracción (CAEX), Cargadores Frontales, y los Tractores o Bulldozer, en donde se redujo en un 17 % la cantidad de datos para analizar la capacidad de reparación de los componentes.

Análisis de Capacidad de Proceso Componentes Tren de Fuerza

Este punto es clave dentro del desarrollo de la presente tesis, ya que aquí se desarrolla el procedimiento estadístico de forma manual, con el propósito de explicar de manera clara cómo se calculan los indicadores de capacidad del proceso. En esta sección, los cálculos se realizan directamente a partir de los datos del estudio y se presentan paso a paso, de modo que la estadística quede explícita y trazable. Posteriormente, estos resultados manuales se comparan con los obtenidos en Minitab, con el fin de validar la consistencia del análisis y confirmar que las salidas del software corresponden a los cálculos estadísticos desarrollados en este punto. En este sentido, si bien es relevante saber utilizar Minitab, también es fundamental comprender cómo se calculan los resultados que el software entrega.

Tras la selección de los componentes críticos y la acotación del universo de estudio (reduciendo la muestra de 567 a 468 componentes gracias al análisis de Pareto por familias de equipos), se procede con el Análisis de Capacidad del Proceso.

El objetivo de este análisis es medir el estado actual del proceso de reparación, comparando las HH reales utilizadas versus el Tiempo Estándar (SJ) establecido por el fabricante Caterpillar. Esta medición permite cuantificar la brecha o desviación del

proceso respecto al objetivo estandarizado.

Para ello, se recopiló la documentación técnica de los SJ para cada componente. A partir de estos datos, se calculó la desviación de tiempo (Δt) para cada reparación realizada, definida como la diferencia entre el tiempo real y el tiempo estándar, tal como se expresa en la Ecuación 34:

$$\Delta Tiempo_{Reparacin} = Tiempo_{Real} - Tiempo_{SJ} \tag{34}$$

Donde un valor positivo indica un retraso o exceso de HH respecto al estándar.

Los datos de $\Delta Tiempo_{Reparacion}$ se tabularon por tipo de componente para evaluar su comportamiento estadístico individual, ver **Anexo D.1**. El procesamiento de datos se llevó a cabo de manera estadística, utilizando las ecuaciones descritas en el marco teórico del trabajo y verificadas con la utilización del software estadístico **Minitab®**, aplicando la herramienta de Análisis de Capacidad para obtener los índices de desempeño, capacidad y las métricas de nivel de defectos.

Para ejecutar el análisis, se establecieron previamente los parámetros de diseño del proceso: los Límites de Especificación (LE), segmentados en Límite de Especificación Inferior (LEI) y Límite de Especificación Superior (LES), y el valor objetivo (Target). Estos valores constituyen la VOC contra la cual se comparará el desempeño real. La Tabla **9** resume los parámetros definidos para este estudio.

Tabla 9: Datos de Entrada para Análisis de Capacidad de Procesos

Fuente: Elaboración en conjunto con Gerencia General.

Parámetro	**Valor**
Límite de Especificación Inferior (LEI)	-27 [Hrs]
Target	0 [Hrs]
Límite de Especificación Superior (LES)	+27 [Hrs]

- **Target:** Se designa el valor 0 como el objetivo ideal. Este representa el escenario en el cual el tiempo real de reparación es exactamente igual al tiempo estándar ($\Delta Tiempo_{Reparacin} = 0$), lo que implica máxima eficiencia y cumplimiento del plan ($Tiempo_{Real} = Tiempo_{SJ}$).
- **LE:** Los límites de especificación superior e inferior de ± 27 fueron definidos en conjunto con la Gerencia General. Esta tolerancia se estableció considerando la variabilidad operativa aceptable antes de que un retraso, o un adelanto excesivo, sea considerado crítico para la facturación y la entrega al cliente.

Establecidos los datos requeridos para realizar el estudio y los parámetros de entrada requeridos por Minitab, se procede a realizar el análisis de capacidad del proceso de la reparación de Diferenciales, Convertidores, Transmisiones y Mandos Finales.

6.2.2.1. Análisis de Capacidad de Proceso - Diferenciales

Análisis de Tendencia Central

Se determina la media aritmética muestral con el fin de establecer el punto de operación actual del proceso. Este parámetro constituye una medida fundamental de tendencia central, ya que permite identificar el sesgo o desplazamiento sistemático del tiempo de reparación respecto al valor objetivo nominal ($Target = 0$), siendo el primer indicador cuantitativo de la exactitud del proceso.

$$\mu(Dif) = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{603,32}{40} = 15,083\ [Hrs] \tag{3.1}$$

La media muestral de 15,083 [Hrs] evidencia un desplazamiento positivo respecto al objetivo. Si bien este valor se mantiene técnicamente dentro del rango de tolerancia superior ($LES = 27$ [Hrs]), el resultado indica que las reparaciones tienden, en promedio, a consumir más del 50 % del margen de seguridad temporal disponible. Una vez determinado el punto de centrado del proceso, corresponde cuantificar la magnitud de la dispersión de los datos alrededor de esta media.

Análisis de Variabilidad - Largo y Corto Plazo

La variabilidad del proceso se cuantifica con el objetivo de evaluar su nivel de precisión. Para ello, se calcula la desviación estándar global (σ_{LT}), donde se realiza el uso de datos calculados a partir del **Anexo D.2**, que representa la Voz del Proceso (VOP) real, y la desviación estándar de corto plazo (σ_{ST}) derivada del Rango Móvil Medio ($\bar{R}_m$), la cual representa la capacidad potencial del método bajo condiciones operativas estables.

$$\sigma_{LT}(Dif) = \sqrt{\frac{62658{,}38}{39}} = 40,08\ [Hrs] \tag{4.1}$$

Para el análisis de la variabilidad de corto plazo de los tiempos de reparación de diferenciales, se emplea el Rango Móvil (Rm), el cual cuantifica la variación existente entre observaciones consecutivas del proceso, permitiendo evaluar su estabilidad inmediata.

$$Rm_i = |X_i - X_{i-1}| \tag{9.1}$$

El Rm_i se calcula como el valor absoluto de la diferencia entre dos mediciones sucesivas, lo que permite evaluar la estabilidad operativa del proceso en el corto plazo y detectar fluctuaciones instantáneas.

$$\sum Rm_i(Dif) = \sum(|X_i - X_{i-1}|) = 1553,87\ [Hrs] \tag{9.1}$$

A partir de la sumatoria de los valores individuales de Rm, obtenidos en el **Anexo D.3** para diferenciales, se obtiene el $\bar{R}_m$, para diferenciales, se calcula el rango móvil medio, el cual constituye una medida representativa de la variabilidad intrínseca del proceso en el período analizado.

$$\bar{R}_m(Dif) = \frac{\sum R_{mi}}{n-1} = \frac{1553,87}{39} = 39,842\ [Hrs] \tag{10.1}$$

$$\sigma_{ST}(Dif) = \frac{\bar{R}_m}{d_2} = \frac{39,842}{1,128} = 35,322\ [Hrs] \tag{11.1}$$

El análisis de variabilidad arroja el hallazgo más crítico para este componente: la desviación estándar de largo plazo ($\sigma_{LT} = 40,08$ [Hrs]) supera la semiamplitud de la especificación (27 [Hrs]). Este resultado indica que la dispersión del proceso constituye el factor dominante de la ineficiencia, ya que el rango de la distribución excede los límites de control independientemente de su centrado. La cercanía entre σ_{LT} y σ_{ST} sugiere que esta variabilidad es de carácter sistémico. Con la variabilidad cuantificada, el siguiente paso corresponde a normalizar la distancia entre la media del proceso y los límites de especificación, con el fin de determinar el nivel de riesgo estadístico.

Z-Scores - Largo y Corto Plazo

En esta etapa se normaliza la distancia entre la tendencia central y los límites de especificación, con el fin de expresar el margen de seguridad estadístico disponible en unidades de desviación estándar. Esto permite evaluar, de forma comparable, la cercanía de la media del proceso a los límites definidos (LEI y LES), tanto en largo como en corto plazo.

$$Z.LES_{LT}(Dif) = \frac{LES - \mu}{\sigma_{LT}} = \frac{27 - 15,08}{40,08} = 0,297 \tag{15.1}$$

$$Z.LEI_{LT}(Dif) = \frac{LEI - \mu}{\sigma_{LT}} = \frac{-27 - 15,08}{40,08} = -1,049 \tag{16.1}$$

$$Z.LES_{ST}(Dif) = \frac{LES - \mu}{\sigma_{ST}} = \frac{27 - 15,08}{35,32} = 0,337 \tag{17.1}$$

$$Z.LEI_{ST}(Dif) = \frac{LEI - \mu}{\sigma_{ST}} = \frac{-27 - 15,08}{35,32} = -1,191 \tag{18.1}$$

NOTA: Minitab reporta los valores Z como distancias absolutas a los límites de especificación, mientras que en el desarrollo manual se conserva el signo para indicar la dirección del desplazamiento respecto de cada límite.

Los valores Z obtenidos son marginales. Un $Z.LES_{LT}$ de 0,297 implica que la media del proceso se encuentra a menos de un tercio de desviación estándar del límite superior. Estadísticamente, esto configura un escenario de alto riesgo de incumplimiento ante cualquier perturbación menor del sistema. A partir de estos valores estandarizados, se procede a estimar la tasa de defectos esperada mediante la función de probabilidad acumulada.

Proyección de Tasas de Defecto

Mediante la función de distribución normal estándar acumulada, se proyecta la proporción de reparaciones que excederán los tiempos comprometidos, expresada en Partes Por Millón (PPM). Esta proyección permite cuantificar el impacto operativo del desempeño actual del proceso y evaluar su alineación con estándares de calidad aceptados.

$$PPM_{\text{Observado}} = \left(\frac{15}{40} + \frac{8}{40}\right) \times 10^6 = 575000 \tag{21.1}$$

$$PPM_{LT} = [\Phi(-1,05) + (1 - \Phi(0,30))] \times 10^6 = 146881 + 383114 = 529996 \tag{24.1}$$

$$PPM_{ST} = [\Phi(-1,19) + (1 - \Phi(0,34))] \times 10^6 = 116743 + 367913 = 484657 \tag{27.1}$$

La proyección de defectos superior a 500.000 PPM confirma una incapacidad operativa significativa, donde el cumplimiento de plazos se comporta estadísticamente cercano al azar. Para facilitar la comparación de este desempeño con estándares de clase mundial, resulta necesario convertir estas probabilidades en una métrica Sigma estandarizada, lo que permitirá evaluar el nivel de desempeño del proceso bajo un marco de referencia común.

Nivel Z

En Six Sigma se considera que un proceso, cuando se observa en el corto plazo, refleja su mejor comportamiento posible, ya que las condiciones son más estables y controladas. En cambio, cuando el mismo proceso se observa en el largo plazo, aparecen variaciones normales del trabajo diario que hacen que su desempeño real sea peor que el observado inicialmente. Esta diferencia entre el comportamiento ideal y el comportamiento real del proceso se representa, por convención, mediante un desplazamiento de 1,5σ.

Se calculan los indicadores Z tanto para largo como para corto plazo a partir de la probabilidad de éxito asociada a la tasa de defectos estimada:

$$P_{\text{éxito(LT)}} = 1 - \frac{529996}{10^6} = 0,470 \implies NivelZ_{LT} = \Phi^{-1}(0,470) = -0,075 \tag{30.1}$$

$$P_{\text{éxito(ST)}} = 1 - \frac{484657}{10^6} = 0,515 \implies NivelZ_{ST} = \Phi^{-1}(0,515) = 0,038 \tag{31.1}$$

De acuerdo con la metodología Six Sigma, el Nivel Sigma se expresa, por convención, incorporando un desplazamiento de 1,5σ con el fin de homologar el desempeño del proceso a un lenguaje estándar ampliamente utilizado en la industria. Este ajuste no

representa el comportamiento real del proceso en el largo plazo, el cual ya se encuentra caracterizado mediante el nivel Z de largo plazo previamente calculado.

En consecuencia, al aplicar dicha convención con fines comparativos, la línea de diferenciales alcanza un nivel aproximado de 1,425σ, valor que corresponde exclusivamente a una referencia Six Sigma y no al desempeño operativo efectivo del proceso.

Si bien este valor convencional es positivo, el diagnóstico del proceso debe basarse en el nivel Z de largo plazo obtenido, el cual evidencia un desempeño deficiente y se encuentra muy distante del umbral mínimo aceptable de 3σ. Un nivel cercano a 1,4 confirma que el proceso opera con una capacidad baja y con un riesgo elevado de defectos, lo que refuerza la necesidad de acciones de mejora.

Índices de Capacidad y Desempeño

Para determinar la aptitud del proceso, se calculan indicadores adimensionales que relacionan la variabilidad del sistema (VOP) con las tolerancias de diseño (VOC). Se determina el Índice de Desempeño Global (P_{pk}), el cual utiliza la desviación estándar de largo plazo para evaluar la realidad operativa percibida por el cliente; el Índice de Capacidad Potencial (C_{pk}), que estima la aptitud máxima teórica del método actual bajo condiciones estables; y el Índice de Taguchi (C_{pm}), métrica que penaliza cuadráticamente cualquier desviación respecto al valor objetivo ($Target = 0$), integrando simultáneamente el centrado y la dispersión del proceso en una única medida de pérdida de calidad.

$$P_{pk} = \text{mín}\left[\frac{27 - 15,083}{3(40,08)}, \frac{15,083 - (-27)}{3(40,08)}\right] = \text{mín}[0,099, 0,350] = 0,099 \tag{12.1}$$

$$C_{pk} = \text{mín}\left[\frac{27 - 15,083}{3(35,322)}, \frac{15,083 - (-27)}{3(35,322)}\right] = \text{mín}[0,112, 0,397] = 0,112 \tag{13.1}$$

$$C_{pm} = \frac{27 - (-27)}{6 \times \sqrt{40,08^2 + (15,083 - 0)^2}} = \frac{54}{6 \times 42,825} = 0,210 \tag{14.1}$$

Los resultados obtenidos para la línea de Diferenciales evidencian una incapacidad estructural crítica. El índice de desempeño real ($P_{pk} = 0,099$) representa apenas un 7,4 % del estándar mínimo aceptable en la industria de manufactura y servicios ($1,33$), lo que confirma matemáticamente que la dispersión actual del proceso excede ampliamente la ventana de tolerancia permitida por el cliente.

Adicionalmente, la convergencia observada entre el desempeño global y la capacidad potencial ($C_{pk} = 0,112$) constituye un hallazgo diagnóstico relevante, ya que la escasa diferencia entre ambos valores indica que la ineficiencia no es producto de perturbaciones externas transitorias, sino que la variabilidad es inherente al método de trabajo

actual.

Finalmente, el bajo valor del índice de Taguchi ($C_{pm} = 0,210$) penaliza severamente el descentramiento de la media ($\mu = 15,083$) respecto al objetivo nominal, demostrando que la operación de Diferenciales genera pérdidas económicas significativas al no orientarse al cumplimiento exacto del plazo comprometido ($Target = 0$).

Validación Gráfica del Modelo Estadístico

Con el propósito de corroborar la robustez de los indicadores numéricos calculados y visualizar el comportamiento distributivo del proceso, se presenta el Informe de Capacidad del Proceso (ver **Figura 22**). Esta representación gráfica, verificada mediante el software estadístico Minitab, ver **Anexo D.1**, integra la curva de densidad de probabilidad observada en relación con los límites de especificación, permitiendo una validación visual de la tendencia central y la dispersión del proceso.

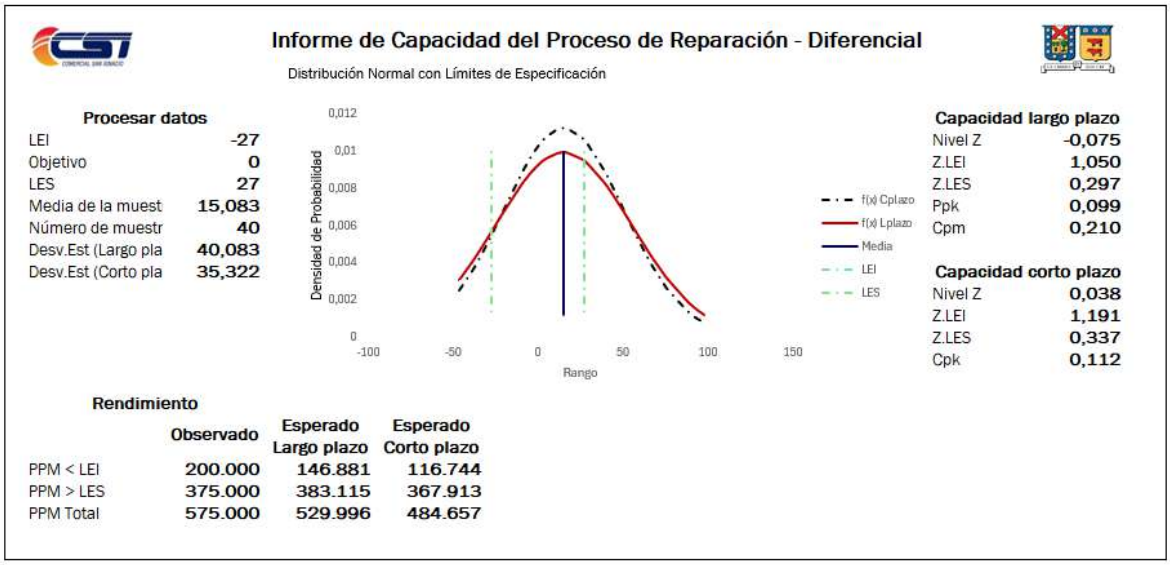

Figura 22: Análisis de Capacidad de Proceso de Reparación - Diferenciales

Fuente: Elaboración Propia

El análisis de la gráfica ratifica las conclusiones obtenidas analíticamente. Se observa claramente el desplazamiento de la media (línea azul continua en 15,083) hacia el sector positivo, alejándose del objetivo nominal cero. No obstante, el aspecto más crítico que revela la imagen es la amplitud de la campana de Gauss: las colas de la distribución, tanto de corto plazo (línea discontinua negra) como de largo plazo (línea roja), invaden de manera significativa las zonas de rechazo, especialmente por sobre el Límite de Especificación Superior ($LES = 27$ horas).

La superposición casi perfecta entre la curva de corto plazo y la de largo plazo valida visualmente la convergencia observada entre los índices C_{pk} y P_{pk}. Esto confirma que la variabilidad del sistema es de carácter sistémico (causas comunes) y no

producto de desviaciones transitorias. Asimismo, la tabla de rendimiento incorporada en la gráfica corrobora la proyección de defectos, mostrando consistencia entre el PPM total observado (575.000) y el PPM esperado a largo plazo (529.996), lo que demuestra que el modelo normal representa adecuadamente la realidad operativa de la línea de Diferenciales.

Una vez cuantificada la brecha de desempeño en el proceso de Diferenciales, se procede a replicar la metodología estadística para el componente de Convertidores. A continuación, se presentan los parámetros de tendencia central y capacidad calculados, con el objetivo de evaluar el cumplimiento normativo de este proceso específico.

6.2.2.2. Análisis de Capacidad de Proceso - Convertidores

Análisis de Tendencia Central

Se determina la media aritmética muestral con el fin de establecer el punto de operación actual del proceso. Este parámetro permite identificar el sesgo o desplazamiento sistemático del tiempo de reparación respecto al valor objetivo nominal ($Target = 0$), siendo el primer indicador de la exactitud del proceso.

$$\mu(Con) = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{2927,32}{106} = 27,616[Hrs] \tag{3.2}$$

El análisis revela una situación crítica de descentramiento, ya que la media muestral ($\mu = 27,616$ [Hrs]) excede el Límite de Especificación Superior ($LES = 27$ [Hrs]). Esto implica que el tiempo promedio de reparación se encuentra, por definición, en condición de defecto. A diferencia del caso de Diferenciales, el sesgo observado es absoluto, situando el centro de gravedad del proceso fuera de la zona de aceptación. Una vez identificado este descentramiento crítico, corresponde cuantificar la magnitud de la dispersión que agrava esta condición.

Análisis de Variabilidad - Largo y Corto Plazo

Se cuantifica la dispersión de los datos con el fin de evaluar la precisión del proceso. Se calcula la desviación estándar global (σ_{LT}) que refleja la VOP real, donde se realiza el uso de datos calculados a partir del **Anexo D.4**, y la desviación estándar inherente (σ_{ST}) derivada del rango móvil medio ($\bar{R}_m$), la cual representa la capacidad potencial del método.

$$\sigma_{LT}(Con) = \sqrt{\frac{206204,43}{105}} = 44,315[Hrs] \tag{4.2}$$

Para el análisis de la variabilidad de corto plazo se emplea el Rango Móvil (Rm_i), utilizando datos calculados a partir del **Anexo D.5**, cuantificando la variación entre observaciones consecutivas.

$$\sum Rm_i(Con) = \sum(|X_i - X_{i-1}|) = 5107,81[Hrs] \tag{9.2}$$

A partir de la sumatoria obtenida, se calcula el $\bar{R}_m$ representativo para convertidores.

$$\bar{R}_m(Con) = \frac{\sum R_{mi}}{n-1} = \frac{5107,81}{105} = 48,646[Hrs] \tag{10.2}$$

$$\sigma_{ST}(Con) = \frac{\bar{R}_m}{d_2} = \frac{48,646}{1,128} = 43,126[Hrs] \tag{11.2}$$

La desviación estándar de largo plazo ($\sigma_{LT} \approx 44,3$ [Hrs]) es sustancialmente mayor que la semiamplitud de la tolerancia (27 [Hrs]). La similitud entre σ_{LT} y σ_{ST} ssugiere que la variabilidad no es esporádica, sino sistémica. En consecuencia, el método de reparación de convertidores presenta una variabilidad consistente y baja precisión. Con la variabilidad cuantificada, el siguiente paso es normalizar la distancia entre la media del proceso y los límites de especificación para determinar el nivel de riesgo estadístico.

Z-Scores - Largo y Corto Plazo

Se normaliza la distancia entre la tendencia central y los límites de especificación con el fin de determinar el margen de seguridad estadístico disponible en unidades de desviación estándar.

$$Z.LES_{LT}(Con) = \frac{LES - \mu}{\sigma_{LT}} = \frac{27 - 27,62}{44,32} = -0,014 \tag{15.2}$$

$$Z.LEI_{LT}(Con) = \frac{LEI - \mu}{\sigma_{LT}} = \frac{-27 - 27,62}{44,32} = -1,232 \tag{16.2}$$

$$Z.LES_{ST}(Con) = \frac{LES - \mu}{\sigma_{ST}} = \frac{27 - 27,62}{43,13} = -0,014 \tag{17.2}$$

$$Z.LEI_{ST}(Con) = \frac{LEI - \mu}{\sigma_{ST}} = \frac{-27 - 27,62}{43,13} = -1,266 \tag{18.2}$$

El valor negativo obtenido en $Z.LES$ $(-0,014)$ confirma matemáticamente el desbordamiento del límite superior. Confirma matemáticamente el desbordamiento del límite superior. La distribución de los tiempos de reparación está desplazada hacia la derecha, de tal manera que más del 50 % de la curva se encuentra en la zona de defecto. A partir de estos valores estandarizados, se procede a estimar la tasa de defectos esperada mediante la función de probabilidad acumulada.

Proyección de Tasas de Defecto

Mediante la función de distribución normal estándar acumulada, se proyecta la proporción de reparaciones que excederán los tiempos comprometidos, expresada en Partes Por Millón (PPM).

$$PPM_{\text{Observado}} = \left(\frac{51}{106} + \frac{14}{106}\right) \times 10^6 = 613207 \tag{21.2}$$

$$PPM_{LT} = [\Phi(-1,23) + (1 - \Phi(-0,01))] \times 10^6 = 108891 + 505547 = 614438 \quad (24.2)$$

$$PPM_{ST} = [\Phi(-1,27) + (1 - \Phi(-0,01))] \times 10^6 = 102677 + 505710 = 608377 \quad (27.2)$$

Una tasa de defectos proyectada superior a 600.000 PPM indica que el proceso es deficiente bajo estándares de calidad modernos. En términos prácticos, de cada 10 convertidores reparados, aproximadamente 6 no cumplirán con el tiempo de entrega comprometido. Para facilitar la comparación de este desempeño con estándares de clase mundial, resulta necesario convertir estas probabilidades en una métrica Sigma estandarizada.

Nivel Z

Se calcula la métrica Sigma equivalente incorporando el desplazamiento estandarizado de 1,5 desviaciones, el cual se aplica al indicador de largo plazo, conforme a la convención Six Sigma. Esto permite realizar benchmarking directo con estándares de la industria.

$$P_{\text{éxito(LT)}} = 1 - \frac{614438}{10^6} = 0,385 \implies NivelZ_{LT} = \Phi^{-1}(0,385) = -0,291 \quad (30.2)$$

$$P_{\text{éxito(ST)}} = 1 - \frac{608377}{10^6} = 0,391 \implies NivelZ_{ST} = \Phi^{-1}(0,391) = -0,275 \quad (31.2)$$

De acuerdo con la metodología Six Sigma, el Nivel Sigma (convencional) se obtiene incorporando el desplazamiento de 1,5σ sobre el indicador de largo plazo, con fines comparativos y de homologación del desempeño del proceso a un lenguaje estándar:

$$NivelSigma = Z_{LT} + 1,5 = -0,291 + 1,5 = 1,21 \quad (35)$$

Al estandarizar el indicador, se obtiene un nivel de 1,21σ, lo que sitúa al proceso en una zona de desempeño deficiente, típica de procesos manuales no controlados. El valor base negativo confirma que el proceso opera con una calidad inferior a la aleatoriedad. Finalmente, para sintetizar la aptitud del proceso considerando simultáneamente la variabilidad y el centrado, se procede al cálculo de los índices de capacidad y desempeño.

Índices de Capacidad y Desempeño

Para dictaminar la aptitud del proceso, se calculan los indicadores adimensionales que

relacionan la variabilidad del sistema (VOP) con las tolerancias de diseño (VOC), integrando penalizaciones por descentramiento.

$$P_{pk} = \text{mín}\left[\frac{27 - 27,616}{3(44,315)}, \frac{27,616 - (-27)}{3(44,315)}\right] = \text{mín}[-0,005, 0,411] = -0,005 \quad (12.2)$$

$$C_{pk} = \text{mín}\left[\frac{27 - 27,616}{3(43,126)}, \frac{27,616 - (-27)}{3(43,126)}\right] = \text{mín}[-0,005, 0,422] = -0,005 \quad (13.2)$$

$$C_{pm} = \frac{54}{6 \times \sqrt{44,315^2 + (27,616 - 0)^2}} = \frac{54}{6 \times 52,216} = 0,172 \quad (14.2)$$

Los índices P_{pk} y C_{pk} negativos constituyen una evidencia matemática irrefutable de la incapacidad del proceso. A diferencia de los diferenciales, aquí la problemática principal radica en el descentramiento de la media, exacerbada por una alta dispersión. El bajo valor de C_{pm} confirma que el proceso no está orientado hacia el objetivo nominal, generando pérdidas de calidad significativas.

Validación Gráfica del Modelo Estadístico

Con el propósito de corroborar la robustez de los indicadores numéricos calculados, se presenta el Informe de Capacidad del Proceso para Convertidores (ver **Figura 23**).

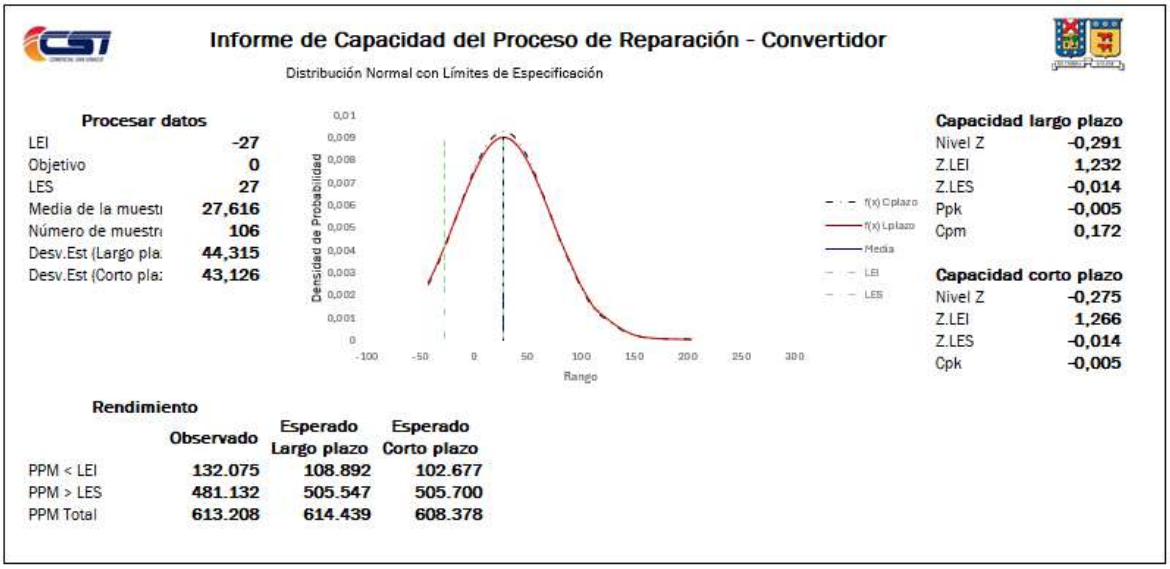

Figura 23: Análisis de Capacidad de Proceso de Reparación - Convertidores

Fuente: Elaboración Propia

El análisis visual del histograma y de las curvas de densidad para Convertidores revela de forma inmediata la naturaleza del problema de capacidad. Se observa que la línea de referencia de la media (azul sólida) se sitúa en 27,616 [Hrs], cruzando hacia

la derecha el Límite de Especificación Superior (línea verde discontinua en [Hrs]). Esto confirma gráficamente que el proceso está descentrado y que su tendencia natural es producir con retraso.

Adicionalmente, la morfología de las curvas de distribución, tanto la de corto plazo (negro discontinuo) como la de largo plazo (rojo sólido) es platicúrtica, es decir, achatada y con colas anchas. Esta dispersión visual amplía la correlación con la alta desviación estándar calculada ($\sigma \approx 44$ [Hrs]), explicando por qué la cola izquierda de la distribución invade también la zona inferior (tiempos negativos o muy cortos), mientras que la masa principal de los datos se desborda hacia la zona de incumplimiento superior. La superposición de ambas curvas indica que la variabilidad es consistente en el tiempo.

6.2.2.3. Análisis de Capacidad de Proceso - Transmisiones

Análisis de Tendencia Central

Se determina la media aritmética muestral para establecer el punto de operación actual del proceso. Este parámetro permite identificar el sesgo o desplazamiento sistemático del tiempo de reparación respecto al valor objetivo nominal ($Target = 0$), siendo el primer indicador de la exactitud del proceso.

$$\mu(Trans) = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{4956,499}{113} = 43,863[Hrs] \tag{3.3}$$

La media de $\mu = 43,863$ [Hrs] revela el peor escenario de todos los componentes estudiados. El proceso no solo incumple el objetivo, sino que el promedio de retraso supera en más de 16 [Hrs] el límite máximo permitido (27[Hrs]), indicando un descontrol severo en la planificación. Habiendo establecido este descentramiento extremo, corresponde ahora cuantificar la magnitud de la dispersión de los datos alrededor de esta media.

Análisis de Variabilidad - Largo y Corto Plazo

Se cuantifica la dispersión de los datos para evaluar la precisión del proceso. Se calcula la desviación estándar global (σ_{LT}), que refleja la VOP real, donde se realiza el uso de datos calculados a partir del **Anexo D.6**, y la desviación inherente (σ_{ST}) derivada del rango móvil medio ($\bar{R}_m$), que representa la capacidad potencial del método.

$$\sigma_{LT}(trans) = \sqrt{\frac{581425,61}{112}} = 72,051[Hrs] \tag{4.3}$$

Para el análisis de la variabilidad de corto plazo, se utiliza la sumatoria de los rangos móviles absolutos, véase **Anexo D.7**.

$$\sum Rm_i(Trans) = \sum(|X_i - X_{i-1}|) = 8820,83[Hrs] \tag{9.3}$$

A partir de la sumatoria, se obtiene el $\bar{R}_m$ representativo.

$$\bar{R}_m(Trans) = \frac{\sum R_{mi}}{n-1} = \frac{8820,83}{112} = 78,757 \tag{10.3}$$

$$\sigma_{ST}(Trans) = \frac{\bar{R}_m}{d_2} = \frac{78,757}{1,128} = 69,820[Hrs] \tag{11.3}$$

Con una desviación estándar ($\sigma_{LT} = 72,051$[Hrs]) que casi triplica la tolerancia permitida, este proceso se clasifica como extremadamente inestable. La magnitud de la varianza hace imposible cualquier compromiso fiable de entrega bajo las condiciones actuales. Con la variabilidad cuantificada, el siguiente paso es normalizar la distancia entre la media del proceso y los límites de especificación para determinar el nivel de riesgo estadístico.

Z-Scores - Largo y Corto Plazo

Se normaliza la distancia entre la tendencia central y los límites de especificación para determinar el margen de seguridad estadístico disponible en unidades de desviación estándar.

$$Z.LES_{LT}(Trans) = \frac{LES - \mu}{\sigma_{LT}} = \frac{27 - 43,86}{72,05} = -0,234 \tag{15.3}$$

$$Z.LEI_{LT}(Trans) = \frac{LEI - \mu}{\sigma_{LT}} = \frac{-27 - 43,86}{72,05} = -0,983 \tag{16.3}$$

$$Z.LES_{ST}(Trans) = \frac{LES - \mu}{\sigma_{ST}} = \frac{27 - 43,86}{69,82} = -0,241 \tag{17.3}$$

$$Z.LEI_{ST}(Trans) = \frac{LEI - \mu}{\sigma_{ST}} = \frac{-27 - 43,86}{69,82} = -1,015 \tag{18.3}$$

Los Z-scores negativos señalan que el centro de gravedad de los datos está desplazado hacia la zona de falla. El proceso está operando mayoritariamente fuera de especificación. A partir de estos valores estandarizados, se procede a estimar la tasa de defectos esperada mediante la función de probabilidad acumulada.

Proyección de Tasas de Defecto

Mediante la función de distribución normal estándar acumulada, se proyecta la proporción de reparaciones que excederán los tiempos comprometidos, expresada en Partes Por Millón (PPM).

$$PPM_{\text{Observado}} = \left(\frac{61}{113} + \frac{17}{113}\right) \times 10^6 = 690265 \tag{21.3}$$

$$PPM_{LT} = [\Phi(-0,98) + (1 - \Phi(-0,23))] \times 10^6 = 162667 + 592523 = 755200 \tag{24.3}$$

$$PPM_{ST} = [\Phi(-1,01) + (1 - \Phi(-0,24))] \times 10^6 = 155069 + 595422 = 750492 \quad (27.3)$$

Con una proyección de 755.200 PPM, las transmisiones presentan el peor desempeño de calidad del taller. Estadísticamente, 3 de cada 4 reparaciones resultan en un incumplimiento de plazos. Para facilitar la comparación de este desempeño con estándares de clase mundial, es necesario convertir estas probabilidades en una métrica Sigma estandarizada.

Nivel Z

Se calcula la métrica Sigma equivalente incorporando el desplazamiento estandarizado de 1,5 desviaciones. el cual se aplica al indicador de largo plazo, conforme a la convención Six Sigma. Esto permite realizar benchmarking directo con estándares de la industria.

$$P_{\text{éxito(LT)}} = 1 - \frac{755200}{10^6} = 0,244 \implies Z_{LT} = \Phi^{-1}(0,244) = -0{,}691 \quad (30.3)$$

$$P_{\text{éxito(ST)}} = 1 - \frac{750492}{10^6} = 0,249 \implies Z_{ST} = \Phi^{-1}(0,249) = -0,676 \quad (31.3)$$

De acuerdo con la metodología Six Sigma, el Nivel Sigma se obtiene a partir del indicador de largo plazo, incorporando el desplazamiento convencional de 1,5σ. Al estandarizar el valor, se obtiene un nivel de 0,809σ.

Este resultado indica un proceso con un desempeño muy deficiente, en el cual el resultado exitoso presenta una baja probabilidad de ocurrencia. Los valores negativos obtenidos para los niveles Z reflejan una probabilidad de éxito inferior al 50 %, lo que evidencia una baja aptitud del proceso respecto de los límites de especificación. Finalmente, para sintetizar la aptitud del proceso considerando simultáneamente la variabilidad y el centrado, se procede al cálculo de los índices de capacidad y desempeño.

Índices de Capacidad y Desempeño

Para dictaminar la aptitud del proceso, se calculan los indicadores adimensionales que relacionan la variabilidad del sistema (VOP) con las tolerancias de diseño (VOC).

$$P_{pk} = \text{mín}\left[\frac{27 - 43,863}{3(72,051)}, \frac{43,863 - (-27)}{3(72,051)}\right] = \text{mín}[-0,078, 0,328] = -0,078 \quad (12.3)$$

$$C_{pk} = \text{mín}\left[\frac{27 - 43,863}{3(69,820)}, \frac{43,863 - (-27)}{3(69,820)}\right] = \text{mín}[-0,081, 0,338] = -0,081 \quad (13.3)$$

$$C_{pm} = \frac{54}{6 \times \sqrt{72,051^2 + (43,863 - 0)^2}} = \frac{54}{6 \times 84,352} = 0,107 \tag{14.3}$$

Los índices negativos de desempeño (P_{pk}) y capacidad (C_{pk}) ratifican que el proceso es incapaz y descentrado. El índice de Taguchi ($C_{pm} = 0,107$), el más bajo de todo el estudio, señala que este componente genera las mayores pérdidas económicas por mala calidad, debido a su desviación extrema respecto del valor objetivo.

Validación Gráfica del Modelo Estadístico

Se presenta el Informe de Capacidad del Proceso para Transmisiones (ver **Figura 24**), corroborando la consistencia del modelo.

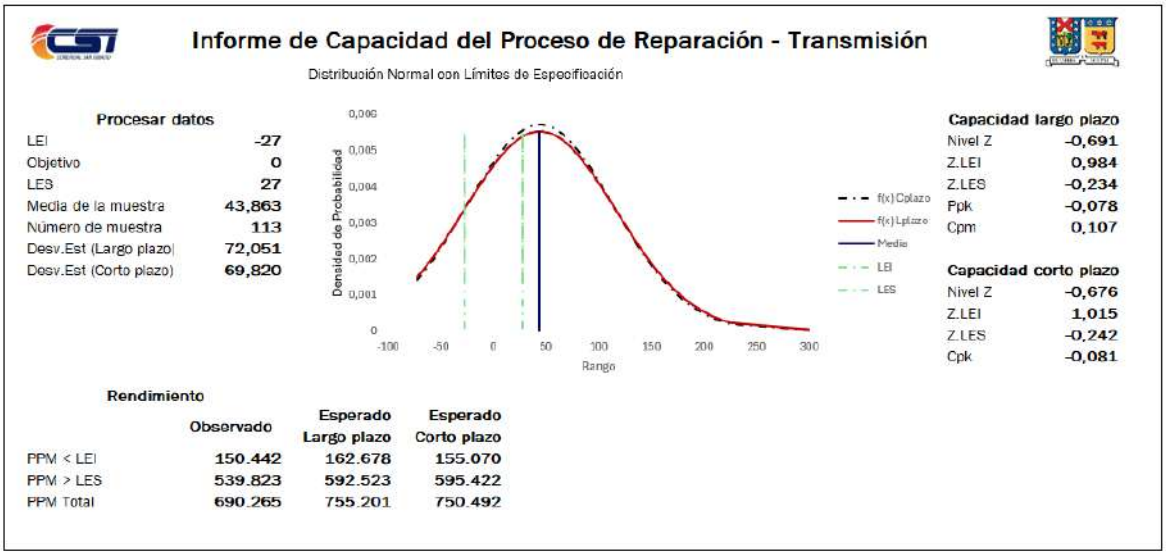

Figura 24: Análisis de Capacidad de Proceso de Reparación - Transmisiones

Fuente: Elaboración Propia

La gráfica de capacidad para Transmisiones ilustra el escenario más crítico del estudio. Lo primero que destaca es el desplazamiento extremo de la media (43,863 [Hrs]) respecto al límite superior (27 [Hrs]). Visualmente, el pico de la campana de Gauss se sitúa completamente fuera de la ventana de aceptación, lo que valida los índices de capacidad negativos ($P_{pk} = -0,078$).

La geometría de la curva es excepcionalmente ancha, extendiéndose en el eje X desde valores negativos hasta superar los 150 [Hrs]. Esta amplitud gráfica es la representación directa de una desviación estándar elevada ($\sigma_{LT} = 72,051$ [Hrs]) la cual triplica la tolerancia permitida. La ausencia de diferencia significativa entre la curva de capacidad potencial (negra) y la de desempeño general (roja) sugiere que este descontrol no es un evento aislado, sino el estado natural y caótico bajo el cual opera actualmente la línea de transmisiones.

6.2.2.4. Análisis de Capacidad de Proceso - Mandos Finales

Análisis de Tendencia Central

Se determina la media aritmética muestral para establecer el punto de operación actual del proceso de mandos finales. Este parámetro permite identificar el sesgo o desplazamiento sistemático del tiempo de reparación respecto al valor objetivo nominal ($Target = 0$).

$$\mu(Mandos) = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{6429,58}{206} = 31,212[Hrs] \tag{3.4}$$

La media operativa ($\mu = 31,212$ [Hrs]) se sitúa fuera del intervalo de tolerancia superior, confirmando que el proceso está estructuralmente sesgado hacia el retraso. Habiendo establecido este descentramiento, corresponde ahora cuantificar la magnitud de la dispersión de los datos alrededor de esta media.

Análisis de Variabilidad - Largo y Corto Plazo

Se cuantifica la dispersión de los datos para evaluar la precisión del proceso. Se calcula la desviación estándar global (σ_{LT}), que refleja la VOP real, donde se realiza el uso de datos calculados a partir del **Anexo D.8**, y la desviación inherente (σ_{ST}) derivada del rango móvil medio ($\bar{R}_m$).

$$\sigma_{LT}(Mandos) = \sqrt{\frac{1061797,71}{205}} = 71,969[Hrs] \tag{4.4}$$

Para el análisis de la variabilidad de corto plazo, se utiliza la sumatoria de los rangos móviles absolutos, véase **Anexo D.9**.

$$\sum Rm_i(Mandos) = \sum(|X_i - X_{i-1}|) = 12856,43 \tag{9.4}$$

$$\bar{R}_m(Mandos) = \frac{\sum R_{mi}}{n-1} = \frac{12856,43}{205} = 62,714 \tag{10.4}$$

$$\sigma_{ST}(Mandos) = \frac{\bar{R}_m}{d_2} = \frac{62,714}{1,128} = 55,598[Hrs] \tag{11.4}$$

La discrepancia entre σ_{LT} (71,969 [Hrs]) y σ_{ST} (55,598 [Hrs]) sugiere la presencia significativa de causas especiales de variación que inflan la dispersión a largo plazo, además de la variabilidad inherente al método. Con la variabilidad cuantificada, el siguiente paso es normalizar la distancia entre la media del proceso y los límites de especificación para determinar el nivel de riesgo estadístico.

Z-Scores - Largo y Corto Plazo

Se normaliza la distancia entre la tendencia central y los límites de especificación para determinar el margen de seguridad estadístico disponible en unidades de desviación estándar.

$$Z.LES_{LT}(Mandos) = \frac{LES - \mu}{\sigma_{LT}} = \frac{27 - 31,21}{71,97} = -0,058 \tag{15.4}$$

$$Z.LEI_{LT}(Mandos) = \frac{LEI - \mu}{\sigma_{LT}} = \frac{-27 - 31,21}{71,97} = -0,809 \tag{16.4}$$

$$Z.LES_{ST}(Mandos) = \frac{LES - \mu}{\sigma_{ST}} = \frac{27 - 31,21}{55,60} = -0,076 \tag{17.4}$$

$$Z.LEI_{ST}(Mandos) = \frac{LEI - \mu}{\sigma_{ST}} = \frac{-27 - 31,21}{55,60} = -1,047 \tag{18.4}$$

Los valores de Z negativos evidencian que la distribución de los tiempos invade la zona de especificación no conforme. La posición de la media respecto al límite superior es crítica, indicando una alta probabilidad de retrasos sistemáticos. A partir de estos valores estandarizados, se procede a estimar la tasa de defectos esperada mediante la función de probabilidad acumulada.

Proyección de Tasas de Defecto

Mediante la función de distribución normal estándar acumulada, se proyecta la proporción de reparaciones que excederán los tiempos comprometidos, expresada en Partes Por Millón (PPM).

$$PPM_{\text{Observado}} = \left(\frac{87}{206} + \frac{51}{206}\right) \times 10^6 = 669902 \tag{21.4}$$

$$PPM_{LT} = [\Phi(-0,81) + (1 - \Phi(-0,06))] \times 10^6 = 209302 + 523332 = 732634 \tag{24.4}$$

$$PPM_{ST} = [\Phi(-1,05) + (1 - \Phi(-0,08))] \times 10^6 = 147546 + 530191 = 677738 \tag{27.4}$$

Las proyecciones indican que más del 70 % de los mandos finales (PPM >730.000) no cumplirán con los tiempos estipulados. Esta es una situación crítica, dado el alto volumen de estos componentes en el mix de producción. Para facilitar la comparación de este desempeño con estándares de clase mundial, es necesario convertir estas probabilidades en una métrica Sigma estandarizada.

Nivel Z

Se calcula la métrica Sigma equivalente incorporando el desplazamiento estandarizado de 1,5 desviaciones, el cual se aplica al indicador de largo plazo, conforme a la convención Six Sigma. Esto permite realizar benchmarking directo con estándares de la industria.

$$P_{\text{éxito(LT)}} = 1 - \frac{732634}{10^6} = 0,267 \implies Z_{LT} = \Phi^{-1}(0,267) = -0,621 \tag{30.4}$$

$$P_{\text{éxito(ST)}} = 1 - \frac{677738}{10^6} = 0,322 \implies Z_{ST} = \Phi^{-1}(0,322) = -0,461 \tag{31.4}$$

Al estandarizar el indicador, se obtiene un nivel de 0,879 Sigma. Este valor ratifica que el proceso actual no tiene la capacidad técnica para satisfacer los requerimientos del cliente. Finalmente, para sintetizar la aptitud del proceso considerando simultáneamente la variabilidad y el centrado, se procede al cálculo de los índices de capacidad y desempeño.

Índices de Capacidad y Desempeño

Para dictaminar la aptitud del proceso, se calculan los indicadores adimensionales que relacionan la variabilidad del sistema (VOP) con las tolerancias de diseño (VOC).

$$P_{pk} = \text{mín}\left[\frac{27 - 31,212}{3(71,969)}, \frac{31,212 - (-27)}{3(71,969)}\right] = \text{mín}[-0,02, 0,27] = -0,020 \tag{12.4}$$

$$C_{pk} = \text{mín}\left[\frac{27 - 31,212}{3(55,598)}, \frac{31,212 - (-27)}{3(55,598)}\right] = \text{mín}[-0,025, 0,349] = -0,025 \tag{13.4}$$

$$C_{pm} = \frac{54}{6 \times \sqrt{71,969^2 + (31,212 - 0)^2}} = \frac{54}{6 \times 78,446} = 0,115 \tag{14.4}$$

Los índices negativos confirman la condición de proceso incapaz. El valor de $C_{pm} = 0,115$ penaliza fuertemente la variabilidad y el descentramiento, indicando que el proceso de reparación de Mandos Finales requiere una reingeniería urgente para alinear la ejecución con la planificación.

Validación Gráfica del Modelo Estadístico

Se presenta el Informe de Capacidad del Proceso para Mandos Finales (ver **Figura 25**), corroborando la consistencia del modelo.

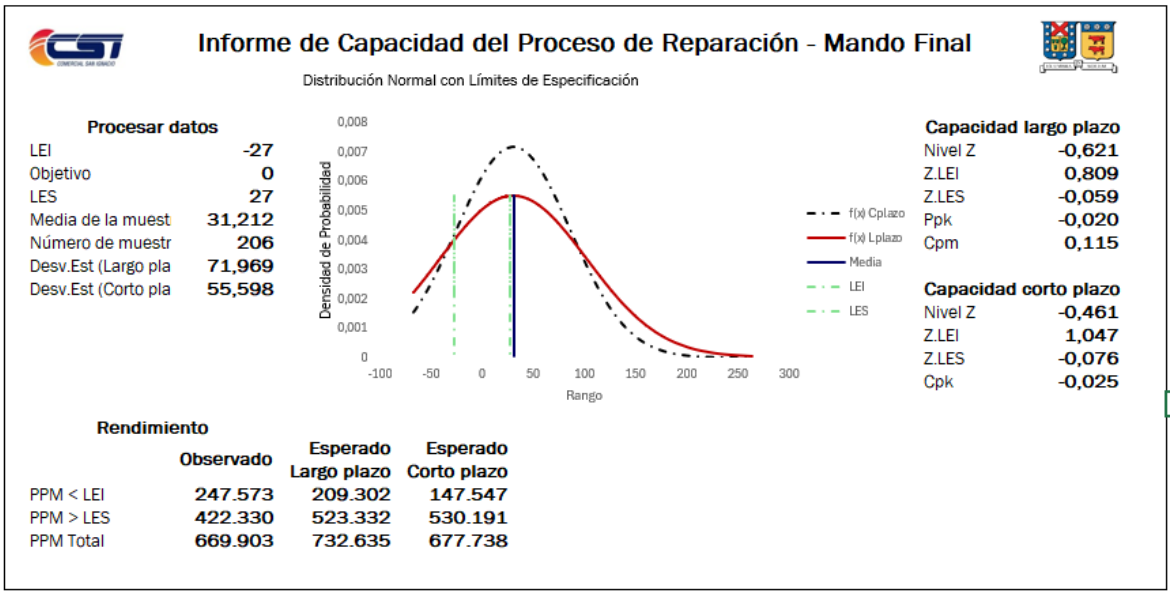

Figura 25: Análisis de Capacidad de Proceso de Reparación - Mandos Finales

Fuente: Elaboración Propia

El informe gráfico para Mandos Finales presenta un fenómeno distintivo de gran valor diagnóstico. A diferencia de los otros componentes, aquí se aprecia una discrepancia visual clara entre la curva de corto plazo (línea negra discontinua) y la de largo plazo (línea roja sólida). La curva negra es notablemente más leptocúrtica (alta y estrecha), indicando que el proceso tiene un potencial técnico superior al que realmente entrega (C_{pk} vs P_{pk}).

Sin embargo, la curva roja se muestra aplastada y ensanchada, reflejando cómo la variabilidad aumenta drásticamente con el tiempo ($\sigma_{LT} = 71,969$[Hrs] vs $\sigma_{ST} = 55,598$[Hrs]). Esto evidencia visualmente la falta de control estadístico, aunque el método puede ser preciso en momentos puntuales (corto plazo), factores externos o la ausencia de estandarización degradan el desempeño a largo plazo.

Finalmente, el posicionamiento de ambas curvas a la derecha del límite superior ($LES = 27$ [Hrs]) ratifica la incapacidad del proceso para cumplir los plazos, proyectando la alta tasa de defectos observada en las colas de la distribución.

A continuación, la **Tabla 10** consolida los indicadores de capacidad y desempeño del proceso obtenidos mediante el análisis estadístico inferencial.

Tabla 10: Resumen de Indicadores Estadísticos por Componente

Fuente: Elaboración Propia

Componente	**n**	$\boldsymbol{\mu}$ [Hrs]	$\boldsymbol{\sigma_{LT}}$ [Hrs]	$\boldsymbol{\sigma_{ST}}$ [Hrs]	$\boldsymbol{P_{pk}}$	$\boldsymbol{C_{pk}}$	$\boldsymbol{Z_{LT}}$	$\boldsymbol{Z_{ST}}$
Diferencial	40	15,08	40,08	35,32	0,099	0,112	-0,075	0,038
Convertidor	106	27,62	44,32	43,13	-0,005	-0,005	-0,291	-0,285
Transmisión	113	43,86	72,05	69,82	-0,078	-0,081	-0,691	-0,660
Mando Final	206	31,21	71,97	55,60	-0,020	-0,025	-0,621	-0,460

Con el propósito de alinear los indicadores de capacidad obtenidos con los estándares internacionales de la metodología Six Sigma, se procede a la normalización de los niveles Z. Este procedimiento consiste en adicionar un factor de desplazamiento teórico de 1,5 σ a los valores calculados de corto y largo plazo (Z_{ST} y Z_{LT} respectivamente). Esta estandarización es fundamental para transformar los datos estadísticos puros en métricas industriales comparables, permitiendo situar el desempeño del proceso de reparación dentro de las escalas de referencia globales y facilitando la interpretación de la capacidad frente a los objetivos estratégicos de la organización.

Tabla 11: Niveles Sigma Estandarizados por Componente

Fuente: Elaboración Propia

Componente	**Nivel Sigma LT**	**Nivel Sigma ST**	**Desplazamiento** (Z_{Shift})
Diferencial	1,425 σ	1,538 σ	0,113
Convertidor	1,209 σ	1,215 σ	0,006
Transmisión	0,809 σ	0,840 σ	0,031
Mando Final	0,879 σ	1,040 σ	0,161

6.2.3. Analizar

El análisis revela que ninguno de los componentes críticos cumple con los estándares mínimos de capacidad. Los cuatro procesos presentan índices de desempeño (Ppk) drásticamente inferiores al umbral de 1,33 aceptado por la industria. Más aún, tres de los cuatro componentes (Transmisiones, Mandos Finales y Convertidores) presentan índices negativos o nulos. Estadísticamente, esto indica que el proceso se encuentra desplazado respecto de los límites de especificación.

Al comparar σ_{LT} se observa una clara segmentación en el desempeño. Los procesos de Diferenciales ($\sigma_{LT} = 40,08$[Hrs]) y Convertidores ($\sigma_{LT} = 44,32$) presentan una dispersión moderada en comparación con el resto del grupo. Por el contrario, los procesos de Transmisiones ($\sigma_{LT} = 72,05$[Hrs]) y Mandos Finales ($\sigma_{LT} = 71,97$[Hrs]) exhiben una variabilidad extrema, casi duplicando la de los otros componentes. Esta alta dispersión indica una falta severa de control y estandarización, generando que los tiempos

de entrega de estos componentes sean altamente impredecibles para la planificación.

Desde una perspectiva puramente de capacidad (P_{pk}), el proceso de Transmisiones aparece como el más deficiente (-0,08). Sin embargo, el proceso de Mandos Finales presenta un escenario técnico de igual gravedad: posee una variabilidad prácticamente idéntica ($\sigma_{LT} \approx 72$ [Hrs]) y un centrado igualmente desplazado hacia el retraso (+31,21 [Hrs] de promedio). Considerando que el Mando Final tiene una frecuencia de ingreso sustancialmente mayor al taller, la optimización de su proceso generará un impacto sistémico superior. Resolver la inestabilidad del Mando Final liberará una mayor cantidad de recursos y reducirá la incertidumbre en una mayor proporción de las órdenes de trabajo totales del CRC.

6.3. Ejecución

Habiendo definido al Mando Final como el componente crítico para la empresa, el análisis se reorienta ahora hacia la optimización específica de su ciclo de reparación. En esta fase, se aplicará la metodología DMAIC para examinar en profundidad el desempeño de este proceso. Esta etapa comienza con la fase Definir, en la cual se proyectan los objetivos que se requieren alcanzar, las personas encargadas de dar vida al proyecto y el compromiso de la empresa para su ejecución.

6.3.1. Definir

El objetivo de esta etapa es establecer los lineamientos, el alcance y las metas del proyecto de mejora sobre los procesos de reparación de los mandos finales, componente seleccionado como el de mayor impacto en la organización. En este contexto, resulta fundamental formalizar el compromiso de la empresa con el proyecto mediante un Project Charter, documento que consolida los objetivos, los responsables y los alcances del esfuerzo de mejora.

6.3.1.1. Project Charter

El Project Charter constituye el documento formal que autoriza y respalda institucionalmente el desarrollo del proyecto de mejora continua, estableciendo su marco inicial de referencia. En este documento se definen los objetivos del proyecto, su alcance, los principales indicadores de desempeño y los responsables clave, asegurando la alineación del proyecto con las necesidades operacionales y estratégicas de la organización. Su elaboración se fundamenta en los hallazgos obtenidos durante la fase de Identificación, los cuales permiten justificar la pertinencia del proyecto y delimitar de manera clara el problema a abordar.

PROJECT CHARTER PROCESO DE REPARACIÓN MANDOS FINALES	
Proyecto	Diagnóstico estadístico y optimización del proceso de reparación de Mandos Finales Caterpillar mediante metodología Six Sigma.
Lider	Dicson Gonzalez / **Gerente General**
Problema	El proceso de reparación de Mandos Finales presenta un comportamiento estadísticamente inestable, caracterizado por desplazamiento positivo sostenido de la media, elevada dispersión y desempeño deficiente de capacidad del proceso. El análisis preliminar evidencia un retraso promedio de +31,21 horas respecto al estándar del fabricante, junto con un valor actual de Ppk = -0,02, un Cpm = 0,11 y un Nivel Sigma LT < 1, lo que refleja una incapacidad estructural del proceso para cumplir consistentemente con los requisitos del cliente y la desviación del promedio de los tiempos de reparación con respecto al target.
Objetivo	· Incrementar el índice de desempeño del proceso (Ppk) desde su valor inicial de -0,02 hasta un valor superior a 1,0. · Reducir el retraso promedio del proceso desde +31,21 horas hasta un valor inferior a +15 horas. · Disminuir la desviación estándar del proceso en al menos un 25%. · Generar que Nivel Sigma LT ≥ 2
Alcance	El proyecto abarca el ciclo completo de reparación del Mando Final dentro del CRC: desde el Desarme y Evaluación, Armado, Pruebas, hasta Pintura y su embalaje para ser despachado al cliente. Queda fuera del alcance la logística de transporte externo.
Equipo	Hector Vega / **Jefe Control de Gestión y Procesos** Mauricio Hidalgo / **Memorista**
Stakeholders	Patricio Araya / **Ingeniero de Sistemas Informaticos** Manuel Gonzalez / **Supervisor Operaciones CRC** Andres Contreras / **Tecnico B - Mandos Finales**

Carta Gantt Preliminar			
Fase	**Objetivo**	**Inicio**	**Final**
Definir	Formular problema técnico.	Septiembre	Octubre
Medir	Obtener capacidad de proceso de Desarme, Armado, Pruebas y Pintura en Mandos Finales Caterpillar.	Octubre	Octubre
Analizar	Interpretar resultados del analisis de capacidad para determinar etapa critica dentro del proceso de reparación de mando final.	Octubre	Noviembre
Mejorar	Generar soluciones en etapa critica, en conjunto de KPIs para seguimiento del estado del proceso.	Noviembre	Noviembre
Controlar	Seguimiento KPIs y control de la implementación de las mejoras, asegurnado sostenibilidad.	Diciembre	Enero

Figura 26: Project Charter

Fuente: Elaboración Propia

Definido el marco general del proyecto a través del Project Charter, se procede a caracterizar el proceso de reparación mediante un mapeo de alto nivel, utilizando la herramienta SIPOC.

6.3.1.2. Mapeo del Proceso

El mapeo del proceso constituye un paso fundamental para comprender de manera estructurada el funcionamiento del proceso de reparación de mandos finales y esta-

blecer sus límites operacionales. En este contexto, la herramienta SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers) permite representar el proceso desde una perspectiva de alto nivel, identificando los proveedores, las entradas críticas, las principales actividades, las salidas generadas y los clientes asociados. Este análisis facilita la alineación entre los distintos actores involucrados, reduce ambigüedades respecto al alcance del estudio y sienta las bases para la correcta definición de indicadores y variables de medición que serán abordados en las fases posteriores del ciclo DMAIC.

Tabla 12: Diagrama SIPOC - Proceso de Reparación de Mando Final

Fuente: Elaboración Propia

Elemento SIPOC	Descripción del Flujo
Proveedores (S)	▪ Cliente (Dueño del componente) ▪ Bodega (Repuestos nuevos e insumos) ▪ CRMM (Recuperación de piezas) ▪ UTCC (Control de Calidad y pautas técnicas)
Entradas (I)	▪ Mando Final usado ▪ Repuestos nuevos ▪ Piezas recuperadas ▪ Informe de evaluación técnica
Proceso (P)	▪ Desarme y Evaluación Técnica ▪ Armado ▪ Pruebas y Ajustes ▪ Pintura y Embalaje Final
Salidas (O)	▪ Mando Final reparado y probado ▪ Informe Técnico de Armado ▪ Certificado de Pruebas y Garantía
Clientes (C)	▪ Cliente ▪ Gerencia Comercial (Ventas) ▪ Gerencia de Operaciones CRC (Cumplimiento de metas)

Una vez caracterizado el proceso de reparación de mandos finales a través del mapeo

SIPOC, se cuenta con una visión clara de sus entradas, actividades y salidas principales. Sobre esta base, resulta posible identificar las variables críticas del proceso y establecer indicadores de desempeño que permitan medir su comportamiento de manera objetiva, dando paso a la definición de los Indicadores Clave de Desempeño (KPIs), que serán utilizados para evaluar el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

6.3.1.3. KPIs

El enfoque del proyecto es la reducción de los tiempos de reparación a valores cercanos al SJ y su estabilización dentro de los márgenes definidos en conjunto con la empresa, por lo que se establece un KPI capaz de realizar la medición y el seguimiento de estos objetivos.

La variable de respuesta principal (θ) que se utilizará para medir el éxito del proyecto es la desviación del tiempo de reparación respecto al estándar:

$$\theta = \Delta Tiempo = Tiempo_{Real} - Tiempo_{SJ} \tag{36}$$

Este indicador refleja directamente el nivel de cumplimiento del estándar técnico y representa el desempeño operacional puro del proceso. Valores positivos indican retraso, mientras que valores negativos representan cumplimiento o desempeño superior al estándar.

Como métricas secundarias se utilizan los índices P_{pk} y C_{pm}, con el propósito de evaluar el desempeño y la capacidad estructural del proceso, incorporando simultáneamente la variabilidad, el centrado respecto al objetivo y la estabilidad desde una perspectiva estadística.

6.3.2. Medir

Tras la selección del Mando Final como el componente crítico, se procede a realizar un análisis específico con su proceso interno. El objetivo de esta fase es medir el desempeño inicial de sus subprocesos (Desarme, Armado, Pruebas y Pintura) para identificar en cuál de ellos se concentra la variabilidad y el retraso, estableciendo así la Línea Base del proyecto.

Al igual que en la fase anterior, se utiliza el indicador $\Delta Tiempo_{Reparacin}$. De igual forma, el análisis de los datos se realiza según las ecuaciones ya utilizadas en el análisis de capacidad de cada componente y verificadas mediante el software estadístico Minitab, con el fin de corroborar los resultados obtenidos.

Para este análisis específico, se ajustaron los parámetros de entrada. Estos se calculan según la proporción de Tiempo SJ que posee cada etapa del proceso de reparación de mandos finales. Si bien cada Mando Final posee su propio SJ según el equipo al que corresponde, todos comparten la proporción (P_{etapa}) de tiempo que demora cada etapa. En el caso de Desarme y Armado, ambas etapas abarcan un 40 % del tiempo total

de reparación cada una, acumulando en conjunto un 80 % de las HH del proceso. Por otro lado, Pruebas y Pintura abarcan aproximadamente el 20 % restante del tiempo de reparación, con un 10 % para cada etapa.

Los límites de cada etapa deben ser congruentes con los límites generales de la reparación de los mandos finales, por lo que deben cumplir la siguiente relación:

$$|LEI_{etapa}| = \sum (P_{etapa} \times |LEI_{MandoFinal}|) \tag{37}$$

Donde $|LEI_{MandoFinal}|$ corresponde a 27 [Hrs], valor asociado a los límites de especificación aplicados al proceso general de reparación de Mandos Finales, y P_{etapa} depende de la proporción asignada a cada etapa. Con esto se obtienen los resultados mostrados en la **Tabla 13**

Tabla 13: Datos de Entrada para Análisis de Capacidad - Etapas

Fuente: Elaboración Propia

Etapa	LEI (Inferior)	LES (Superior)
Desarme	-12 [Hrs]	+12 [Hrs]
Armado	-12 [Hrs]	+12 [Hrs]
Pruebas	-2 [Hrs]	+2 [Hrs]
Pintura	-2 [Hrs]	+2 [Hrs]

Con estos parámetros, se realizó el análisis de capacidad para las cuatro etapas. La **Tabla 14** presenta el resumen comparativo de los indicadores estadísticos obtenidos. Los informes gráficos detallados se encuentran en los **Anexos E.1 a E.3**.

6.3.2.1. Análisis de Capacidad - Desarme

Análisis de Tendencia Central

Se determina la media aritmética muestral para establecer el punto de operación actual de la etapa de desarme. Este parámetro permite identificar el sesgo sistemático respecto al valor objetivo nominal.

$$\mu(Desarme) = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{1150,13}{206} = 5,583[Hrs] \tag{3.5}$$

La media muestral de 5,583 [Hrs] evidencia un desplazamiento positivo. Aunque se mantiene dentro del rango de tolerancia, el proceso consume, por defecto, casi el 50 % de la holgura disponible solo por tendencia central. Habiendo detectado este sesgo, corresponde cuantificar la dispersión que rodea a esta media operativa.

Análisis de Variabilidad - Largo y Corto Plazo

Se calcula la desviación estándar global (σ_{LT}) para evaluar la precisión total del equipo técnico durante el desarme, considerando todas las fuentes de variación.

$$\sigma_{LT}(Desarme) = \sqrt{\frac{192843,21}{205}} = 30,67[Hrs] \tag{4.5}$$

Para el cálculo de la variabilidad a corto plazo, es necesario determinar primero el Rango Móvil (Rm_i). Este dato estadístico representa la variación absoluta entre dos mediciones consecutivas del proceso, permitiendo aislar la variabilidad inherente paso a paso.

$$Rm_i = |X_i - X_{i-1}| \tag{9.5}$$

El cálculo detallado de cada uno de los rangos móviles se encuentra en el Anexo correspondiente. A continuación, se presenta la sumatoria total de estos rangos.

$$\sum Rm_i(Desarme) = 5615,28[Hrs] \tag{38}$$

Con este valor se obtiene el Rango Móvil Promedio ($\bar{R}_m$).

$$\bar{R}_m(Desarme) = \frac{5615,28}{205} = 27,392 \tag{10.5}$$

Finalmente, se estima la desviación estándar de corto plazo (ST). Para este cálculo se utiliza la constante de corrección $d_2 = 1,128$. El uso de este valor específico se debe a que el Rango Móvil implica agrupar los datos en subgrupos de tamaño $n = 2$ (el dato actual y el anterior). Según las tablas estadísticas de control de calidad para distribución normal, el factor que relaciona el rango medio con la desviación estándar para este tamaño de subgrupo es 1,128.

$$\sigma_{ST}(Desarme) = \frac{\bar{R}_m}{d_2} = \frac{27,392}{1,128} = 24,283[Hrs] \tag{11.5}$$

La magnitud de la desviación estándar de largo plazo es desproporcionada respecto a la tolerancia. La dispersión es 2,5 veces mayor que el límite permitido, lo que indica que el proceso de desarme es altamente inestable. Con esta variabilidad cuantificada, el siguiente paso es normalizar la distancia a los límites para evaluar el riesgo estadístico.

Z-Scores - Largo y Corto Plazo

Se calculan los valores Z tanto para largo plazo como para corto plazo, determinando el margen de seguridad respecto a los límites superior e inferior.

$$Z.LES_{LT}(Desarme) = \frac{12 - 5,583}{30,67} = 0,21 \tag{15.5}$$

$$Z.LEI_{LT}(Desarme) = \frac{-12 - 5,583}{30,67} = -0,57 \tag{16.5}$$

$$Z.LES_{ST}(Desarme) = \frac{12 - 5,583}{24,283} = 0,26 \tag{17.5}$$

$$Z.LEI_{ST}(Desarme) = \frac{-12 - 5,583}{24,283} = -0,72 \tag{18.5}$$

Los valores Z cercanos a cero indican que la media del proceso se encuentra peligrosamente próxima a los límites de especificación, dejando un margen de error prácticamente nulo. A partir de estos valores, se procede a proyectar la tasa de defectos esperada.

Proyección de Tasas de Defecto

Se presentan las tasas de defecto observadas en la muestra y las proyecciones teóricas basadas en la distribución normal.

$$PPM_{\text{Observado}} = 689320 \tag{21.5}$$

$$PPM_{LT} = [\Phi(-0,57) + (1 - \Phi(0,21))] \times 10^6 = 700364 \tag{24.5}$$

$$PPM_{ST} = [\Phi(-0,72) + (1 - \Phi(0,26))] \times 10^6 = 630301 \tag{27.5}$$

La proyección de aproximadamente 700.000 PPM implica que cerca del 70 % de los procesos de desarme no cumplen con el tiempo estándar. Para estandarizar este desempeño, se calcula el Nivel Z Benchmark.

Nivel Z

De acuerdo con la convención Six Sigma, el Nivel Sigma benchmark se reporta aplicando un desplazamiento de 1,5σ al desempeño de largo plazo, con el fin de homologar el comportamiento real del proceso a un lenguaje estándar ampliamente utilizado en la industria.

$$P_{\text{éxito(LT)}} = 1 - \frac{700364}{10^6} = 0,2996 \implies Z_{LT} = \Phi^{-1}(0,2996) = -0,525 \tag{30.5}$$

$$P_{\text{éxito(ST)}} = 1 - \frac{630301}{10^6} = 0,3697 \implies Z_{ST} = \Phi^{-1}(0,3697) = -0,333 \tag{31.5}$$

Al estandarizar el indicador según la convención Six Sigma, se obtiene un nivel aproximado de:

$$NivelSigma = Z_{LT} + 1,5 = -0,525 + 1,5 = 0,975 \tag{39}$$

El Nivel Z de 0,975 Sigma sitúa al proceso de desarme en una zona de capacidad deficiente, muy por debajo de los estándares aceptables de la industria. Finalmente, se procede al cálculo de los índices de capacidad.

Índices de Capacidad y Desempeño

Se determinan los índices adimensionales para el diagnóstico final.

$$P_{pk} = \text{mín}\left[\frac{12 - 5,583}{3(30,67)}, \frac{5,583 - (-12)}{3(30,67)}\right] = 0,070 \tag{12.5}$$

$$C_{pk} = \text{mín}\left[\frac{12 - 5,583}{3(24,283)}, \frac{5,583 - (-12)}{3(24,283)}\right] = 0,088 \tag{13.5}$$

$$C_{pm} = \frac{24}{6 \times \sqrt{30,67^2 + (5,583 - 0)^2}} = 0,128 \tag{14.5}$$

El índice de desempeño de P_{pk} 0,070 confirma la incapacidad del proceso, debido a una variabilidad excesiva que supera las tolerancias.

Validación Gráfica del Modelo Estadístico

Se presenta el Informe de Capacidad del Proceso para la etapa de Desarme (ver **Figura 27**), corroborando los indicadores calculados y verificados por MiniTab en **Anexo E.1**.

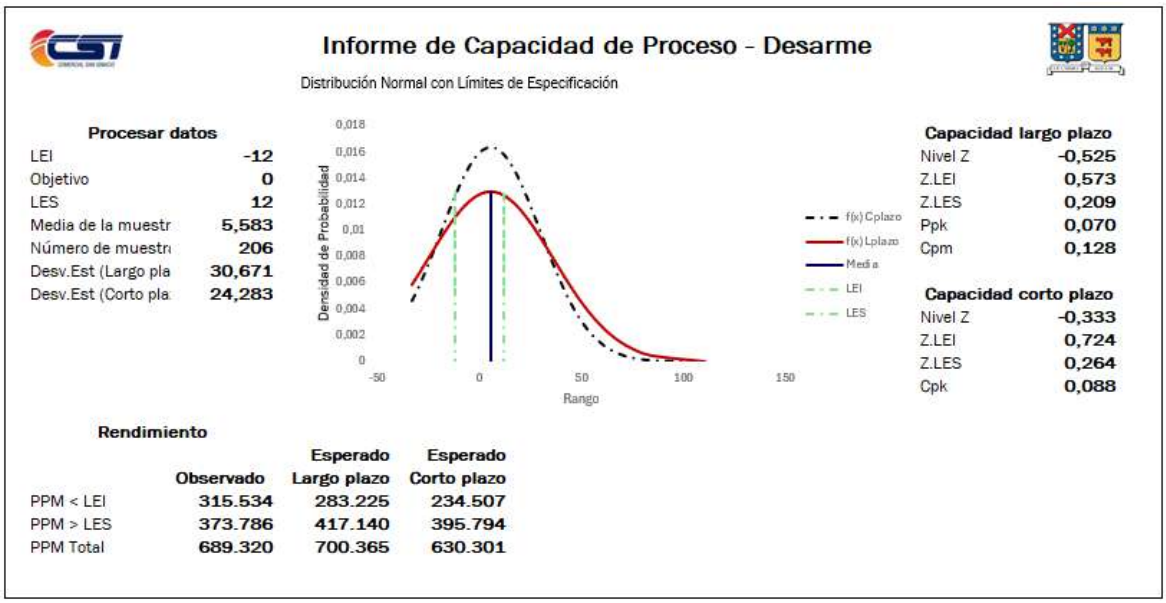

Figura 27: Informe de Capacidad de Proceso - Desarme

Fuente: Elaboración Propia

El análisis visual de la capacidad del proceso de Desarme revela una distribución con tendencia platocúrtica. Si bien la media se mantiene dentro del rango positivo, la amplitud de la distribución es tal que las colas invaden ambos límites de especificación. Esto confirma visualmente que, aunque el proceso no está severamente descentrado, la variabilidad inherente es excesiva para la tolerancia de ±12 [Hrs].

El subproceso de Desarme se caracteriza por ser una operación bajo control relativo en términos de centrado, pero altamente ineficiente debido a su dispersión. Sin embargo, una vez que los componentes han sido desarmados e inspeccionados, ingresan a la etapa de mayor complejidad técnica y manual, el Armado. A continuación, se evalúa si esta siguiente fase logra corregir la variabilidad o si introduce nuevos factores de descontrol al sistema.

6.3.2.2. Análisis de Capacidad - Armado

Análisis de Tendencia Central

Se evalúa la media aritmética de la etapa de Armado, crítica por su complejidad técnica.

$$\mu(Armado) = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{4589}{206} = 22,217[Hrs] \tag{3.6}$$

Se detecta una anomalía severa: la media supera largamente el límite superior. El proceso tiende naturalmente a demorar 22,217 [Hrs] adicionales al estándar, siendo el subproceso con el mayor descentramiento. Ante este escenario crítico, se cuantifica la dispersión.

Análisis de Variabilidad - Largo y Corto Plazo

Se calcula la desviación estándar global para dimensionar la inestabilidad total del armado, véase **Anexo E.3**.

$$\sigma_{LT}(Armado) = \sqrt{\frac{594930,70}{205}} = 53,87[Hrs] \tag{4.6}$$

Para determinar la variabilidad inherente de corto plazo, se recurre al Rango Móvil (Rm_i), véase **Anexo E.4**.

$$Rm_i = |X_i - X_{i-1}| \tag{9.6}$$

La tabla completa de estos valores se encuentra en el Anexo correspondiente. La suma de las variaciones individuales resulta en:

$$\sum Rm_i(Armado) = 9799,39[Hrs] \tag{40}$$

Con este valor acumulado, se calcula el promedio del rango móvil.

$$\bar{R}_m(Armado) = \frac{9799,39}{205} = 47,802 \tag{10.6}$$

Posteriormente, se deriva la desviación estándar de corto plazo dividiendo el rango medio por la constante estadística $d_2 = 1,128$.

$$\sigma_{ST}(Armado) = \frac{\bar{R}_m}{d_2} = \frac{47,802}{1,128} = 42,378[Hrs] \tag{11.6}$$

Una desviación estándar de 53,87 [Hrs] en un proceso con tolerancia de ±12 [Hrs] indica que la dispersión natural es 4,5 veces mayor que el límite permitido. Se procede a calcular los Z-scores para evaluar la magnitud de la desviación.

Z-Scores - Largo y Corto Plazo

Se calculan los valores Z para determinar la posición relativa de la media.

$$Z.LES_{LT}(Armado) = \frac{12 - 22,217}{53,87} = -0,19 \tag{15.6}$$

$$Z.LEI_{LT}(Armado) = \frac{-12 - 22,217}{53,87} = -0,64 \tag{16.6}$$

$$Z.LES_{ST}(Armado) = \frac{12 - 22,217}{42,378} = -0,24 \tag{17.6}$$

$$Z.LEI_{ST}(Armado) = \frac{-12 - 22,217}{42,378} = -0,81 \tag{18.6}$$

El valor negativo en el límite superior ratifica que el centro de la distribución está desplazado hacia la zona de incumplimiento. Con estos datos, se proyecta la tasa de defectos.

Proyección de Tasas de Defecto

Se presenta el PPM observado y las proyecciones teóricas.

$$PPM_{\text{Observado}} = 839805 \tag{21.6}$$

$$PPM_{LT} = [\Phi(-0,64) + (1 - \Phi(-0,19))] \times 10^6 = 837944 \tag{24.6}$$

$$PPM_{ST} = [\Phi(-0,81) + (1 - \Phi(-0,24))] \times 10^6 = 805108 \tag{27.6}$$

La proyección indica que más del 83 % de los armados resultan en retraso, siendo la etapa cuello de botella de la calidad. Se calcula el Nivel Z estandarizado para comparar.

Nivel Z

Se obtiene el nivel Sigma ajustado con el desplazamiento de 1,5.

$$P_{\text{éxito(LT)}} = 1 - \frac{837944}{10^6} = 0,1621 \implies Z_{LT} = \Phi^{-1}(0,1621) = -0,986 \tag{30.6}$$

$$P_{\text{éxito(ST)}} = 1 - \frac{805108}{10^6} = 0,1949 \implies Z_{ST} = \Phi^{-1}(0,1949) = -0,860 \tag{31.6}$$

El nivel de 0,514 Sigma confirma que el Armado es el subproceso más deficiente, operando en un estado de descontrol casi total. Finalmente, los índices de capacidad confirman el diagnóstico.

Índices de Capacidad y Desempeño

Se determinan los índices para la evaluación final.

$$P_{pk} = \text{mín}\left[\frac{12 - 22,217}{3(53,87)}, \frac{22,217 - (-12)}{3(53,87)}\right] = -0,063 \tag{12.6}$$

$$C_{pk} = \text{mín}\left[\frac{12 - 22,217}{3(42,378)}, \frac{22,217 - (-12)}{3(42,378)}\right] = -0,080 \tag{13.6}$$

$$C_{pm} = \frac{24}{6 \times \sqrt{53,87^2 + (22,217 - 0)^2}} = 0,069 \tag{14.6}$$

Los índices negativos y el índice de Taguchi cercano a cero evidencian que el Armado no cumple con ninguna especificación de diseño, generando las mayores pérdidas del sistema.

Validación Gráfica del Modelo Estadístico

Se presenta el Informe de Capacidad del Proceso para la etapa de Armado (ver **Figura 28**), validación verificada por Minitab (ver **Anexo E.2**).

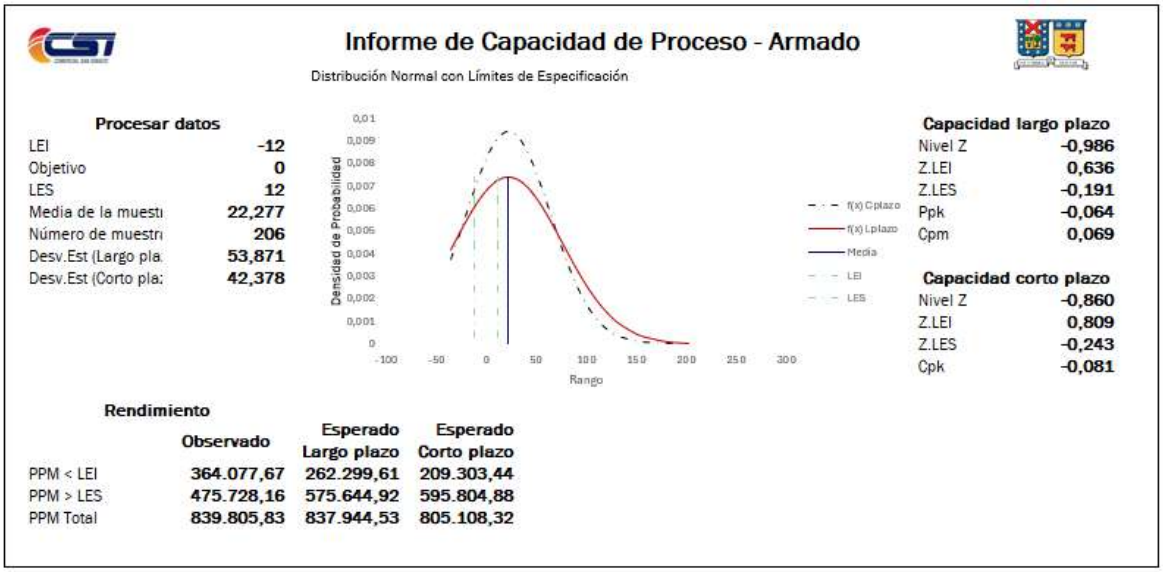

Figura 28: Informe de Capacidad de Proceso - Armado

Fuente: Elaboración Propia

La gráfica de capacidad del Armado ilustra el escenario más desfavorable de todo el estudio. Se observa un desplazamiento masivo de la curva hacia la derecha, donde la media se sitúa completamente fuera del Límite de Especificación Superior. Visualmente, no existe superposición entre el cuerpo principal de la distribución y la zona de aceptación.

Los resultados confirman que la etapa de Armado representa la mayor restricción técnica del flujo, inyectando un retraso sistemático y severo al ciclo total. Una vez superada esta barrera crítica, el componente ingresa a la fase de terminación estética: la Pintura. A continuación, se analiza si este proceso logra recuperar los estándares de control perdidos en la etapa anterior.

6.3.2.3. Análisis de Capacidad - Pintura

Análisis de Tendencia Central

Se analiza la etapa de Pintura, que posee tolerancias más ajustadas.

$$\mu(Pintura) = \frac{87,69}{206} = 0,426[Hrs] \tag{3.7}$$

La media de 0,426 [Hrs] es la mejor centrada de todo el sistema respecto al objetivo, manteniéndose cercana al valor nominal. Sin embargo, es necesario verificar si la dispersión acompaña este buen centrado.

Análisis de Variabilidad - Largo y Corto Plazo

Se calcula la desviación estándar global del proceso de pintura, véase Anexo **??**.

$$\sigma_{LT}(Pintura) = \sqrt{\frac{5049,27}{205}} = 4,96[Hrs] \tag{4.7}$$

Para evaluar la consistencia inmediata del proceso, se utiliza el Rango Móvil, véase **Anexo E.6**.

$$Rm_i = |X_i - X_{i-1}| \tag{9.7}$$

La sumatoria de estos rangos, calculada en el Anexo, es:

$$\sum Rm_i(Pintura) = 886,96[Hrs] \tag{41}$$

Calculando el promedio:

$$\bar{R}_m(Pintura) = \frac{886,96}{205} = 4,327 \tag{10.7}$$

Para obtener la desviación estándar de corto plazo, se divide este promedio por la constante $d_2 = 1,128$.

$$\sigma_{ST}(Pintura) = \frac{4,327}{1,128} = 3,836[Hrs] \tag{11.7}$$

Aunque la media es buena, la desviación es más del doble que la tolerancia permitida, lo que indica imprecisión. Se normaliza esta relación mediante los Z-scores.

Z-Scores - Largo y Corto Plazo

Se calculan los valores Z para largo y corto plazo.

$$Z.LES_{LT}(Pintura) = \frac{2 - 0,426}{4,96} = 0,32 \tag{15.7}$$

$$Z.LEI_{LT}(Pintura) = \frac{-2 - 0,426}{4,96} = -0,49 \tag{16.7}$$

$$Z.LES_{ST}(Pintura) = \frac{2 - 0,426}{3,836} = 0,41 \tag{17.7}$$

$$Z.LEI_{ST}(Pintura) = \frac{-2 - 0,426}{3,836} = -0,63 \tag{18.7}$$

Los valores Z son bajos pero positivos en el límite superior, indicando un riesgo existente, aunque menor en comparación con las etapas anteriores. Se proyecta la tasa de defectos.

Proyección de Tasas de Defecto

Se calculan los PPM observados y esperados.

$$PPM_{\text{Observado}} = 679611 \tag{21.7}$$

$$PPM_{LT} = [\Phi(-0,49) + (1 - \Phi(0,32))] \times 10^6 = 688045 \tag{24.7}$$

$$PPM_{ST} = [\Phi(-0,63) + (1 - \Phi(0,41))] \times 10^6 = 604303 \tag{27.7}$$

A pesar del buen centrado, la alta varianza genera una proyección de 688.000 PPM. Se calcula el nivel Sigma.

Nivel Z

Se obtiene el nivel Sigma ajustado.

$$P_{\text{éxito(LT)}} = 1 - \frac{688045}{10^6} = 0,3120 \implies Z_{LT} = \Phi^{-1}(0,3120) = -0,490 \tag{30.7}$$

$$P_{\text{éxito(ST)}} = 1 - \frac{604303}{10^6} = 0,3957 \implies Z_{ST} = \Phi^{-1}(0,3957) = -0,265 \tag{31.7}$$

Con un Nivel de Six Sigma equivalente a 1,010 Sigma, la Pintura es el subproceso con mejor desempeño relativo, aunque sigue siendo deficiente bajo estándares industriales. Se concluye con los índices de capacidad.

Índices de Capacidad y Desempeño

Se calculan los índices finales.

$$P_{pk} = \text{mín}\left[\frac{2 - 0,426}{3(4,96)}, \frac{0,426 - (-2)}{3(4,96)}\right] = 0,106 \tag{12.7}$$

$$C_{pk} = \text{mín}\left[\frac{2 - 0,426}{3(3,836)}, \frac{0,426 - (-2)}{3(3,836)}\right] = 0,137 \tag{13.7}$$

$$C_{pm} = \frac{4}{6 \times \sqrt{4,96^2 + (0,426 - 0)^2}} = 0,134 \tag{14.7}$$

Los índices confirman que, aunque el proceso está centrado, presenta alta imprecisión.

Validación Gráfica

Se presenta el Informe de Capacidad del Proceso para la etapa de Pintura (ver **Figura 29**), y la verificación por medio de MiniTab en **Anexo E.3**.

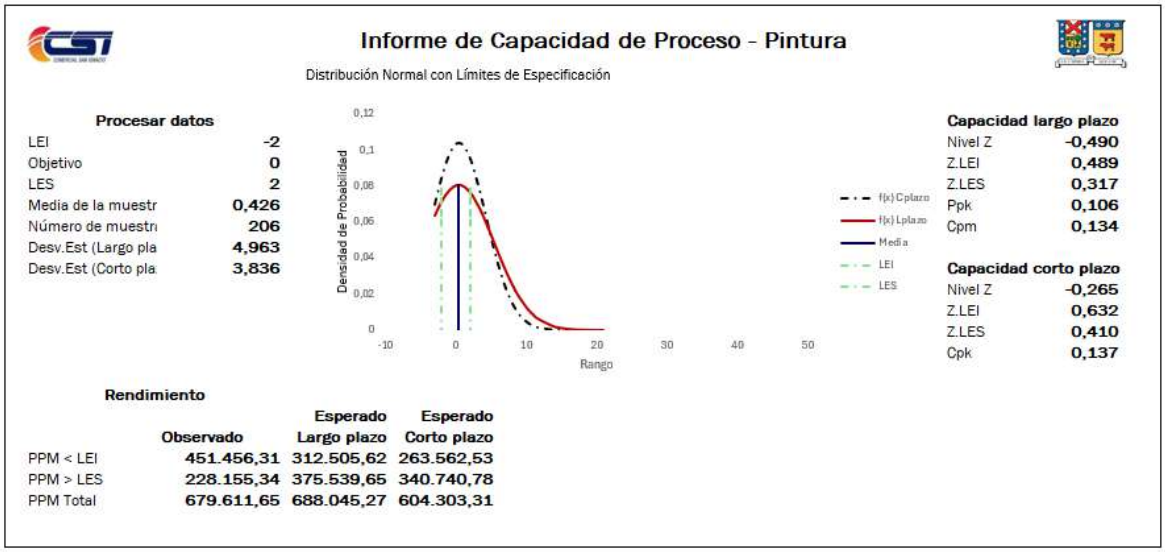

Figura 29: Informe de Capacidad de Proceso - Pintura

Fuente: Elaboración Propia

El subproceso de Pintura presenta una morfología distinta al resto: es el único proceso que se observa visualmente centrado, con la media alineada eficazmente cerca del objetivo cero. No obstante, la gráfica revela el problema latente: las tolerancias son tan estrechas en relación con la variabilidad real del trabajo que la curva normal, aunque centrada, se desborda por ambos lados.

La etapa de Pintura demuestra que es posible mantener el centrado operativo, aunque falla en la precisión. Finalmente, el componente terminado debe someterse a la validación funcional en banco dinamométrico. Esta última etapa, las Pruebas, representa el filtro final de calidad y suele revelar defectos ocultos de las etapas previas. A continuación, se analiza su capacidad para cumplir los tiempos de certificación.

6.3.2.4. Análisis de Capacidad - Pruebas

Análisis de Tendencia Central

Se analiza la etapa final de certificación técnica.

$$\mu(Pruebas) = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{602,76}{206} = 2,926[Hrs] \tag{3.8}$$

La media supera el límite de tolerancia, indicando un sesgo sistemático hacia el retraso en la liberación del componente. Se cuantifica la variabilidad asociada.

Análisis de Variabilidad - Largo y Corto Plazo

Se calcula la desviación estándar global del proceso de pruebas, véase **Anexo ??**.

$$\sigma_{LT}(Pruebas) = \sqrt{\frac{14974,37}{205}} = 8,55[Hrs] \tag{4.8}$$

Para aislar la variación propia del método, se utiliza el Rango Móvil, véase **Anexo E.8**.

$$Rm_i = |X_i - X_{i-1}| \tag{9.8}$$

La sumatoria de los rangos móviles es:

$$\sum Rm_i(Pruebas) = 958,68[Hrs] \tag{42}$$

El promedio se calcula como:

$$\bar{R}_m(Pruebas) = \frac{958,68}{205} = 4,676 \tag{10.8}$$

La desviación estándar de corto plazo se obtiene aplicando la constante $d_2 = 1,128$.

$$\sigma_{ST}(Pruebas) = \frac{4,676}{1,128} = 4,146[Hrs] \tag{11.8}$$

La dispersión a largo plazo es aproximadamente cuatro veces la tolerancia, evidenciando una falta de estandarización en los protocolos de prueba. Se calculan los Z-scores.

Z-Scores - Largo y Corto Plazo

Se calculan los valores Z para determinar la posición relativa de la media.

$$Z.LES_{LT}(Pruebas) = \frac{2 - 2,926}{8,55} = -0,11 \tag{15.8}$$

$$Z.LEI_{LT}(Pruebas) = \frac{-2 - 2,926}{8,55} = -0,58 \tag{16.8}$$

$$Z.LES_{ST}(Pruebas) = \frac{2 - 2,926}{4,146} = -0,22 \tag{17.8}$$

$$Z.LEI_{ST}(Pruebas) = \frac{-2 - 2,926}{4,146} = -1,19 \tag{18.8}$$

El valor negativo de los Z-scores indica que la media del proceso invade la zona de defecto. Se proyectan los PPM.

Proyección de Tasas de Defecto

Se presentan las tasas observadas y proyectadas.

$$PPM_{\text{Observado}} = 184466 \tag{21.8}$$

$$PPM_{LT} = [\Phi(-0,58) + (1 - \Phi(-0,11))] \times 10^6 = 825324 \tag{24.8}$$

$$PPM_{ST} = [\Phi(-1,19) + (1 - \Phi(-0,22))] \times 10^6 = 705752 \tag{27.8}$$

La tasa de defectos es extremadamente alta, aunque inferior a la observada en la etapa de Armado. Se estandariza el desempeño.

Nivel Z

Se calcula el nivel Sigma.

$$P_{\text{éxito(LT)}} = 1 - \frac{825324}{10^6} = 0,1747 \implies Z_{LT} = \Phi^{-1}(0,1747) = -0,936 \tag{30.8}$$

$$P_{\text{éxito(ST)}} = 1 - \frac{705752}{10^6} = 0,2942 \implies Z_{ST} = \Phi^{-1}(0,2942) = -0,541 \tag{31.8}$$

El nivel de 0,564 Sigma señala que la etapa de Pruebas es el segundo punto más crítico del flujo, manteniendo una diferencia significativa respecto a la etapa de Armado. Se cierra con los índices finales.

Índices de Capacidad y Desempeño

Se calculan los índices finales para pruebas.

$$P_{pk} = \text{mín}\left[\frac{2 - 2,926}{3(8,55)}, \frac{2,926 - (-2)}{3(8,55)}\right] = -0,036 \tag{12.8}$$

$$C_{pk} = \text{mín}\left[\frac{2 - 2,926}{3(4,146)}, \frac{2,926 - (-2)}{3(4,146)}\right] = -0,074 \tag{13.8}$$

$$C_{pm} = \frac{4}{6 \times \sqrt{8,55^2 + (2,926 - 0)^2}} = 0,074 \tag{14.8}$$

Los índices negativos corroboran que la etapa de Pruebas es incapaz y descentrada.

Validación Gráfica del Modelo Estadístico

Se presenta el Informe de Capacidad del Proceso para la etapa de Pruebas (ver **Figura 30**), y la verificación grafica realizada por MiniTab (Ver **Anexo E.4**).

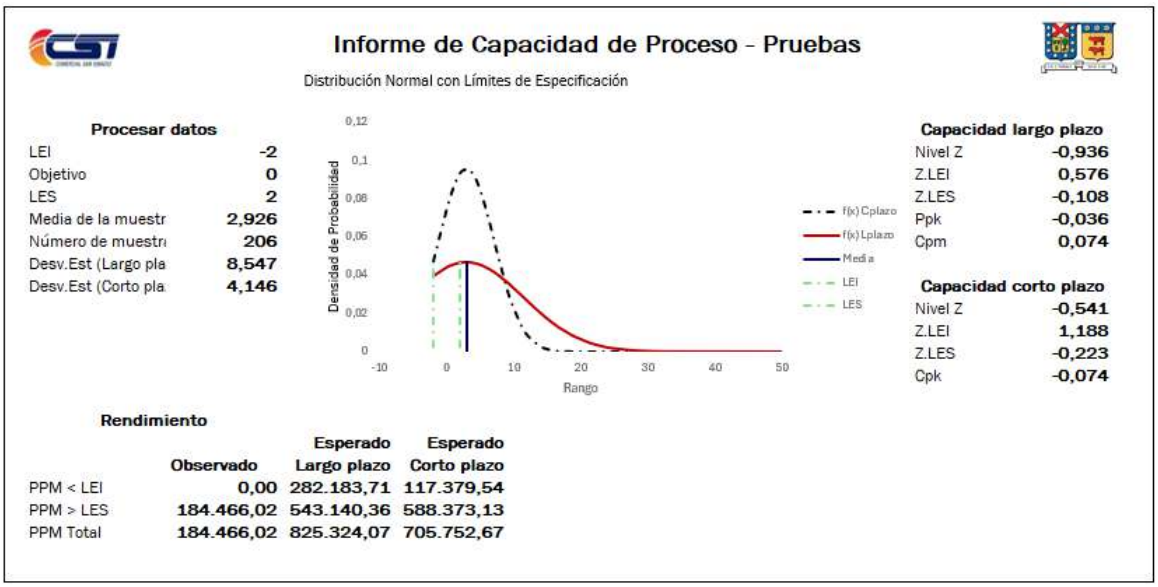

Figura 30: Informe de Capacidad de Proceso - Pruebas

Fuente: Elaboración Propia

La gráfica de capacidad para la etapa de Pruebas exhibe una discrepancia notable entre la curva de corto plazo y la de largo plazo. Esto indica una inestabilidad temporal significativa: el proceso presenta un mejor desempeño en condiciones inmediatas, mientras que factores externos o interrupciones degradan su comportamiento a lo largo del tiempo. Además, la media se ubica a la derecha del límite superior, confirmando visualmente que la etapa de certificación actúa como un cuello de botella final.

El análisis desagregado del Mando Final ha permitido identificar que la ineficiencia global del componente no es homogénea. Las etapas de Armado y Pruebas constituyen los puntos críticos del flujo, operando con medias descentradas y capacidades negativas que impactan en el desempeño del sistema completo.

A continuación, la Tabla **14** consolida los indicadores de capacidad y desempeño del proceso obtenidos mediante el análisis estadístico inferencial. El análisis estadístico y uso de formulas se realizó mediante Excel, en donde se realizaron los cálculos requeridos para la obtención de los resultados de cada variable.

Tabla 14: Resumen de Indicadores Estadísticos por Etapa

Fuente: Elaboración Propia

Etapa	**n**	μ **[Hrs]**	σ_{LT} **[Hrs]**	σ_{ST} **[Hrs]**	**Ppk**	**Cpk**	**Cpm**	Z_{LT}	Z_{ST}
Desarme	206	5,583	30,670	24,283	0,070	0,088	0,128	0,210	0,264
Armado	206	22,217	53,870	42,378	-0,063	-0,080	0,069	-0,189	-0,240
Pintura	206	0,426	4,960	3,836	0,106	0,137	0,134	0,318	0,411
Pruebas	206	2,926	8,550	4,146	-0,036	-0,074	0,074	-0,108	-0,222

Con el objetivo de ponderar la gravedad de cada etapa bajo la métrica estándar de la industria, en la **Tabla 15** se presenta una homologación comparativa de los niveles Z mediante la adición del factor de desplazamiento convencional (+1,5) tanto a Z_{LT} como a Z_{ST}, con el fin de visualizar el desempeño relativo de cada subproceso en una escala equivalente. Esta conversión se utiliza únicamente como referencia comparativa y no reemplaza el diagnóstico basado en el desempeño de largo plazo.

Tabla 15: Niveles Sigma Estandarizados por Etapa

Fuente: Elaboración Propia

Etapa del Proceso	**Nivel Sigma LT**	**Nivel Sigma ST**	**Desplazamiento (Z Shift)**
Desarme	1,710 sigma	1,764 sigma	0,054
Armado	1,311 sigma	1,260 sigma	-0,051
Pintura	1,818 sigma	1,911 sigma	0,093
Pruebas	1,392 sigma	1,278 sigma	-0,114

Nuevamente es fundamental destacar que los valores expuestos presentan una convergencia numérica exacta con los reportes gráficos generados por el software MiniTab en los anexos indicados en cada etapa del proceso, validando la robustez del procedimiento estadístico empleado.

El análisis desagregado revela que la ineficiencia del Mando Final no es homogénea, sino que está fuertemente concentrada. Debido a que la etapa de Armado presenta los peores indicadores de todo el flujo, su índice de desempeño real (P_{pk}) es significativamente inferior al resto, lo que explica el desplazamiento negativo de los límites de especificación. De hecho, su media de retraso es de ±22,27 [Hrs], lo que representa el 71 % del retraso total del componente (el cual es de ±31,21 [Hrs]).

La desviación estándar de largo plazo (σ_{LT}) del Armado es de 53,87 [Hrs], casi duplicando la variabilidad de la etapa de Desarme (30,67 [Hrs]). Esta dispersión indica que el Armado es la etapa más inestable e impredecible de la cadena de valor.

Aunque la etapa de Pintura también muestra indicadores P_{pk} bajos o negativos y un Nivel Sigma LT similar al correspondiente a Armado, su desviación estándar es significativamente menor ($\sigma_{LT} < 9$ [Hrs]) y sus medias de retraso son marginales (+2,92 [Hrs]), lo que explica que su impacto relativo sea menor al evaluar el desempeño global estandarizado mostrado en la Tabla 14.

Se determina que la etapa de Armado constituye el cuello de botella técnico y es la fuente principal de la variabilidad del Mando Final. Por lo tanto, el subproceso de Armado del Mando Final requiere una intervención prioritaria. Luego, se evaluarán nuevamente los tiempos de reparación de mandos finales ingresados posterior a la implementación de las mejoras, análisis que será comparado con la línea base del proyecto establecida como el análisis histórico de dicho componente.

6.3.3. Analizar

La fase Analizar del ciclo DMAIC tiene como propósito explicar las brechas identificadas en la fase Medir entre el desempeño real del proceso de reparación de mandos finales, dando mayor enfoque al armado del componente, y los tiempos de referencia definidos por el fabricante (SJ). Para ello, se busca comprender las causas que originan dichas desviaciones, superando una descripción meramente superficial de los problemas y estableciendo relaciones causales claras y técnicamente fundamentadas. Este enfoque permite sustentar, con base objetiva, la posterior definición de acciones de mejora orientadas a resultados efectivos y sostenibles en el tiempo.

6.3.3.1. Diagrama de Ishikawa

Para esta fase se realizaron reuniones en conjunto con el equipo de trabajo designado en el Project Charter, véase **Figura 26**, en tiempos planificados dentro del horario de trabajo. El objetivo fue generar una lluvia de ideas de posibles causas que expliquen los elevados tiempos de reparación reales, poniendo énfasis en el armado de los mandos finales. En estas instancias, los Técnicos Mecánicos y el Supervisor de Operaciones tuvieron una participación fundamental, aportando su experiencia en la reparación de estos componentes, lo que permitió identificar las siguientes causas.

Causas

- **Exceso de especialización de los trabajadores:** La asignación recurrente de tareas especificas a personal altamente especializado en un proceso exclusivo genera dependencia de recursos humanos puntuales, reduciendo la flexibilidad operativa. Esta condición provoca retrasos cuando dichos especialistas no se encuentran disponibles.
- **Inexistencia de alertas tempranas por desvío de tiempos de reparación:** La ausencia de mecanismos de monitoreo y alertas oportunas impide detectar desviaciones en los tiempos de reparación durante la ejecución del proceso. Como consecuencia, los atrasos solo se evidencian en etapas finales, cuando el margen de corrección es limitado y su impacto en el plazo total ya se ha materializado.

- **Demora en tiempos de llegada de nuevos repuestos:** Los retrasos en la disponibilidad de repuestos generan interrupciones no planificadas del proceso de reparación, obligando a suspender actividades en curso y reprogramar etapas posteriores.
- **Piezas mal evaluadas y/o reparadas:** Una evaluación inicial incorrecta o una revisión post reparación mal ejecutada de componentes conduce a la detección tardía de fallas, generalmente en etapas avanzadas del proceso o durante pruebas funcionales. Esto obliga a realizar desarmes y reprocesos, aumentando significativamente el tiempo total de reparación.
- **Disponibilidad de grúa horquilla:** La limitada disponibilidad de grúas horquilla, compartidas con otros procesos dentro de la operación, genera tiempos de espera para la movilización de componentes pesados. Estas detenciones afectan la secuencia normal del proceso y contribuyen a la acumulación de atrasos operacionales.
- **Disponibilidad de puente grúa:** La dependencia de un número reducido de puentes grúa para maniobras críticas restringe la capacidad de ejecución simultánea de actividades. La indisponibilidad de estos recursos en momentos clave impacta directamente en la duración de las etapas de desarme y armado del mando final.
- **Disponibilidad de herramientas:** La falta de herramientas específicas o su uso compartido entre distintos procesos genera demoras asociadas a la búsqueda, traslado o espera de estos recursos. Esta condición introduce tiempos improductivos y afecta la eficiencia operativa del proceso de reparación.
- **Ausencia de puntos de control de calidad en hitos críticos de reparación:** La inexistencia de controles de calidad intermedios permite que errores o desviaciones se propaguen a lo largo del proceso sin ser detectados oportunamente. Como resultado, las no conformidades suelen identificarse en etapas finales, incrementando la severidad del impacto y los tiempos de reproceso.
- **Área de armado compartida con otros procesos:** El uso compartido del área de armado con otros procesos productivos genera interferencias y pérdida de continuidad en la ejecución de las tareas. Esta condición afecta la planificación del trabajo y contribuye a la variabilidad de los tiempos de reparación.
- **Traslados internos excesivos:** La necesidad de realizar múltiples traslados internos de componentes entre distintas áreas del taller incrementa los tiempos improductivos y expone el proceso a esperas adicionales por disponibilidad de equipos de izaje.

Efecto

El efecto principal dentro de la reparación de los mandos finales corresponde a un tiempo promedio de reparación sistemáticamente superior al SJ definido por el fabricante, alta variabilidad operativa en los tiempos y bajo desempeño estadístico del

proceso.

Las Causas–Efecto fueron graficadas en un Diagrama de Ishikawa, realizando una clasificación de estas dentro de las 6M (Mano de obra, Medición, Materiales, Máquinas, Método y Medio Ambiente), como se observa en la **Figura 31**.

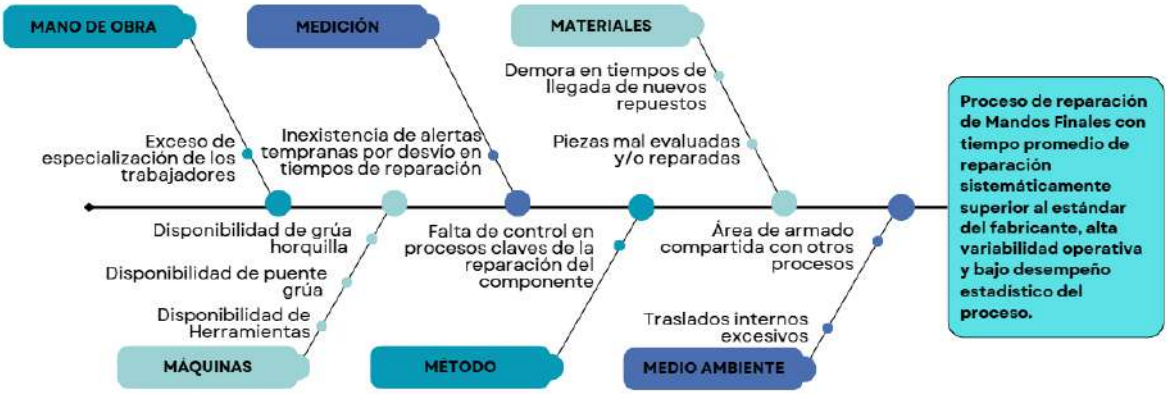

Figura 31: Diagrama de Ishikawa - Reparación Mandos Finales

Fuente: Elaboración Propia

A partir del Diagrama de Ishikawa desarrollado, fue posible identificar de manera estructurada el conjunto de causas potenciales que influyen en de los tiempos de reparación de mandos finales. No obstante, resulta necesario avanzar hacia una evaluación que permita jerarquizarlas en función de su nivel de criticidad. En este contexto, y con el propósito de priorizar objetivamente aquellas causas con mayor efecto sobre el tiempo total de reparación, se procede a la aplicación de un Análisis de Modo y Efectos de Falla en Procesos (PFMEA), herramienta que permite cuantificar el riesgo asociado a cada causa mediante criterios de severidad, ocurrencia y capacidad de detección.

6.3.3.2. PFMEA

En esta fase se hace necesario aplicar un Análisis de Modo y Efectos de Falla en Procesos (PFMEA), con el propósito de evaluar de manera sistemática las causas identificadas y cuantificar el impacto que estas generan sobre el proceso de reparación. Esta herramienta permite analizar los efectos asociados a cada modo de falla y determinar su nivel de criticidad, facilitando la identificación de aquellas causas que presentan mayor incidencia en los tiempos de reparación y que, por lo tanto, requieren un tratamiento prioritario. Para esta herramienta, se utilizó la siguiente distribución de trabajo:

- **Causas Potenciales Primarias:** Corresponden a las condiciones iniciales identificadas que pueden originar desviaciones en el desempeño del proceso. Estas causas se derivan del análisis previo mediante el Diagrama de Ishikawa.
- **Modo de Falla Potencial:** Describe la forma específica en que el proceso puede fallar como consecuencia de una causa potencial. El modo de falla se expresa en

términos operativos y refleja cómo se manifiesta la desviación durante la ejecución del proceso.

- **Efectos de Falla Potencial:** Representa las consecuencias que genera el modo de falla sobre el proceso de reparación, tales como reprocesos, detenciones, aumento de HH o incumplimiento de plazos. Estos efectos permiten evaluar el impacto de la falla desde una perspectiva operacional y de desempeño.
- **Severidad (S):** Indica el nivel de impacto que tendría el efecto de la falla sobre el proceso en caso de materializarse. Su valoración considera la magnitud de las consecuencias en términos de tiempo, costos, calidad y continuidad operacional.
- **Causas o Mecanismos de Falla:** Identifican el origen específico que provoca la ocurrencia del modo de falla, detallando el mecanismo mediante el cual la causa primaria se traduce en una desviación del proceso.
- **Controles Preventivos Actuales:** Corresponden a las acciones, procedimientos o prácticas existentes orientadas a evitar la ocurrencia del modo de falla. Estos controles buscan reducir la probabilidad de que la falla se materialice.
- **Ocurrencia (O):** Representa la probabilidad de que el modo de falla ocurra, considerando la frecuencia histórica y la efectividad de los controles preventivos existentes.
- **Controles de Detección Actuales:** Incluyen los mecanismos utilizados para identificar la falla una vez que esta se ha producido o durante su desarrollo, tales como inspecciones, pruebas o verificaciones operativas.
- **Detección (D):** Evalúa la capacidad de los controles de detección para identificar oportunamente el modo de falla antes de que genere un impacto significativo en el proceso.
- **Número de Prioridad de Riesgo (NPR):** Es el indicador resultante del producto entre Severidad (S), Ocurrencia (O) y Detección (D), y permite jerarquizar los modos de falla en función de su criticidad, facilitando la priorización de aquellas causas que requieren un análisis y tratamiento preferente.

El desarrollo completo del Análisis de Modo y Efectos de Falla en Procesos (PFMEA) se presenta detalladamente en el **Anexo F.1**, donde se incluyen la evaluación individual de cada causa, los modos de falla asociados y la asignación de los valores de severidad, ocurrencia y detección. En la presente sección se expone la **Tabla 16** que consolida los NPR obtenidos para cada causa analizada, con el objetivo de facilitar su comparación y apoyar la identificación de aquellas causas con mayor nivel de criticidad.

Tabla 16: Resumen de Criticidad por Causa Potencial - PFMEA

Fuente: Elaboración Propia

Causas Potenciales Primarias	S	O	D	NPR
Demora en tiempos de llegada de nuevos repuestos	9	8	7	504
Piezas mal evaluadas y/o reparadas	10	6	8	480
Ausencia de Puntos de Control de Calidad en hitos críticos del armado	8	7	8	448
Inexistencia de alertas tempranas por desvío en tiempos de reparación	7	10	6	420
Disponibilidad de herramientas	5	5	8	200
Traslados internos excesivos	4	8	5	160
Disponibilidad de puente grúa	5	7	4	140
Disponibilidad de grúa horquilla	7	5	4	140
Exceso de especialización de los trabajadores	6	3	4	72
Área de armado compartida con otros procesos	4	4	3	48

Las causas con mayor NPR se caracterizan por afectar directamente la continuidad del proceso de reparación y por generar reprocesos en etapas avanzadas, lo que incrementa de forma significativa el tiempo total de intervención. En contraste, aquellas causas que presentan valores intermedios de NPR corresponden mayoritariamente a restricciones operativas relacionadas con la disponibilidad de recursos y la eficiencia del flujo interno, las cuales, si bien generan ineficiencias, presentan un impacto relativamente menor sobre el cumplimiento global de los tiempos de reparación.

Este análisis permite concluir que los principales riesgos del proceso se encuentran asociados a deficiencias en los mecanismos de control y planificación, más que a eventos aislados de ejecución. En consecuencia, el PFMEA constituye una base objetiva para la selección de las causas críticas que requieren un análisis más profundo, justificando la aplicación posterior de la metodología de los 5 Porqués sobre aquellas causas que presentan los valores más altos de NPR.

6.3.3.3 Los 5 porqués

La metodología de los 5 Porqués se utiliza en esta etapa con el propósito de profundizar en el análisis de las causas críticas identificadas a partir del PFMEA. A diferencia de las herramientas aplicadas previamente, este enfoque permite indagar de manera iterativa en las relaciones causa-efecto, cuestionando de forma reiterativa cada desviación

hasta identificar las causas raíz reales, generalmente asociadas a fallas de diseño, gestión o estandarización del proceso.

En el presente estudio, el análisis de los 5 Porqués se aplicó exclusivamente a las cuatro causas que presentaron los valores más altos de NPR, dado que estas concentran el mayor impacto sobre los tiempos de reparación de mandos finales. Este enfoque selectivo permite focalizar el análisis en aquellos factores que condicionan de manera significativa el desempeño del proceso, estableciendo una base sólida para la definición de acciones de mejora efectivas y sostenibles en la fase posterior.

Tabla 17: Análisis 5 Porqués para Modos de Falla Críticos

Fuente: Elaboración Propia

Modo de Falla (NPR)	**1. ¿Por qué?**	**2. ¿Por qué?**	**3. ¿Por qué?**	**4. ¿Por qué?**	**5. ¿Por qué?**
Demora en tiempos de llegada de nuevos repuestos (504)	No hay stock disponible al momento de necesitarlos durante el armado.	El proceso de compra se inicia de forma reactiva tras la evaluación post-desarme.	Se trabaja sin un inventario de seguridad para piezas de rotación considerable, pero no consideradas de reemplazo obligatorio.	No se han definido parámetros de reaprovisionamiento basados en demanda histórica.	**Ausencia de una estrategia de stock crítico.**
Piezas mal evaluadas y/o reparadas(480)	El componente pasa las inspecciones a pesar de poseer fallas internas.	Los criterios de aceptación actuales no detectan las desviaciones geométricas menores.	Se realiza una sola verificación a las medidas de piezas que poseen tolerancias muy acotadas.	No existen pautas técnicas estandarizadas que definan la criticidad de la pieza.	**Falta de protocolos de inspección objetivos.**
Ausencia de Puntos de Control de Calidad en hitos críticos del armado (448)	Las fallas de armado se detectan solo en la etapa final de pruebas funcionales.	No se realizan verificaciones técnicas intermedias durante las etapas de ensamblaje.	El flujo de trabajo no contempla detenciones obligatorias para control de calidad.	Se prioriza la rapidez de entrega sobre la robustez de la gestión de calidad.	**Inexistencia de un esquema de control de calidad que defina criticidad de los hitos de reparación.**
Inexistencia de alertas tempranas por desvío en tiempos de reparación (420)	Los retrasos en la reparación se detectan solo cerca de la fecha de entrega.	No existe una comparación diaria entre las HH reales y el tiempo estándar (SJ).	Los datos de avance se registran para fines contables y no para gestión productiva.	Falta de una cultura de control visual y monitoreo en tiempo real del taller.	**Deficiencia en sistemas de monitoreo y falta de gestión visual.**

El análisis mediante la metodología de los 5 Porqués permitió identificar que los modos de falla con mayor criticidad están asociados principalmente a brechas en la gestión del proceso y no a errores aislados de ejecución. En particular, se evidenció la ausencia de una estrategia formal de stock crítico, la falta de protocolos objetivos de inspección, la inexistencia de puntos de control de calidad en etapas intermedias del

armado y deficiencias en los sistemas de monitoreo del avance productivo. Estas causas raíz explican de manera directa los altos valores de NPR obtenidos en el PFMEA, al incrementar simultáneamente la probabilidad de ocurrencia y la dificultad de detección de las fallas, confirmando su carácter prioritario para la definición de acciones de mejora.

La aplicación integrada del Diagrama de Ishikawa, el PFMEA y la metodología de los 5 Porqués permitió identificar y jerarquizar las causas raíz que inciden de manera más significativa en los tiempos de reparación de mandos finales, estableciendo una base analítica sólida y técnicamente justificada. Sobre la base de estos resultados, la fase Mejorar se orienta a definir acciones que intervengan directamente sobre dichas causas, asegurando coherencia entre el diagnóstico realizado y las soluciones propuestas. En este contexto, se adopta la metodología 5W+2H como herramienta de despliegue, dado que permite estructurar cada acción de mejora a partir de las causas críticas identificadas, definiendo con claridad su alcance, responsables, plazos, forma de implementación y recursos necesarios, facilitando así una ejecución controlada y alineada con los hallazgos de la fase de análisis.

6.3.4. Mejorar

La fase Mejorar tiene como objetivo diseñar, evaluar e implementar acciones que permitan eliminar o mitigar las causas raíz identificadas en la etapa de análisis, asegurando una mejora efectiva y sostenible del proceso de reparación. En esta fase, los esfuerzos se orientan a traducir los resultados del análisis en medidas concretas de carácter técnico, organizacional y operativo, alineadas con los estándares del fabricante y con las capacidades reales del taller. Asimismo, se busca que las soluciones propuestas contribuyan no solo a la reducción de los tiempos de reparación, sino también al fortalecimiento del control del proceso, la estandarización de prácticas y la prevención de la recurrencia de las fallas detectadas.

Con el fin de asegurar la efectividad de las acciones propuestas y lograr resultados medibles en el corto plazo, la fase Mejorar se orienta a los mandos finales asociados a los equipos con mayor recurrencia de reparación en el taller, identificados a partir de un análisis de frecuencia histórica de ingresos por tipo de equipo. Esta priorización permite focalizar las mejoras en aquellos componentes que concentran la mayor demanda operativa, incrementando la probabilidad de impacto positivo sobre los indicadores de desempeño del proceso, en particular los tiempos de reparación y la utilización de recursos críticos.

6.3.4.1 Priorización de Equipos

Para garantizar el impacto sistémico de la mejora, se utilizó un análisis de Pareto que clasifica los equipos según su recurrencia de entrada al taller. La **Tabla 19** expone la comparativa entre los datos históricos y el escenario actual, proporcionando la base estadística necesaria para seleccionar los modelos de Mandos Finales cuya optimización tendrá el mayor efecto sobre la disponibilidad global y el cumplimiento de plazos.

Tabla 19: Registro de Ingresos de Mandos Finales por Equipos y Periodo - Pareto

Fuente: Elaboración Propia

Periodo Histórico (Ene.2019 - Sep.2025)				**Periodo Reciente (Ene.2024 - Sep.2025)**			
Equipo	**Cant.**	**%**	**%Acumulado**	**Equipo**	**Cant.**	**%**	**%Acumulado**
994F	73	35,4 %	35,4 %	793F	27	35,1 %	35,1 %
793F	51	24,8 %	60,2 %	789C	15	19,5 %	54,5 %
789C	24	11,7 %	71,8 %	994K	8	10,4 %	64,9 %
D10T/R	9	4,4 %	76,2 %	994F	7	9,1 %	74,0 %
980H	8	3,9 %	80,1 %	980H	6	7,8 %	81,8 %
994K	8	3,9 %	84,0 %	785C	4	5,2 %	87,0 %
785C	7	3,4 %	87,4 %	D11N	4	5,2 %	92,2 %
777F	6	2,9 %	90,3 %	773E	3	3,9 %	96,1 %
777G	4	1,9 %	92,2 %	777F	1	1,3 %	97,4 %
D11N	4	1,9 %	94,2 %	777G	1	1,3 %	98,7 %
773E	3	1,5 %	95,6 %	773F	1	1,3 %	100,0 %
773F	3	1,5 %	97,1 %				
777D	2	1,0 %	98,1 %				
D9R	2	1,0 %	99,0 %				
992G	1	0,5 %	99,5 %				
D6R	1	0,5 %	100,0 %				

Para asegurar la representatividad y sostenibilidad de las mejoras, se ha determinado que el alcance de este proyecto abarque la totalidad de los modelos identificados en el período histórico (Ene.2019–Sep.2025). Esta decisión estratégica responde a que dicho grupo constituye el 84 % de la demanda acumulada del taller, representando la carga de trabajo estructural y real de la unidad de negocios.

Si bien el análisis del período reciente (Ene.2024–Sep.2025) muestra una variación en la posición de liderazgo, donde el camión 793F ha desplazado al cargador 994F, restringir la mejora únicamente a la tendencia actual resultaría en una solución miope y de corto plazo. Al estandarizar los procesos de reparación para el bloque histórico completo (Cargadores 994F/K y 980H; Camiones 793F y 789C; y Bulldozers D10T), se garantiza que las mejoras a implementar sean capaces de absorber las fluctuaciones cíclicas de la flota sin comprometer la capacidad del proceso.

6.3.4.2. Matriz de Riesgo de Calidad

En respuesta a la falta de protocolos de inspección y a la inexistencia de un esquema de control de calidad de los hitos en el proceso de reparación, se estructura la siguiente propuesta de mejora técnica. Esta intervención consiste en el diseño e implementación de una Matriz de Riesgo de Calidad (MRC) basada en la metodología FMEA (Análisis de Modo y Efecto de Falla). El propósito fundamental de esta herramienta es transitar desde un modelo de reparación dependiente de la experiencia táctica del técnico hacia un estándar de ingeniería auditable. La matriz tiene como objetivo predecir y controlar

los puntos de falla en cada fase crítica, desde la recepción hasta el despacho, estableciendo barreras de control específicas diseñadas para interceptar desviaciones antes de que se materialicen en errores costosos o reprocesos que afecten el tiempo de ciclo.

La herramienta se organiza siguiendo la secuencia lógica del flujo de reparación, integrando en cada celda las normativas internacionales y las especificaciones del fabricante (Caterpillar) como criterio de aceptación obligatorio. A continuación, se detalla la estructura analítica propuesta para esta matriz, explicando la función técnica de sus variables y cómo estas se articulan para asegurar la confiabilidad del activo una vez reparado.

Identificación del Componente

La sección inicial de la MRC aborda la identificación unívoca del componente y del equipo matriz. Esta etapa resulta crítica debido a la coexistencia de modelos externamente similares dentro de una misma familia, como es el caso de los Cargadores Frontales Caterpillar 994F y 994K. Si bien ambos equipos comparten la misma arquitectura base, la serie K representa una evolución técnica, con capacidades de potencia y torque superiores a su predecesor (serie F). Esta diferencia operativa implica que los elementos internos del tren de potencia han sido rediseñados y reforzados metalúrgicamente para operar bajo mayores exigencias de servicio, lo que anula la intercambiabilidad directa de piezas y convierte a la correcta identificación en el primer control de seguridad del proceso.

Matriz de Riesgos de Calidad

Datos del componente		Control del documento	
Familia del Componente:	MANDO FINAL 994F	Revisión N°:	1
Vida útil esperada del componente:	18.000 HORAS	Fecha emisión:	dd-mm-aaaa

Figura 32: Matriz de Riesgo de Calidad - Identificación

Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente a la identificación técnica, resulta imperativo establecer la vida útil esperada del componente como parámetro base de referencia. Este dato permite realizar un contraste cuantitativo entre la duración teórica de diseño y el desempeño real obtenido en operación. Al correlacionar el estado físico de las piezas internas con las horas de servicio acumuladas, es posible determinar si los patrones de desgaste observados son consistentes con el uso esperado o si evidencian una degradación prematura. Este análisis se constituye en una variable crítica para retroalimentar las estrategias de mantenimiento, permitiendo corregir desviaciones y aumentar la confiabilidad no solo del componente reparado, sino también de la disponibilidad global del equipo.

Finalmente, la matriz incorpora un apartado de Control Documental, diseñado para asegurar la trazabilidad y vigencia del estándar. Este bloque registra cronológicamente el historial de revisiones y la naturaleza de las actualizaciones técnicas implementadas, garantizando que la ejecución del proceso se rija siempre por la última versión validada del documento.

Descripción de Etapa y Actividad

Esta sección tiene como función la estructuración y segmentación del proceso macro en fases operativas secuenciales (Recepción, Lavado, Desarme y Evaluación, Armado, Control de Calidad, Pruebas, Pintura y Despacho), procediendo, a su vez, a la subdivisión de cada fase en actividades discretas de trabajo. El objetivo de este desglose es alcanzar un nivel de granularidad tal que permita visualizar la totalidad del flujo técnico que atraviesa el componente. A modo de referencia, la **Figura 33** ilustra este nivel de detalle siguiendo el ejemplo de MRC destinada para el Mando Final perteneciente al CAT 994F.

N° Etapa del Proceso de Reparación del Componente	Descripción de la Etapa	N° Actividad	Descripción Actividad
3	DESARME Y EVALUACION	3.1	Desarme progresivo del conjunto de mando final según procedimiento técnico, separando engranajes, ejes y rodamientos de forma controlada para evitar daños y contaminación

Figura 33: Matriz de Riesgo de Calidad - Detalle de Etapa y Actividad

Fuente: Elaboración Propia

La figura ejemplifica la **Etapa 3 - Desarme y Evaluación**, detallando la primera actividad crítica de la secuencia. La importancia de especificar la tarea con esta precisión radica en que permite identificar a los responsables, así como delimitar y controlar los riesgos asociados a esta actividad específica (y no a la etapa general), facilitando así el diseño de controles de ingeniería focalizados y específicos para mitigar cada modo de falla potencial.

Documentación Interna y Externa

Este punto de la matriz vincula la actividad operativa con su marco normativo, integrando los estándares internos de la organización y la literatura técnica provista por el fabricante (OEM). El objetivo es asegurar que cada tarea se ejecute bajo un procedimiento validado, eliminando la improvisación. La documentación aplicable varía

según la fase del proceso, tal como se detalla a continuación y se ilustra en la **Figura 34**.

1. **Recepción**
   - **Documentación Interna:** Instructivo de Ingreso de Mercadería (ICSI-BOD-006), Instructivo de Creación de Orden de Trabajo (ICSI-ADMP-004), Recepción de Componentes (RCSI-CR-001), Reporte de No Conformidad (RCSI-SGI-010).
   - **Documentación Externa:** Guía de Cumplimiento de Control de Contaminantes (PSBJ0002-05).
2. **Lavado**
   - **Documentación Interna:** Procedimiento de Sala de Lavado (PCSI-LAV-001), Recepción de Componentes (RCSI-CR-001), Inspección de Lavado de Componentes (RCSI-CR-006), Cartilla de Inspección Operativa de Hidrolavadora.
   - **Documentación Externa:** Guía de Cumplimiento de Control de Contaminantes (PSBJ0002-05).
3. **Desarme y Evaluación**
   - **Documentación Interna:** Procedimiento de reparación de componentes (PCSI-CR-001), Inspección de Desarme de Componentes (RCSI-UT-003), Informe de desarme y evaluación de componente (RCSI-CR-016), Programa de calibración o verificación de EIME (RCSI-CC-003), Solicitud de Reparación (RCSI-ADMP-004), Informe de análisis No Destructivo (RCSI-CC-006), Instructivo Control de EIME (ICSI-CC-002), Instructivo NDT Líquidos penetrantes (ICSI-CC-003), Instructivo NDT Partículas magnéticas (ICSI-CC-004), Instructivo NDT Método de ultrasonido (ICSI-CC-005), Instructivo NDT Partículas fluorescentes (ICSI-CC-006), Instructivo Control metrológico (ICSI-CC-007).
   - **Documentación Externa:** Aquí se adjuntan los procedimientos de desarme propios de cada componente, como también las guías de reutilización de partes y piezas, y los procedimientos de protección para el correcto almacenamiento de las piezas.
4. **Armado**
   - **Documentación Interna:** Procedimiento de reparación de componentes (PCSI-CR-001), Informe de desarme y evaluación de componente (RCSI-CR-016), Ficha Técnica, Inspección de Desarme de Componentes (RCSI-UT-003), Programa de calibración o verificación de EIME (RCSI-CC-003).
   - **Documentación Externa:** Aquí se adjuntan los procedimientos de armado propios de cada componente.
5. **Control de Calidad**

- **Documentación Interna:** Procedimiento de Reparación de Componentes (PCSI-CR-001), Procedimiento de Trabajo del Área de Banco de Prueba (PCSI-BP-001), Informe de Prueba Dinamométrica (RCSI-BP-01), Programa de Mantención de Equipos Críticos (RCSI-SGI-023), Programa de Inspección de Equipos Críticos (RCSI-SGI-024), Pauta de Mantención Banco de Prueba AIDCO 900-K (RCSI-BP-004).
- **Documentación Externa:** Se deben adjuntar los procedimientos relacionados con pruebas y ajustes realizados en banco de prueba dinamométrico, con los parámetros específicos de funcionamiento de cada componente (las pruebas dinamométricas se realizan a Convertidores y Transmisiones; sin embargo, se realizan pruebas de hermeticidad en Mandos Finales).

6. **Pintura y Embalaje**

- **Documentación interna** Procedimiento de Trabajo de Sala de Pintura (PCSI-PINT-001), Cartilla de Control de Proceso de Pintura, Cartilla de Control de Proceso de Embalaje.

7. **Despacho y Traslado**

- **Documentación Interna:** Envío de Componentes (RCSI-CR-120), Instructivo de Trabajo de Emisión de Guía de Despacho (ICSI-BOD-009), Procedimiento de Trabajo de Gestión de Transportes (PCSI-TPT-001), Reporte de No Conformidad (RCSI-SGI-010).

Documentos de Referencia de la Actividad: Nombre y Codificación (Planos, Procedimientos, Instructivos, entre otros)
DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.
* Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003**
DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE
* **SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS)** * Mando final, freno y rueda - Desarmar **(RENR6308) - 04-04-2007** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**

Figura 34: Matriz de Riesgo de Calidad - Documentación

Fuente: Elaboración Propia

La figura ilustra el despliegue documental para la etapa crítica de Desarme y Evaluación del Mando Final 994F. Es relevante destacar que, si bien la documentación interna mantiene una estructura estandarizada transversal a todos los procesos, la documentación externa es dinámica y específica: los procedimientos de intervención varían

estrictamente según el número de parte y la familia del equipo, debido a las distintas tolerancias, ajustes de precarga y configuraciones geométricas que definen la ingeniería de cada modelo particular.

Riesgos y Controles de Calidad

Esta sección constituye el núcleo preventivo de la matriz, donde se vinculan los modos de falla potenciales con barreras de ingeniería específicas. Para la actividad de desarme del Mando Final, la matriz identifica y gestiona dimensiones críticas de riesgo que podrían comprometer la recuperabilidad del activo.

1. **Condiciones Técnicas de Ensamble:** Corresponde al control de las condiciones bajo las cuales se ejecuta el armado del componente, asegurando que el entorno, la limpieza y las variables operativas permitan un ensamble conforme a los estándares definidos. Su objetivo es prevenir defectos asociados a contaminación, interferencias externas o condiciones inadecuadas que afecten la integridad del conjunto.

2. **Herramientas, Equipos y Medios de Verificación:** Este proceso asegura la disponibilidad, calibración y uso correcto de las herramientas y equipos necesarios para el armado. Incluye los medios de medición y verificación requeridos para ejecutar ajustes críticos y controles dimensionales, evitando errores derivados de instrumentos inadecuados o fuera de especificación.

3. **Componentes, Materiales y Control de Configuración:** Se orienta a garantizar que los componentes utilizados en el armado correspondan exactamente al equipo y configuración definidos. Controla la correcta identificación, trazabilidad y condición de reutilización de piezas, evitando mezclas, errores de compatibilidad o reinstalación de componentes no conformes.

4. **Método de Armado, Secuencia y Estandarización Operativa:** Este proceso define y controla la forma en que se ejecuta el armado, asegurando el cumplimiento del método técnico y la secuencia establecida por el fabricante. Su propósito es reducir la variabilidad del proceso, eliminando interpretaciones individuales y asegurando la repetibilidad del resultado.

5. **Verificación, Liberación y Aseguramiento Final de Calidad:** Corresponde al conjunto de actividades destinadas a confirmar que el armado cumple con todos los requisitos técnicos antes de su liberación. Incluye inspecciones, verificaciones independientes y validaciones funcionales, asegurando que el componente reparado esté en condiciones de operación segura y confiable.

Riesgos de Calidad Asociado a la Actividad	Controles Actuales Asociado a los Riesgos
a) Fisuración o deformación en carcasa portante por aplicación incorrecta de torque en pernos de tapa.	Afloje cruzado de pernos con torquímetro calibrado.
b) Contaminación de superficies internas (engranajes, rodamientos cónicos) por ingreso de partículas metálicas, polvo o residuos de	Drenaje de aceite en bandeja filtrante con retención magnética de partículas.
c) Daños en flancos de dientes de engranajes planetarios y corona por uso de herramientas inadecuadas en la extracción.	Uso de extractores y gatos hidráulicos homologados por Caterpillar.
d) Deformación en alojamientos de rodamientos por aplicación excesiva de presión o calor.	Control de presión aplicada en extractores (<5 ton).
e) Pérdida de precarga y daño en rodillos de rodamientos cónicos al ser retirados sin extractor homologado.	Manipulación con grúa puente y eslingas certificadas para ejes y corona.
f) Marcas, golpes o melladuras en superficies de contacto por manipulación manual sin protección.	Almacenaje temporal en bandejas metálicas con separadores.
g) Desalineación en el retiro de ejes y engranajes, provocando rayado en pistas y alojamientos.	Marcaje de piezas (IZQ/DER, secuencia) con punzón o pintura de impacto.
h) Confusión en la secuencia de desmontaje de componentes (engranajes, espaciadores, arandelas de ajuste).	Registro fotográfico del proceso paso a paso.
i) Falta de registro documental del proceso de desarme.	Checklist de desarme firmado por mecánico responsable.

Figura 35: Matriz de Riesgo de Calidad - Riesgos y Controles de Calidad

Fuente: Elaboración Propia

La **Figura 35** ilustra cómo estos conceptos teóricos se traducen en instrucciones operativas dentro de la matriz, vinculando cada modo de falla con su control preventivo específico.

Criterios de Aceptación y Conformidad

Se establece un sistema de cuantificación del riesgo mediante tres variables para priorizar la intervención, las cuales se califican con notas de 1 a 3 en cada punto. El valor total obtenido permite determinar la criticidad del riesgo de calidad. Adicionalmente, se evalúa el cumplimiento de los controles definidos mediante un análisis de conformidad.

- **S (Severidad):** Impacto estimado del riesgo de calidad identificado sobre la actividad correspondiente.
- **O (Ocurrencia):** Probabilidad proyectada de que la falla ocurra en ausencia de controles efectivos.
- **D (Detección):** Capacidad del sistema para identificar el error antes de la liberación del componente.
- **RPN (Número de Prioridad de Riesgo):** Resultado del producto de estos factores, utilizado para identificar los Puntos Calientes (Hot Points) que requieren controles reforzados y para jerarquizar la criticidad de los riesgos de calidad detectados.

Criterios de Aceptación (FMEA)					Analisis de Conformidad	
S	O	D	RPN	Riesgo del Proceso	Cumple	No Cumple
3	1	1	3	Bajo	x	
2	2	1	4	Moderado	x	
3	1	2	6	Moderado	x	
3	1	1	3	Bajo	x	
3	1	1	3	Bajo	x	
2	2	1	4	Moderado	x	
3	2	2	12	Critico	x	
2	2	1	4	Moderado	x	
1	2	1	2	Bajo	x	

Figura 36: Matriz de Riesgo de Calidad - Criterios de Aceptación y Conformidad

Fuente: Elaboración Propia

La jerarquización de los hitos de control dentro de la Matriz de Riesgo de Calidad (MRC) se determina mediante el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR). En función del valor resultante, la criticidad se estratifica en tres niveles de acción: Riesgo Bajo ($NPR \leq 3$), asignado a desviaciones menores, administrativas o cosméticas que no comprometen la funcionalidad y son corregibles de inmediato; Riesgo Moderado ($3 < NPR \leq 6$), correspondiente a anomalías que, si bien no generan un fallo catastrófico, requieren reprocesos que afectan la eficiencia del flujo; y Riesgo Crítico ($6 < NPR$), categoría reservada para aquellas fallas que impactan directamente la seguridad, el medio ambiente o la operatividad del componente, constituyendo puntos de parada obligatoria (Hot Points) que exigen la implementación de controles de ingeniería redundantes para asegurar la calidad final

De esta forma, el análisis de conformidad deja de ser una verificación genérica para convertirse en una auditoría dirigida a los puntos vulnerables del proceso. Esta metodología asegura que los recursos de inspección se concentren en las variables que tienen mayor impacto en la confiabilidad final del componente, garantizando que la prevención de fallas se ejecute con un enfoque técnico y económicamente eficiente.

Registros de Control

Esta columna define la trazabilidad obligatoria del proceso. En ella se establece la obligatoriedad de generar evidencia física o digital, tales como registros fotográficos, checklists firmados por el técnico responsable o informes de metrología, que certifiquen fehacientemente que cada parámetro técnico fue cumplido según la norma antes de liberar la etapa.

Registros del Control	Nuevos Controles a Implementar Asociados a los Riesgos
* Criterio de evaluación **(GRPTS)** * Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Programa de calibración o verificación de **EIME RCSI-CC-003** * **SIS WEB -** Guías de reutilización de partes y piezas **(GRPTS)** * Mando final, freno y rueda - Desarmar **(RENR6308) - 04-04-2007** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**	

Figura 37: Matriz de Riesgo de Calidad - Registros de Control y Actualización

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la **Figura 37**, esta sección consolida todos los documentos habilitantes que la etapa y la actividad requieren para una ejecución conforme a estándar. Adicionalmente, la matriz incorpora un apartado estratégico denominado Nuevos Controles a Implementar. El propósito de esta columna es dotar a la herramienta de un carácter dinámico y perfectible, permitiendo registrar e integrar nuevas barreras de seguridad o calidad en el momento exacto en que se identifiquen riesgos emergentes, asegurando que la matriz se mantenga actualizada frente a la evolución operativa del taller.

Responsable de Liberación

Esta sección busca definir explícitamente quién es la persona encargada de asegurar la calidad del trabajo antes de avanzar a la siguiente etapa. La firma en este documento deja de ser un trámite administrativo para convertirse en el mecanismo que establece una cadena de responsabilidad, impidiendo que un error avance en la línea de producción.

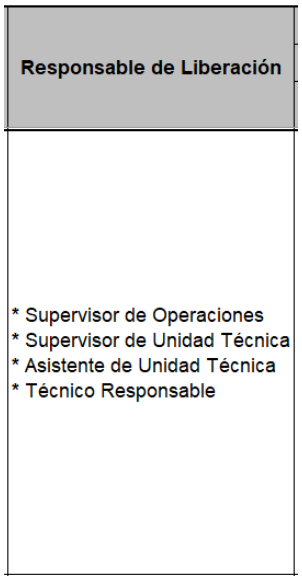

Figura 38: Matriz de Riesgo de Calidad - Responsable de Liberación

Fuente: Elaboración Propia

La Figura **38** presenta la definición de los responsables de liberación para la etapa de Desarme del componente. Este esquema asegura que ninguna actividad crítica sea aprobada exclusivamente por quien la ejecuta, incorporando una validación jerárquica obligatoria. Al exigir la revisión por uno o más supervisores, se establece una barrera formal de control que reduce significativamente el riesgo de errores por omisión, descuido u exceso de confianza operativa.

Control de Calidad - Inspección - Observaciones

La sección final de la matriz contextualiza la ejecución del control dentro del flujo productivo. En primera instancia, clasifica la intervención según su temporalidad (Inicio, Intermedio o Final), permitiendo visualizar en qué momento exacto del cronograma se detiene la operación para evaluar la calidad. Simultáneamente, identifica la naturaleza del auditor, distinguiendo si la validación recae en un especialista interno de la organización o si requiere la presencia de un agente externo (terceros o representantes de fábrica) para certificar el resultado.

Finalmente, la casilla de Observaciones actúa como una bitácora abierta. Este espacio permite registrar desviaciones menores, condiciones inusuales o recomendaciones técnicas que, aunque no impidan la liberación inmediata, aportan información valiosa para perfeccionar futuras reparaciones o ajustar la intervención en curso.

Etapa y ejecutor de Control de Calidad / Inspección						Observaciones
Etapa QI/QC				Ejecutor QC		
Inicio	Intermedio	Final	Hot Points	Interno	Externo	
	x			x		

Figura 39: Matriz de Riesgo de Calidad - Identificación

Fuente: Elaboración Propia

La Figura **39** muestra que, dentro de la matriz, la columna Hot Points opera como un sistema de alerta visual de alta prioridad. Estos puntos corresponden a actividades cuyo Número de Prioridad de Riesgo (NPR) las clasifica como críticas, evidenciando una alta probabilidad de falla si no se aplican medidas de control reforzadas.

La identificación de un Hot Point obliga a desacelerar el flujo operativo estándar y activar un protocolo de verificación exhaustivo. Su registro formal en la matriz indica que dicha actividad es determinante para la confiabilidad del componente, impidiendo cualquier avance sin validación cruzada y respaldo documental de los controles aplicados. De este modo, la supervisión se concentra exactamente donde el riesgo es mayor.

La implementación de la Matriz de Riesgo de Calidad (MRC) constituye la respuesta técnica para neutralizar los Números de Prioridad de Riesgo más elevados identificados en el diagnóstico. El análisis PFMEA evidenció vulnerabilidades críticas asociadas principalmente a piezas mal evaluadas (NPR 480) y a la ausencia de puntos de control formalizados (NPR 448), las cuales son abordadas mediante una estructura de supervisión activa que asegura la integridad técnica del componente en cada etapa del proceso.

En consecuencia, la Matriz de Riesgo de Calidad consolida el control del proceso de reparación al neutralizar sus dos brechas estructurales más relevantes: la evaluación deficiente de componentes y la ausencia de puntos de control en hitos críticos del armado. Al convertir el conocimiento técnico existente en un flujo obligatorio, verificable y trazable, el proceso deja de depender de criterios individuales y migra hacia un esquema gobernado por hitos objetivos de validación. En el **Anexo G** se detallan las MRC para cada equipo seleccionado en la jerarquización realizada anteriormente.

Una vez estabilizadas las variables de calidad, supervisión y liberación técnica, el foco se traslada inevitablemente a la continuidad operacional. En este contexto, la Estrategia de Reparación y el dimensionamiento del Stock Crítico se incorporan como el soporte material indispensable para sostener el desempeño alcanzado, evitando

interrupciones por falta de componentes y asegurando el cumplimiento sostenido de los objetivos de reducción de tiempos del proceso.

6.3.4.3. Estrategia de Reparación y Stock Crítico

Esta mejora se fundamenta en el análisis estadístico de los modos de falla recurrentes identificados en el historial de reparaciones del taller. En este contexto, el objetivo fundamental es desacoplar la variabilidad del suministro de repuestos del flujo de reparación, evitando que la disponibilidad de componentes críticos condicione la continuidad operativa del proceso.

Para ello, se ha determinado que el Stock Crítico estará constituido exclusivamente por aquellos componentes que, debido a su alta tasa histórica de rechazo o desgaste mandatorio, representan un riesgo inminente de detención del proceso si no se encuentran disponibles al momento de la evaluación técnica.

La matriz de decisión clasifica los componentes en dos categorías lógicas, definiendo para cada una una política de aprovisionamiento específica:

- **Componentes de Reemplazo Obligatorio:** Corresponden a elementos de sacrificio con una tasa de recambio del 100 % en cada intervención, independientemente de su condición visual (sellos Duo-Cone, kits de o-rings, retenes, rodamientos y discos de fricción). Dado que su vida útil coincide con el ciclo de mantenimiento, su demanda es determinista. En consecuencia, el stock crítico debe garantizar su disponibilidad en función del programa de producción.
- **Componentes Estructurales con Alta Tasa de Falla:** Esta categoría constituye el eje estratégico del análisis. A diferencia de las piezas de recambio obligatorio, componentes mayores como la Corona (Gear-Ring), los Engranajes Planetarios y el Carrier son teóricamente reutilizables. Sin embargo, el análisis histórico evidencia patrones de falla sistemáticos (pitting avanzado, fisuras en raíz de diente u otros daños estructurales) que obligan a su descarte con alta recurrencia.

En función de lo anterior, se define un Stock Crítico estructural para aquellas piezas cuya tasa histórica de rechazo resulta significativamente elevada, manteniendo una cantidad controlada en inventario que permita mitigar la incertidumbre asociada a la evaluación técnica. De este modo, si durante la inspección se detecta una falla estructural recurrente, el reemplazo puede ejecutarse de forma inmediata desde stock propio, eliminando el lead time de importación que, de otro modo, detendría el armado por períodos prolongados.

En la **Figura H.6** se expone una muestra de la propuesta de mejora, en este caso adaptada para un Mando Final perteneciente a un cargador frontal Caterpillar 994F, en la cual es posible observar su estructura y contenido.

Estrategia de Reparación y Stock Crítico

Datos del componente		Control del documento	
Componente:	Mando Final 994F	Revisión N°:	1
Vida útil esperada:	18.000 Horas	Fecha emisión / Actualización:	DD-MM-AAAA

Sistema	Subsistema	Detalle del subsistema	Actividad	Tipo de Reemplazo (Cuando es dado de baja)	Frecuencia de Reparaciones (N° de veces)	Condición para Baja	Criterio para Condición de Baja	Prueba a Realizar
Final Drive Arrangement	Todos	Repuestos (Genuine Cat)	Utilización solo de repuestos originales Caterpillar	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	N/A
Final Drive Arrangement	Todos	Sellos y retenes (kit completo)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	Ninguna
Final Drive Arrangement	Todos	Rodamientos (kit por conjunto)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	Ninguna
Final Drive Arrangement	Todos	Superficies de desgaste (golillas, bujes)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	Ninguna
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	CARRIER-PLANETARY PN: 8R-5960 / 137-3506	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras, ovalización de alojamientos, desgaste de asientos	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; END; verificación dimensional
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	GEAR-SUN PN: 115-4877 / 115-4879	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, desgaste excesivo, fisuras en chavetero	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	GEAR-PLANETARY PN: 115-4878 / 115-4880	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, desgaste en flancos, juego excesivo de buje	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	GEAR-RING (Corona) PN: 197-2731 / 197-2732	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras, desgaste de dientes, excentricidad	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE HOUSING	SPINDLE PN: 137-8627	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras, deformaciones, desgaste en asientos de rodamientos	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; END; verificación dimensional
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE HOUSING	HUB-REACTION PN: 137-8628	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras, deformación estructural, desgaste en superficies críticas	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; END
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE BRAKE	DISC-FRICTION PN: 6Y-8813	Reemplazo	Siempre	Según desgaste	Espesor fuera de tolerancia, vitrificación, grietas	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Medición de espesor y planitud; prueba de presión en banco
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE SEALS	SEAL GP-DUO-CONE PN: 314-4130 / 453-5929	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	Pérdida de hermeticidad, daño de caras de sellado	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; prueba de fugas
Final Drive Arrangement	Todos	Todos	Pruebas	N/A	N/A	No aprobar parámetros de aceptación indicados por Caterpillar	Especificaciones Caterpillar / Matriz de Calidad	Según especificaciones Caterpillar

Figura 40: Estrategia de Reparación y Stock Crítico - Mando Final 994F

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se describen las variables técnicas que componen la Matriz de Estrategia de Reparación y Stock Crítico desarrollada para los Mandos Finales:

- **Sistema:** Corresponde al nivel jerárquico superior que agrupa el conjunto funcional mayor del equipo. Define la frontera o alcance del mantenimiento; en este caso, corresponde a Final Drive Arrangement (Mando Final), donde en el futuro se buscará implementar esta matriz para el resto de componentes que ingresen al CRC.

- **Subsistema:** Representa una subdivisión lógica dentro del sistema principal. Permite organizar la estrategia agrupando componentes por su función específica o por su ubicación física dentro del conjunto.

- **Detalle del subsistema (Componente):** Identifica el elemento mantenible específico. Esta columna debe incluir obligatoriamente el Nombre Técnico estandarizado y el Número de Parte (NP) para asegurar la trazabilidad y la correcta gestión de abastecimiento.

- **Actividad:** Define la acción de mantenimiento principal que se ejecutará sobre el componente durante la intervención:

  - **Reemplazo:** El componente se descarta y se instala uno nuevo.
  - **Reutilización:** El componente se inspecciona y, al cumplir con los estándares, se vuelve a instalar sin modificaciones.
  - **Recuperación:** El componente presenta daños, pero es técnica y económicamente viable repararlo para devolverlo a condición estándar.

- **Tipo de Reemplazo (Política de Baja):** Establece la regla de decisión técnica que genera el cambio del componente:

  - **Siempre:** Piezas que deben ser reemplazadas en cada intervención, de acuerdo con las directrices técnicas definidas por el fabricante.
  - **Condición:** Piezas que se reutilizan si no presentan desviaciones en la inspección. Si se detectan anomalías, se reparan conforme a la Guía de Reutilización del fabricante y solo se aprueban para el armado cuando cumplen sus criterios. En caso contrario, se reemplazan.

- **Frecuencia de Reparaciones ($N°$ de veces):** Indica la vida útil potencial del componente en ciclos de reparación:

  - **0 (Cero):** Componente de un solo uso.
  - **Sin límite:** El componente puede reutilizarse en ciclos sucesivos mientras, en cada intervención, cumpla las especificaciones técnicas de operación establecidas por el fabricante (dimensionales, estructurales y funcionales), sin exceder límites de desgaste ni presentar discontinuidades críticas.

- **Condición para Baja (Modo de Falla):** Describe los defectos técnicos específicos que inhabilitan al componente para seguir operando, como por ejemplo pitting (picaduras), spalling (desprendimiento de material), fisuras u ovalización.

- **Criterio para Condición de Baja:** Indica el documento técnico oficial o estándar de ingeniería que valida la decisión de descartar o recuperar la pieza. En este caso, se utilizan los procedimientos de reutilización y salvataje del fabricante.
- **Prueba a Realizar:** Especifica el método de validación necesario para verificar la condición del componente:
  - **Inspección Visual:** Detección de daños evidentes.
  - **Metrología:** Verificación dimensional mediante medición trazable, orientada a confirmar cumplimiento de tolerancias, ajustes y criterios geométricos definidos por la especificación técnica, asegurando repetibilidad y confiabilidad del control.
  - **END (Ensayos No Destructivos):** Evaluación de integridad del material sin alterar la pieza, destinada a identificar discontinuidades superficiales y subsuperficiales, garantizando conformidad estructural respecto a criterios de aceptación establecidos.

La implementación de esta matriz transforma la logística desde un modelo reactivo hacia uno predictivo. Al mantener en stock los ítems identificados, se garantiza que la ruta crítica de la reparación dependa principalmente de la capacidad de mano de obra y no de la cadena de suministro externa. A continuación, se da paso a la propuesta de mejora orientada a la gestión visual y control de los tiempos de reparación. En el **Anexo H** se detallan las Estrategias de Reparación y Stock Critico para cada equipo seleccionado en la jerarquización realizada anteriormente.

6.3.4.4. Dashboard Gestión Visual

El Dashboard de Gestión Visual se establece como una herramienta orientada al monitoreo en tiempo real del desempeño operativo del proceso. Su implementación fue posible gracias a una colaboración estratégica con el Departamento de Informática, unidad que lideró la arquitectura de datos mediante la búsqueda, depuración y vinculación de registros alojados en los servidores corporativos. Posteriormente, se integraron los datos mediante Power BI, plataforma en la cual se administran y procesan los registros para la generación de la información visualizada y su actualización continua en tiempo real.

Esta integración permite mitigar la ausencia de alertas tempranas, proporcionando a la supervisión y al personal técnico una interfaz gráfica que permite visualizar de forma objetiva el avance de la reparación respecto de los estándares planificados.

La robustez del sistema reside en la integración de dos fuentes primarias de información, lo que permite consolidar datos dispersos en un modelo de visualización unificado:

1. **Base de Datos de Estándares (SQL):** El sistema consulta una base de datos estructurada que almacena los Tiempos Estándar (SJ) definidos para cada componente y actividad, los cuales actúan como referencia normativa del proceso.

2. **Registro de Ejecución (Kronos):** Se establece una conexión directa con la plataforma Kronos, utilizada para el registro y control de las horas-hombre efectivamente ejecutadas en cada actividad, proporcionando el tiempo real asociado a cada orden de trabajo y tarea específica.

3. **Procesamiento en Tiempo Real:** El algoritmo de cálculo cruza la información proveniente de ambas fuentes, comparando el tiempo efectivo reportado por el técnico con el presupuesto de horas asignado a la tarea específica en ejecución.

A continuación, se detalla la funcionalidad técnica de cada módulo de la interfaz, haciendo referencia a la disposición gráfica presentada en la **Figura 41**.

Figura 41: Desglose Funcional de la Interfaz de Gestion Visual - Dashboard

Fuente: Elaboración Propia

El primer nivel de control se orienta a la trazabilidad del recurso humano y a la correcta imputación de costos. El bloque identificado con el número **(1)** despliega la información maestra del técnico, validando su identidad, RUT y, de manera crítica, el Centro de Costo asociado (p. ej., 1061). Esta validación previa actúa como un control administrativo preventivo, evitando errores en la imputación de horas-hombre a presupuestos ajenos al Centro de Reparación de Componentes.

De forma integrada, el módulo central **(2)** contextualiza la ejecución de la labor en tiempo real, confirmando el turno operativo vigente (ej., 08:30–18:00) y la Orden de Trabajo activa (ej., OT 24236) sobre la cual se están registrando los datos. La incorporación de la fotografía del técnico refuerza la responsabilidad individual sobre la información registrada, fortaleciendo la trazabilidad y la confiabilidad del sistema.

Una vez validado el recurso, el sistema define el alcance técnico de la labor en el sector (**(3)**. Este módulo extrae desde la base de datos la descripción específica de la actividad que está ejecutando el técnico y el modelo del equipo intervenido, información proveniente de la Orden de Trabajo correspondiente. En el caso ilustrado, el técnico se encuentra ejecutando la Actividad 3 (Preparación de piezas y Armado) en un Mando Final del Cargador Frontal 994H. Esta visualización resulta fundamental para la supervisión en terreno, ya que permite contrastar, en un solo vistazo, la coherencia entre la actividad física realizada en el banco de trabajo y la actividad digital declarada en el sistema.

El núcleo de la gestión de desempeño reside en los indicadores gráficos dinámicos ubicados en la zona media e inferior de la interfaz. El indicador **(4)** corresponde a un medidor de consumo de horas que monitorea la velocidad de ejecución de la actividad. Su escala cromática (verde, amarillo y rojo) actúa como un disparador de alertas tempranas; cuando la aguja ingresa a la zona roja, se señala que el tiempo invertido se aproxima peligrosamente al límite planificado, habilitando una intervención correctiva inmediata.

Complementariamente, el gráfico de barras **(5)** entrega la comparación cuantitativa directa entre el Tiempo Real acumulado y el Standard Job (SJ) definido para la actividad. En el ejemplo mostrado, la Actividad 3 del Mando Final del Cargador 994H posee un SJ de 26,3 horas, mientras que el técnico registra un acumulado de 0,6 horas desde el inicio de la ejecución. La diferencia visual entre la barra azul y la amarilla representa el remanente de tiempo disponible, proporcionando al técnico una referencia objetiva para autogestionar su ritmo de avance.

Finalmente, el sistema incorpora un módulo de auditoría de carga en el sector **(6)**. Este histograma desglosa la distribución total de las horas aportadas por el técnico en las distintas Órdenes de Trabajo activas durante el período. Esta herramienta permite identificar y anticipar anomalías, como la sobrecarga de horas en una OT específica para compensar tiempos muertos en otras, facilitando la corrección de desviaciones y asegurando que la rentabilidad de cada proyecto de reparación se evalúe sobre datos trazables y fidedignos.

Habiendo establecido las soluciones técnicas que responden a las causas raíz detectadas en el diagnóstico, surge la necesidad de articular su despliegue operativo para garantizar la sostenibilidad de los resultados. La definición teórica de las mejoras carece de impacto si no se acompaña de una planificación rigurosa que determine los recursos y responsables de su ejecución. Por tal motivo, a continuación se sistematiza el plan de implementación utilizando la metodología 5W+2H, herramienta que permitirá transformar las estrategias de estandarización, control y logística propuestas en acciones concretas y cuantificables para la organización.

6.3.4.5. Metodología 5W+2H

Para la materialización de las propuestas de mejora derivadas del diagnóstico, es imperativo transitar desde la estrategia conceptual hacia la planificación táctica ope-

rativa. En esta fase del proyecto, se utiliza la metodología 5W+2H como herramienta directriz para estructurar el plan de acción. Esta técnica permite definir con precisión el alcance y la responsabilidad de cada iniciativa, respondiendo a siete interrogantes fundamentales que transforman las causas raíz identificadas en tareas ejecutables. La aplicación de este marco lógico asegura que cada contramedida, ya sea en logística de repuestos, control de calidad o gestión visual, cuente con un responsable claro, un método de ejecución definido y una justificación técnica, evitando así la ambigüedad en la implementación.

Tabla 20: Plan de Acción de Mejora - Metodología 5W+2H

Fuente: Elaboración Propia

Pregunta	Estrategia Stock Crítico	Matrices de Riesgo de Calidad	Dashboard de Gestión Visual
What? (Qué)	Implementar un modelo de inventario basado en mantener un stock de piezas de alta rotación que no estén catalogadas como cambio obligatorio en cada Rebuild del componente.	Crear Checklists técnicos y Quality Gates por hitos de reparación.	Desarrollar un tablero de control en tiempo real para las OTs activas.
Why? (Por qué)	Permite una entrega más rápida de repuestos nuevos desde bodega, evitando el tiempo de espera desde fábrica.	Para mitigar fallas de calidad y la falta de control en el proceso de reparación.	Para resolver la falta de alertas tempranas sobre desviaciones de tiempo.
Where? (Dónde)	Bodega de repuestos.	Área de Trabajo CRC.	Estación de Supervisión y pantallas informativas en el taller.
When? (Cuándo)	Fase inmediata tras el cierre del análisis histórico de demanda.	Desde la recepción hasta la entrega final del componente.	Actualización continua y en tiempo real sincronizada con ERP/Kronos.
Who? (Quién)	Gerencia de Abastecimiento, Jefe de Bodega, Planificador de Repuestos y Analista de Compras.	Supervisor de Calidad, Supervisor de Operaciones y Técnicos/Mecánicos encargados.	Departamento de Informática, Telecomunicaciones y Planificación.
How? (Cómo)	Generando un listado por equipos y componentes, catalogando las piezas de rotación considerable, además de las piezas de cambio obligatorio, y parametrizando niveles críticos de stock.	Estableciendo la firma obligatoria de protocolos de reparación.	Integrando bases de datos de avance con visualización dinámica en Power BI.
How Much? (Cuánto)	Inversión inicial en capital de trabajo compensada por la reducción de lucro cesante.	Costo marginal de HH para inspección versus costo de reprocesos.	Desarrollo i nterno de software y licencias de visualización de datos.

La puesta en marcha de las estrategias de optimización operativa, que comprenden la estandarización técnica mediante las Matrices de Riesgo (MRC) y el despliegue

del sistema de monitoreo visual, se oficializó a mediados del mes de octubre del año 2025. En consecuencia, la evaluación de desempeño que se expone a continuación se fundamenta en el procesamiento de los datos recolectados desde dicho hito de implementación hasta el cierre de enero de 2026. Esta ventana de observación constituye la muestra representativa sobre la cual se examinará la evolución de las métricas críticas del proceso, permitiendo contrastar el comportamiento de los índices de capacidad (C_{pk}, P_{pk}), la tendencia central (μ) , la variabilidad (σ) y el Nivel Sigma frente a la línea base histórica.

Cabe precisar que la tercera variable de la propuesta de mejora, correspondiente a la Estrategia de Stock Crítico, se mantiene pendiente de implementación efectiva durante este periodo de evaluación. Si bien el modelo de inventario fue definido técnicamente en la etapa de mejora, su ejecución logística se encuentra actualmente supeditada a un análisis exhaustivo de costos de capital y flujo de caja que está siendo llevado a cabo por el Departamento de Finanzas de la organización. Por consiguiente, los resultados estadísticos presentados en este punto reflejan el impacto puro de la estandarización del método y el control visual, sin la influencia de la disponibilidad inmediata de repuestos proyectada.

6.3.4.6. Análisis de Capacidad - Mandos Finales con Mejoras Implementadas

A continuación, se desarrolla el análisis definitivo del proceso de reparación de Mandos Finales tras la implementación de las mejoras (t_1). Para cada variable estadística se detalla su cálculo matemático y se realiza, de forma inmediata, el contraste evolutivo con la línea base histórica (t_0), integrando la interpretación del cambio en el comportamiento gráfico de la distribución.

El presente estudio se circunscribe exclusivamente al análisis de capacidad global del proceso de reparación de mandos finales, prescindiendo de una evaluación segmentada por subetapas. Bajo este enfoque, los parámetros de entrada del sistema, tales como el Target y los Límites de Especificación, mantienen plena consistencia con la evaluación inicial desarrollada para estos componentes. Dichos valores se encuentran detallados en la **Tabla 9** y corresponden a un Límite de Especificación (LE) de ± 27 horas respecto a un Target de 0 horas.

Los datos utilizados para evaluar la capacidad del proceso, una vez ejecutadas las mejoras en la reparación de mandos finales, fueron extraídos directamente desde el software SAP (véase **Anexo I.1**), siguiendo la misma metodología aplicada en los análisis de capacidad previos. Esta muestra técnica representa el $\Delta Tiempo$ de reparación de las unidades ingresadas a la organización con posterioridad a la implementación de las estrategias expuestas en este estudio.

Con el fin de mantener coherencia con la priorización de activos definida previamente, el análisis se concentra exclusivamente en los mandos finales pertenecientes a los modelos críticos seleccionados: D10T, 789C, 793F, 980H, 994F y 994K. Finalmente, y con el propósito de ofrecer una visión integral del desempeño operativo, se presenta a continuación la relación detallada de la totalidad de los componentes ingresados

al taller desde la entrada en vigencia del nuevo estándar de trabajo. La entrada en régimen de las mejoras corresponde aproximadamente a fines del mes de octubre del año 2025, contabilizándose los ingresos hasta mediados del mes de enero del año 2026, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 22: Mandos Finales Ingresados Posterior a Implementación de Mejoras

Fuente: Elaboración Propia

Modelo de Equipo	Cantidad de Mandos Finales
773G	1
777G	2
789C	1
793F/D	6
854G / 992G	2
980H	3
994F	7
D10T	2
Total General	**24**

De acuerdo con la distribución presentada en la **Tabla 22**, se registra el ingreso de un total de 24 mandos finales durante el período evaluado. De este universo, 19 unidades corresponden específicamente a los modelos de equipos priorizados en las etapas anteriores del estudio. Esta proporción representa el 79,2 % del flujo total del taller, lo que valida la pertinencia estratégica de las propuestas de mejora implementadas.

La concentración de la mayor parte de los ingresos en los equipos seleccionados confirma que las soluciones aplicadas impactan directamente sobre el volumen crítico de la operación, asegurando la relevancia y representatividad de los resultados obtenidos en el presente análisis.

Es pertinente precisar que la propuesta correspondiente a la Estrategia de Reparación y Stock Crítico no fue desplegada en su totalidad durante el período evaluado, dado que su ejecución integral implica una inversión de capital significativa para la organización. En su lugar, se definió un plan de adopción progresiva, orientado a incorporar estos recursos de manera escalonada y controlada.

En consecuencia, el análisis de los tiempos de reparación presentado a continuación refleja exclusivamente el impacto operativo derivado de la implementación de las Matrices de Riesgo de Calidad y del sistema de monitoreo mediante Dashboard de Gestión Visual. De este modo, los resultados obtenidos aíslan el efecto de la mejora en la gestión y control técnico del proceso, sin incorporar aún las variables logísticas asociadas al suministro masivo de repuestos.

Análisis de Tendencia Central

Se determina la media aritmética muestral para establecer el nuevo punto de operación respecto al objetivo nominal ($Target = 0$).

$$\mu_{(t1)} = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{170,69}{19} = 8,984\ [Hrs] \tag{3.9}$$

La media operativa se redujo drásticamente desde un valor histórico de 31,21 [Hrs] a $8,98$ [Hrs], logrando una disminución neta de 22,23 horas (-71,2 %). Este resultado confirma que la gran mayoría de las reparaciones ya no presentan retrasos estructurales, manteniéndose dentro del margen aceptable de demora.

Análisis de Variabilidad - Largo y Corto Plazo

Se calcula la desviación estándar total, la cual incorpora tanto la variabilidad inherente como los desplazamientos y causas especiales ocurridas durante el muestreo.

$$\sigma_{LT(t1)} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \mu)^2}{n-1}} = 48,743\ [Hrs] \tag{4.9}$$

El resultado matemático de 48,743 [Hrs] para la desviación estándar actual, al contrastarse con la magnitud crítica histórica de 71,97 [Hrs], evidencia una reducción neta de **reducción neta del 32,3 %** en la variabilidad total. Este descenso confirma estadísticamente que la implementación de las mejoras redujo significativamente el desorden operativo del sistema, disminuyendo la incertidumbre general de la planificación.

Se calcula la desviación estándar a corto plazo (σ_{ST}), aislando la variabilidad natural del método mediante el Rango Móvil, véase **Anexo I.3**.

$$\bar{R}_m = \frac{\sum R_m}{n-1} = \frac{888,5}{18} = \mathbf{49,36}\ [\mathbf{Hrs}] \tag{11.9}$$

$$\sigma_{ST(t1)} = \frac{\bar{R}_m}{d_2} = \frac{49,36}{1,128} = \mathbf{43,76}\ [\mathbf{Hrs}] \tag{11.9}$$

La dispersión inherente del proceso disminuyó de $55,60$ [Hrs] en t_0 a $43,76$ [Hrs] en t_1, representando una mejora de precisión del **11,84 %**.

Z-Scores - Largo y Corto Plazo

Se normaliza la distancia entre la tendencia central y los límites de especificación con el objetivo de determinar el margen de seguridad estadístico disponible, expresado en unidades de desviación estándar, tanto para el comportamiento de largo plazo como de corto plazo del proceso.

Para el análisis de largo plazo, se obtienen los siguientes valores:

$$Z.LES_{LT} = \frac{LES - \mu}{\sigma_{LT}} = \frac{27 - 8{,}984}{48{,}743} = 0{,}738 \tag{15.9}$$

$$Z.LEI_{LT} = \frac{LEI - \mu}{\sigma_{LT}} = \frac{-27 - 8{,}984}{48{,}743} = -0{,}370 \tag{16.9}$$

Para el análisis de corto plazo, considerando la desviación estándar del proceso estabilizado, se obtiene:

$$Z.LES_{ST} = \frac{LES - \mu}{\sigma_{LT}} = \frac{27 - 8{,}984}{43,75} = 0,822 \tag{15.9}$$

$$Z.LEI_{ST} = \frac{LEI - \mu}{\sigma_{LT}} = \frac{-27 - 8{,}984}{43,75} = 0{,}412 \tag{16.9}$$

Estos resultados permiten evaluar comparativamente la capacidad del proceso frente a los límites de especificación, evidenciando el efecto de la reducción de variabilidad lograda tras la implementación de las mejoras.

Proyección de Tasas de Defecto

La evaluación de la conformidad se realiza en tres niveles: la tasa de falla real medida empíricamente (PPM_{Obs}), la proyección del desempeño global esperado a largo plazo (PPM_{LT}) y la proyección de la capacidad potencial a corto plazo (PPM_{ST}).

El PPM observado se calcula directamente como la proporción de unidades muestrales que excedieron los límites de especificación ($n_{defectos} = 7$) respecto del total de la muestra ($N = 19$).

$$PPM_{Obs} = \left(\frac{n_{defectos}}{N}\right) \times 10^6 = \left(\frac{7}{19}\right) \times 10^6 = \mathbf{368421} \tag{21.9}$$

El PPM esperado a largo plazo se estima utilizando las probabilidades de cola asociadas a los índices Z de largo plazo (Z_{LT}), reflejando el comportamiento histórico total del proceso:

$$PPM_{LT} = [\Phi(Z.LEI_{LT}) + (1 - \Phi(Z.LES_{LT}))] \times 10^6 \tag{24.9}$$

$$PPM_{LT} \approx [0,2301 + 0,3558] \times 10^6 = \mathbf{586020} \tag{24.9}$$

El PPM esperado a corto plazo se estima utilizando la desviación estándar inherente del proceso (Z_{ST}), representando la tasa de defectos teórica al eliminar las causas especiales:

$$PPM_{ST} = [\Phi(Z.LEI_{ST}) + (1 - \Phi(Z.LES_{ST}))] \times 10^6 \tag{27.9}$$

$$PPM_{ST} \approx [0,2054 + 0,3402] \times 10^6 = \mathbf{545687} \tag{27.9}$$

El análisis comparativo de la tasa de defectos revela una mejora sincronizada entre las métricas de largo y corto plazo. Mientras los PPM globales disminuyeron un 20 % respecto a la línea base, los PPM de corto plazo descendieron desde 677.738 hasta 545.687, lo que representa una reducción efectiva del 19,5 %. La equivalencia porcentual entre ambas variaciones confirma la estabilidad estadística del sistema, evidenciando que la brecha entre la capacidad potencial y el desempeño real se ha cerrado casi en su totalidad. No obstante, el valor residual de 545.687 PPM indica que se ha alcanzado el límite técnico del proceso actual; por tanto, los defectos remanentes corresponden a restricciones estructurales del método y la tecnología disponible, y no a fallas de ejecución del personal operativo.

Indices de Capacidad y Desempeño

Desempeño Real del Proceso (P_{pk}): Evalúa la capacidad real del proceso para cumplir con los requisitos del cliente, considerando la variabilidad total del sistema ($\sigma_{LT} = 48,74$).

$$P_{pk(t1)} = \text{mín}\left(\frac{27 - 8,98}{146,22}, \frac{8,98 - (-27)}{146,22}\right) = \mathbf{0,123} \tag{12.9}$$

Al contrastar este resultado con la línea base histórica, donde el indicador presentaba un valor de **-0,020**, sse evidencia una de las transformaciones más relevantes del proyecto. Desde la perspectiva de la ingeniería de la calidad, un índice negativo indicaba que la media del proceso ($\mu_{t0} = 31,21$) se encontraba fuera de los límites de especificación, excediendo el límite superior ($LES = 27$). En dicho escenario, el incumplimiento no era circunstancial, sino una condición estructural del proceso.

La obtención de un valor positivo de **+0,123** marca un punto de inflexión operativo. Este resultado confirma que la tendencia central del proceso ha sido desplazada nuevamente hacia la zona de conformidad definida por las especificaciones. Si bien la magnitud del índice aún es moderada, debido a la persistencia de una alta variabilidad global (σ_{LT}), el cambio de signo del indicador valida que el sistema ha recuperado su condición básica de cumplimiento. En términos operativos, el proceso deja de generar retrasos de forma sistemática y comienza a operar alineado con los requisitos del cliente.

Capacidad Potencial del Método (C_{pk}): Evalúa el techo técnico del proceso usando la desviación de corto plazo ($\sigma_{ST} = 20,19$)

$$C_{pk(t1)} = \text{mín}\left(\frac{27 - 8,98}{60,58}, \frac{8,98 - (-27)}{60,58}\right) = \mathbf{0,297} \tag{13.9}$$

La evolución del indicador potencial desde una cifra histórica de **-0,025** hacia el valor actual de **+0,137** constituye evidencia empírica de la validación técnica del nuevo método. El tránsito desde números negativos hacia el espectro positivo confirma que la metodología estandarizada posee ahora la aptitud fundamental para cumplir con las

tolerancias, superando la incapacidad estructural del diseño anterior.

Asimismo, el análisis comparativo revela un hallazgo relevante para la gestión: la cercanía entre el potencial técnico ($P_{pk} = 0,123$). A diferencia de escenarios teóricos donde se observan amplias brechas de eficiencia, esta paridad indica que el proceso se encuentra bajo un estado de control estadístico sustancial. El sistema está entregando prácticamente la totalidad del rendimiento posible según su diseño actual; por tanto, se concluye que la variabilidad remanente es inherente a la naturaleza tecnológica de la reparación y no producto de indisciplinas operativas ni de la presencia de causas especiales sin controlar.

Indice de Taguchi (C_{pm}): El índice C_{pm} incorpora el principio de la Función de Pérdida de Calidad, penalizando cuadráticamente la variabilidad en función de su desviación respecto del valor nominal u objetivo ($Target = 0$). A diferencia de los índices tradicionales basados en la media muestral, este indicador utiliza el estadístico τ (Tau), el cual integra simultáneamente la desviación estándar global (σ_{LT}) el sesgo de centrado ($\mu - T$).

$$C_{pm} = \frac{27 - (-27)}{6 \cdot \sqrt{48,743^2 + (8,984 - 0)^2}} = \frac{54}{297,384} = \mathbf{0,182} \tag{14.9}$$

La comparación entre el indicador histórico de 0,115 y el resultado actual de 0,182 revela un incremento neto del **58,2 %** en la eficiencia económica del proceso. Este avance posee relevancia crítica, ya que demuestra que la intervención no se limitó a contener los defectos dentro de los límites de tolerancia, sino que además logró reducir la dispersión estocástica en torno al valor ideal.

La convergencia del índice hacia valores superiores valida que la reducción simultánea de la varianza (σ) y del descentramiento (μ) ha mitigado la pérdida asociada a retrabajos y tiempos de espera improductivos, optimizando el valor entregado al cliente final.

Nivel Z

El Nivel Z de Largo Plazo (Z_{LT}) constituye la métrica estandarizada del desempeño real del proceso percibido por el cliente. A diferencia del Nivel Z de Corto Plazo (Z_{ST}), este indicador no asume condiciones ideales, ni elimina subgrupos; se calcula directamente a partir de la probabilidad total de defectos proyectada por la distribución global.

Para determinarlo, se utiliza la función inversa de la distribución normal estándar acumulada (Φ^{-1}) sobre la probabilidad de éxito del proceso:

$$P_{\text{éxito}} = 1 - P_{\text{defecto(LT)}} = 1 - 0,5860 = 0,414 \tag{33.9}$$

$$Z_{LT} = \Phi^{-1}(0,4140) = -0,217 \tag{43}$$

$$Sigma_{LT} = -0,217 + 1{,}5 = 1{,}283 \tag{44}$$

El Nivel Z de Corto Plazo (Z_{ST}) cuantifica la capacidad tecnológica inherente del proceso, bajo el supuesto de que las causas especiales de variación han sido eliminadas. Su cálculo se deriva de la probabilidad de defectos teórica proyectada por la desviación estándar de corto plazo.

Para determinarlo, se utiliza la función inversa de la distribución normal estándar acumulada (Φ^{-1}) sobre la probabilidad de éxito del proceso:

$$P_{\text{éxito}} = 1 - P_{\text{defecto(ST)}} = 1 - 0,5457 = 0,4543 \tag{33.9}$$

$$Z_{ST} = \Phi^{-1}(0,4543) = -0,115 \tag{45}$$

$$Sigma_{ST} = -0,115 + 1,5 = 1,385 \approx \mathbf{1,39} \tag{46}$$

Comparativamente, estos resultados reflejan un avance moderado, pero estructural en la escala de madurez del proceso. Mientras que en la línea base histórica el sistema operaba con una capacidad de diseño de 1,04 Sigma, la reingeniería actual ha impulsado el potencial tecnológico hasta los 1,39 Sigma ($Sigma_{ST}$).

Si bien este valor aún sitúa al proceso dentro de un estado disfuncional (Nivel 1), el incremento de +0,35 puntos Sigma valida que la intervención ha dotado al taller de una mayor robustez técnica. Lo más relevante no es la magnitud absoluta del salto, sino la consistencia alcanzada: el diseño del proceso (1,39 Sigma) y su ejecución real (1,28 Sigma) se encuentran ahora alineados. EEsto confirma que el sistema está listo para recibir mejoras adicionales orientadas a escalar hacia niveles superiores de desempeño.

Análisis Comparativo General

Con el propósito de validar los indicadores estadísticos previamente calculados, se presenta a continuación una tabla resumen que incluye una comparación entre los indicadores del proceso histórico de reparación de mandos finales, véase **Tabla 23** y los Informes de Capacidad del Proceso, véase **Figuras 42 y 43**. Esta representación tiene como objetivo evidenciar de manera visual la brecha evolutiva entre el escenario histórico y el proceso actual tras la implementación de las mejoras.

Tabla 23: Cuadro Comparativo Resultados - Línea Base y Proceso Actual

Fuente: Elaboración Propia

Indicador Estadístico	Símbolo	Histórico (t_0)	Actual (t_1)	Variación Real
Media del Proceso	μ	31,21 [Hrs]	8,98 [Hrs]	**-22,23 [Hrs] (-71,2 %)**
Desv. Estándar (ST)	σ_{ST}	55,60 [Hrs]	43,76 [Hrs]	**-11,84 [Hrs] (-21,3 %)**
Desv. Estándar (LT)	σ_{LT}	71,97 [Hrs]	48,74 [Hrs]	**-23,23 [Hrs] (-32,3 %)**
Desempeño Real	P_{pk}	-0,020	0,123	**+0,143 Pts**
Capacidad Potencial	C_{pk}	-0,025	0,137	**+0,162 Pts**
Índice Taguchi	C_{pm}	0,115	0,182	**+0,067 Pts**
Nivel Z (LT)	Z_{LT}	-0,62	-0,22	**+0,40**
Nivel Z (ST)	Z_{ST}	-0,46	-0,12	**+0,34**
Nivel Sigma (LT)	$Sigma_{LT}$	0,88 σ	1,28 σ	**+0,40**
Nivel Sigma (ST)	$Sigma_{ST}$	1,04 σ	1,39 σ	**+0,35**

La evaluación comparativa permite constatar que la totalidad de las variables e indicadores de la línea base han experimentado una evolución favorable tras la intervención. Este cambio estructural evidencia el impacto directo de la implementación de los controles operativos, específicamente la Matriz de Riesgo de Calidad y el Dashboard de Gestión Visual, los cuales han actuado como filtros efectivos para la variabilidad.

Esta optimización se manifiesta con mayor relevancia operativa y económica en la drástica reducción del tiempo medio de reparación (μ). La disminución de este indicador permite cuantificar el impacto financiero asociado al consumo de recursos (HH), tal como setal como se detalla en la **Tabla 6** y en el análisis posterior de costos directos por unidad.

$$Costo_{Hist} = Valor_{HH} \times \mu_{t0} = 8{,}948 \left[\frac{\$CLP}{HH}\right] \times 31,21\ [Hrs] = 279267\ [\$CLP] \quad (47)$$

$$Costo_{Actual} = Valor_{HH} \times \mu_{t1} = 8{,}948 \left[\frac{\$CLP}{HH}\right] \times 8,98\ [Hrs] = 80353\ [\$CLP] \quad (48)$$

De lo anterior se desprende un ahorro directo unitario de $198.914 CLP, calculado a partir de la reducción del tiempo medio de proceso. Si se proyecta este rendimiento promedio sobre el universo de 19 componentes procesados en la etapa actual, se contabiliza un ahorro total acumulado de $3.779.366 CLP.

Si bien la cuantía nominal del ahorro acumulado ($3.7M CLP) corresponde a un universo muestral acotado, su verdadero peso estratégico radica en la optimización estructural del costo unitario. La intervención logró reducir el gasto en mano de obra

directa en un 71,2 % por componente, lo que valida la eliminación sistemática de actividades que no agregan valor. Más allá del beneficio monetario directo, este resultado implica la liberación de 422 Horas Hombre de capacidad productiva, recurso crítico que la organización puede reasignar para incrementar la atención de componentes a través de una mayor disponibilidad de horas en planificación y ejecución, sin superar la capacidad instalada del taller. En este sentido, la mejora convierte tiempo previamente consumido por ineficiencias en holgura operativa efectiva, permitiendo aumentar el volumen gestionado y estabilizar los compromisos de entrega sin requerir incrementos de dotación ni inversiones adicionales.

Con respecto a la variabilidad, se observa un fenómeno inverso de convergencia positiva. La desviación estándar de largo plazo (σ_{LT}) experimentó una reducción del 32,3 %, superando porcentualmente la mejora de corto plazo (σ_{ST}), que disminuyó un 21,3 %.

Este comportamiento constituye un indicador técnico de depuración del proceso. El hecho de que la variabilidad global haya descendido más rápidamente que la variabilidad inherente indica que las mejoras de gestión fueron altamente efectivas en la eliminación de causas especiales de variación, tales como factores externos y desorden administrativo. Asimismo, la estrecha brecha resultante entre la capacidad potencial ($C_{pk} = 0,137$) y el desempeño real ($P_{pk} = 0,123$) señala que el proceso ha alcanzado un alto nivel de adherencia; es decir, la operación real se está ejecutando prácticamente al máximo de su potencial actual. En consecuencia, las futuras mejoras deben enfocarse en cambios tecnológicos orientados al desplazamiento de la media, más que en la corrección de conductas operativas.

Esto valida la utilidad del Dashboard de Gestión Visual como herramienta de control, y también como el mecanismo que ha permitido mantener la desviación de largo plazo alineada con la capacidad natural del taller, evitando la degradación caótica típica de los procesos manuales.

Complementariamente al análisis financiero, la evaluación del Nivel Z de Largo Plazo (Z_{LT}) permite cuantificar la recuperación del nivel de servicio desde la perspectiva de la probabilidad. A diferencia de los indicadores de corto plazo, que miden el potencial ideal, el Z_{LT} refleja la realidad histórica experimentada por el cliente final.

La variación positiva de 0,40 unidades sigma (desde -0,62 hasta -0,22) representa matemáticamente un incremento sustancial en la tasa de rendimiento del proceso. Al modelar el comportamiento bajo la distribución normal acumulada, es posible determinar la probabilidad real de que una reparación se complete dentro del plazo establecido en cada escenario.

$$P_{exito}(Hist) = \Phi(Z_{LT}^{t0}) = \Phi(-0,62) \approx 26,76\,\% \tag{49}$$

$$P_{exito}(Actual) = \Phi(Z_{LT}^{t1}) = \Phi(-0,22) \approx 41,29\,\% \tag{50}$$

El análisis de estos resultados revela que, en la línea base, apenas una de cada cuatro reparaciones (26,76 %) lograba cumplir con los tiempos comprometidos, lo que evidenciaba una ineficacia estructural del proceso. Tras la implementación de las mejoras, la probabilidad de éxito operativo experimentó un crecimiento relativo del 54,3 %. Este aumento valida que la intervención no solo redujo los costos promedios, sino que además incrementó de manera significativa la consistencia de entrega en condiciones reales de operación, mitigando la incertidumbre logística para la planificación.

El análisis desagregado de los niveles sigma permite diagnosticar la evolución del proceso en dos dimensiones complementarias de madurez: la capacidad de diseño (corto plazo) y la realidad operativa (largo plazo).

En el horizonte de corto plazo, el indicador avanzó desde 1,04 sigma hacia 1,39 sigma. Si bien el proceso se mantiene dentro de un Nivel 1 de madurez, este incremento refleja una optimización en la lógica del trabajo. El valor actual indica que el diseño del proceso de reparación es más robusto, aunque todavía presenta un margen amplio de perfeccionabilidad técnica para alcanzar estándares de clase mundial.

Por otra parte, en el horizonte de largo plazo, la evolución desde 0,88 a 1,28 sigma resulta crítica para la sostenibilidad del negocio. Lo más relevante no es únicamente el aumento absoluto, sino la convergencia con el valor de corto plazo (1,28 vs 1,39). lo que evidencia una reducción sustantiva de la brecha histórica entre el diseño del proceso y su ejecución real. Este resultado confirma que el sistema ha logrado salir de la zona de inestabilidad crítica para situarse en un estado de control básico, donde la operación diaria es consistente con las capacidades actuales del taller, estableciendo una base sólida y predecible para futuras inversiones de carácter tecnológico.

Validación Gráfica del Modelo Estadístico

La evidencia numérica expuesta en el punto anterior adquiere una dimensión física al ser sometida a una contrastación gráfica. A continuación, se presenta el análisis comparativo de los histogramas de capacidad, herramienta que permite corroborar visualmente la evolución de la tendencia central y de la dispersión de los datos. Este enfoque visual resulta fundamental para validar la coherencia entre la mejora de los índices dimensionales y el desplazamiento real de la curva del proceso hacia la zona de cumplimiento. Véase verificación gráfica MiniTab del proceso actual en Anexo I.1

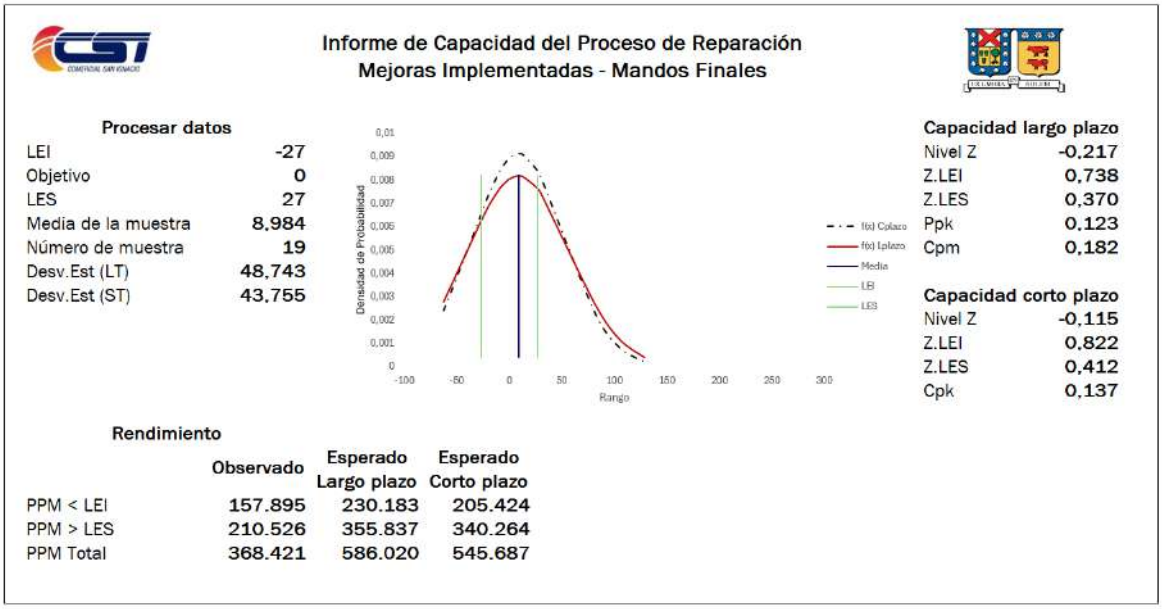

Figura 42: Análisis de Capacidad Proceso de Reparación - Actual

Fuente: Elaboración Propia

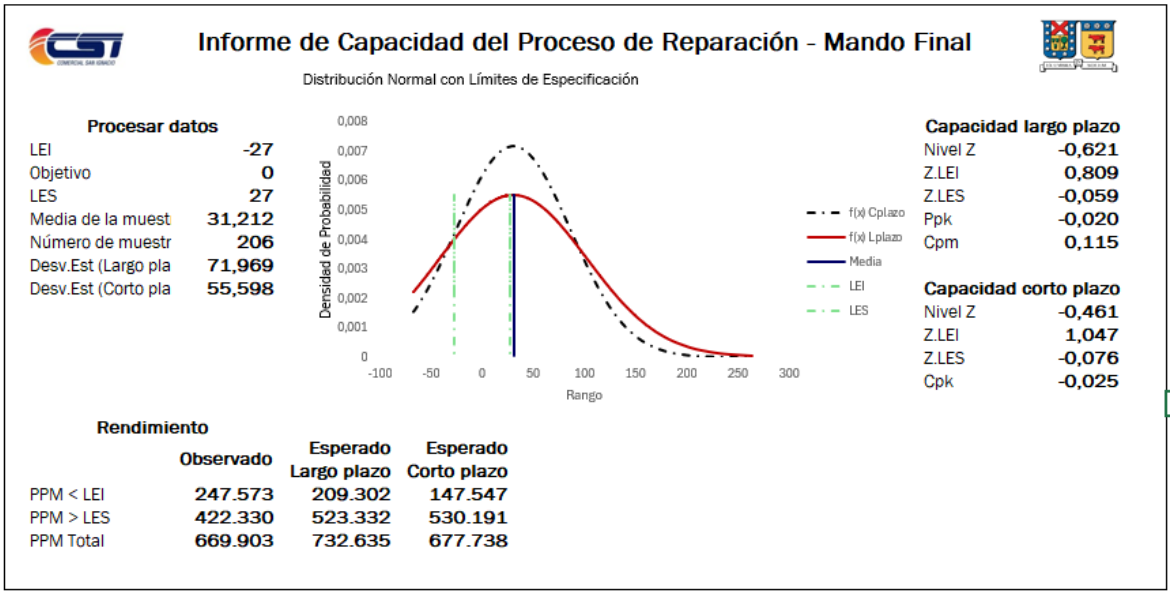

Figura 43: Análisis de Capacidad Proceso de Reparación - Histórico

Fuente: Elaboración Propia

La proyección simultánea de las curvas de densidad permite diagnosticar la madurez del sistema al evidenciar la interacción entre la capacidad tecnológica y la realidad operativa. Mientras que el histograma histórico exhibía una dispersión amplia producto de la ineficacia sistémica, la gráfica actual revela una notable convergencia estructural entre las proyecciones: la curva de corto plazo presenta una morfología muy similar

a su contraparte de largo plazo, sintonía visual que materializa la estrecha cercanía aritmética existente entre el C_{pk} (0,137) y el P_{pk} (0,123).

En este contexto, el índice Taguchi (C_{pm}) de 0,182 aporta una validación geométrica adicional de la exactitud del sistema. Su valor positivo confirma que el eje de simetría de la distribución ya no fluctúa de manera errática, sino que busca alinearse con el valor objetivo (Target). Esta configuración gráfica demuestra que el proceso no solo ha adquirido direccionalidad, sino que ha logrado filtrar eficazmente el ruido operativo, minimizando la dilución del potencial técnico en la operación diaria.

Si bien los indicadores actuales aún se encuentran distantes de los estándares de excelencia operativa propios de un proceso de alto desempeño, este nuevo estado de alineación constituye el hito fundacional imprescindible para habilitar una estrategia de mejora continua. Haber logrado revertir la incapacidad histórica y situar el proceso en valores positivos, representa el primer estadio de estabilización. La escasa brecha entre el desempeño real y el potencial técnico sugiere que la organización ha alcanzado un alto nivel de adherencia al nuevo estándar, por consiguiente, el desafío inmediato para escalar hacia niveles superiores de desempeño no reside en la corrección de conductas operativas, sino en la innovación técnica del método de reparación orientada a reducir la variabilidad inherente del sistema.

6.3.5. Controlar

La implementación de mejoras técnicas y la corrección de la capacidad del proceso carecerían de valor estratégico si no se establecen mecanismos que aseguren su permanencia en el tiempo. La fase de Control del ciclo DMAIC tiene como objetivo fundamental estandarizar el nuevo desempeño operativo, impidiendo la regresión del sistema hacia los vicios o desviaciones históricas previamente corregidas. En el contexto de la reparación de Mandos Finales, esta etapa se materializa a través de la formalización de planes de control y del monitoreo continuo de las variables críticas del proceso.

6.3.5.1. Control y Estandarización - MRC

El control, la gestión y la estandarización de las Matrices de Riesgo de Calidad (MRC) serán responsabilidad conjunta de los departamentos de Unidad Técnica y del Sistema de Gestión Integrado (SGI). La delegación de esta tarea en dichas áreas responde a su rol estratégico en la normalización y oficialización de los activos corporativos, garantizando la validación necesaria para la integración de la documentación en la intranet de la organización. Esta medida tiene como objetivo asegurar la accesibilidad universal y la disponibilidad inmediata del estándar, facilitando su consulta por parte del equipo técnico involucrado en la ejecución de la matriz.

Con el propósito de evitar la obsolescencia técnica y garantizar la vigencia operativa del procedimiento, se establece un protocolo de revisión con periodicidad semestral. Estas auditorías periódicas, realizadas de manera colaborativa por todos los departamentos vinculados a la generación de la matriz, tienen por finalidad identificar riesgos

emergentes no detectados en etapas previas, así como incorporar actualizaciones derivadas de ajustes en los procedimientos internos y de modificaciones técnicas emitidas por el fabricante del componente (OEM).

Finalmente, en virtud de la validación empírica y de los resultados favorables obtenidos en la línea de mandos finales, la organización ha determinado extender la implementación de esta metodología a la totalidad de los componentes que ingresan al ciclo de reparación. Esta estrategia de escalabilidad busca replicar los estándares de control y supervisión en las demás líneas productivas, proyectando una mejora transversal y sostenida en la eficiencia y en la calidad de los procesos de reparación de la compañía.

6.3.5.2. Control y Estandarización - Stock Critico

La gobernanza de la Estrategia de Reparación y la gestión del Stock Crítico se definen como una responsabilidad articulada entre la Unidad Técnica, el Sistema de Gestión Integrado (SGI) y la Gerencia de Abastecimiento. De manera análoga al protocolo establecido para las Matrices de Riesgo de Calidad, la Unidad Técnica y el SGI conservan la potestad sobre la oficialización, estandarización y custodia de la documentación en los sistemas corporativos, garantizando la validez normativa del procedimiento.

En el plano operativo, la custodia y administración de los activos físicos recaen en la Gerencia de Abastecimiento. A través de la coordinación entre las áreas de Bodega y Adquisiciones, este departamento debe asegurar la disponibilidad irrestricta de los componentes, manteniéndolos catalogados, preservados y listos para su despacho inmediato tras la recepción de la solicitud del taller. Asimismo, se instruye la aplicación de un monitoreo de inventario continuo, cuya finalidad es detectar variaciones en las existencias y detonar automáticamente las órdenes de compra necesarias para la reposición, evitando quiebres de stock que comprometan la continuidad del flujo de reparación.

Finalmente, en virtud de la validación empírica y de los resultados favorables obtenidos y estimados en la línea de mandos finales, la organización ha determinado extender la implementación de este modelo de gestión a otros componentes que presentan una alta frecuencia de ingreso. Esta proyección estratégica incorpora la réplica del modelo de Stock Crítico para asegurar la existencia de repuestos y subconjuntos disponibles para instalación inmediata en los activos de mayor rotación. La adopción de este enfoque integral tiene como objetivo descongestionar las áreas operativas del taller, liberando capacidad productiva de manera transversal en las distintas estaciones de trabajo. De este modo, se busca que la eficiencia en los tiempos de respuesta deje de ser un caso de éxito aislado y se consolide como el nuevo estándar operativo de la organización.

6.3.5.3. Control y Estandarización - Dashboard

La implementación, el control y la estandarización del Dashboard de Gestión Visual se definen como una responsabilidad sinérgica entre los departamentos de Planificación y Producción, en articulación con el área de Informática. La operatividad de esta herramienta depende de la integración precisa de dos flujos de trabajo complementarios,

orientados a asegurar la calidad de los datos y la confiabilidad del sistema de visualización.

En primera instancia, el Departamento de Planificación asume la responsabilidad de asegurar la calidad de los datos de entrada. Esto implica la revisión de la imputación de los marcajes en el sistema Kronos, garantizando que las variables críticas se registren en tiempo real y con total fidelidad por parte del personal técnico. Paralelamente, el Departamento de Informática tiene la labor de desarrollar y mantener la arquitectura lógica que vincula estos registros operativos con los Tiempos Estándar (SJ) definidos para cada actividad. Esta integración de bases de datos es la que permite transformar los marcajes aislados en indicadores de eficiencia comparativa.

Respecto de su despliegue, la visualización se realizará mediante una estrategia dual: la instalación de pantallas dentro del taller, orientadas a que técnicos y mecánicos obtengan retroalimentación inmediata sobre su rendimiento, y la habilitación de un enlace corporativo destinado a la supervisión y gestión. En este contexto, se establece explícitamente que el control físico y la ejecución técnica de la infraestructura de hardware necesaria para el funcionamiento del Dashboard permanecerán bajo la responsabilidad operativa del Departamento de Informática. Esta configuración asegura un monitoreo continuo del proceso, facilitando la detección temprana de desviaciones y habilitando la toma de decisiones correctivas con una latencia mínima.

6.3.5.4. Control y Estandarización - Resultados

La incorporación de este cuarto pilar de control responde directamente a la validación corporativa obtenida tras el análisis de capacidad realizado al proceso de reparación de mandos finales post-implementación. Dado que los resultados alcanzados lograron satisfacer las expectativas de desempeño y calidad establecidas por la Alta Dirección, se ha determinado institucionalizar el análisis estadístico como una práctica permanente y transversal dentro de la organización.

Con el objetivo de mantener una vigilancia estricta sobre la estabilidad operacional, se establece la ejecución de análisis de capacidad con una periodicidad mensual. Este procedimiento no se limitará exclusivamente a los mandos finales, sino que se extenderá progresivamente a la totalidad de los componentes reparados en el taller.

La finalidad es generar *Informes de Estado de Procesos* que proporcionen a la Gerencia de Operaciones y a la Gerencia General datos concretos y cuantitativos sobre el comportamiento real de las líneas productivas.

Dichos informes deberán consolidar y resguardar históricamente las métricas fundamentales para la toma de decisiones estratégicas, permitiendo la realización de análisis longitudinales de tendencia (mensuales o semestrales), según lo requiera la demanda gerencial. Los indicadores obligatorios a monitorear en este cuadro de mando incluyen:

- Tendencia Central y Dispersión: Media (μ) y Desviación Estándar (σ).
- Índices de Desempeño y Capacidad: C_{pk} y P_{pk}.

- Nivel de Calidad del Proceso: Nivel Sigma (Z).

Esta estandarización métrica garantiza que la organización transite desde una gestión basada en la percepción hacia una administración fundamentada en la evidencia estadística.

Más allá del control de calidad, estas métricas estadísticas constituirán un insumo crítico para la toma de decisiones en los departamentos de Abastecimiento, Planificación y Producción. Al disponer de indicadores de variabilidad y capacidad del proceso actualizados (C_{pk}, P_{pk}), la organización podrá evolucionar desde un modelo de gestión reactivo hacia uno gobernado por la programación anticipada. Para el área de Abastecimiento, esto se traduce en la capacidad de proyectar la compra de insumos sobre la base de tendencias reales de consumo y no únicamente en función de contingencias, optimizando la gestión de inventarios. Simultáneamente, los departamentos de Planificación y Producción podrán utilizar la desviación estándar del proceso para afinar los programas de reparación, generando una secuenciación de la carga de trabajo con tiempos estimados de alta precisión. De esta manera, se reduce la incertidumbre en los compromisos de entrega y se maximiza el aprovechamiento de los recursos disponibles en el taller.

En términos de gobernanza, la responsabilidad operativa y analítica de esta labor recaerá exclusivamente en el Departamento de Control de Gestión y Procesos, el cual asume el rol de ente auditor, siendo el encargado de liderar el levantamiento sistemático de la información en terreno y el posterior procesamiento estadístico de los datos.

6.4. Evaluación

Esta fase final tiene como propósito contrastar los resultados obtenidos tras la implementación de las mejoras con los objetivos planteados inicialmente. A través de este proceso de cierre, se valida la efectividad de las soluciones técnicas y de gestión aplicadas, se documentan las experiencias adquiridas por el equipo de trabajo y se establece un protocolo de comunicación orientado a socializar los logros alcanzados y las oportunidades de mejora remanentes ante la Alta Dirección.

6.4.1. Análisis Cumplimiento de Objetivos

Para validar la efectividad de la intervención, resulta imperativo contrastar los resultados estadísticos finales frente a las metas estratégicas definidas en la etapa de planificación. Según lo formalizado en el Project Charter (véase **Figura 26**), la optimización del proceso de reparación de mandos finales se estructuró sobre la base de tres objetivos cuantitativos críticos: en primer lugar, revertir la incapacidad del sistema elevando el índice de desempeño (P_{pk}) desde su valor inicial de -0,02 hasta un estándar de competencia superior a 1,0; en segundo lugar, reducir la media de retraso (μ) desde las 31,21 horas basales hasta un umbral operativo inferior a 15 horas; y, finalmente, mitigar la volatilidad del taller disminuyendo la desviación estándar global (σ_{LT}) en al menos un 25 %, asegurando así una operación más predecible y controlada.

Tabla 24: Cuadro Comparativo - Cumplimiento de Objetivos Planteados

Fuente: Elaboración Propia

Objetivo del Proyecto	Valor Inicial	Valor Final	ΔValor	Variación %	Conformidad
Incrementar el índice de desempeño del proceso (P_{pk}) desde su valor inicial de -0,02 hasta un valor superior a 1,0.	-0,02	0,12	+0,14	+700 %	No Cumple
Reducir el retraso promedio del proceso (μ) desde +31,21 horas hasta un valor inferior a +15 horas.	+31,21 Hrs	+8,98 Hrs	-22,23 Hrs	-71,2 %	Cumple
Disminuir la desviación estándar del proceso (σ) en al menos un 25 %.	71,97 Hrs	48,74 Hrs	-21,43 Hrs	-30,5 %	Cumple
Generar que Nivel Sigma LT ≥2.	0,88	1,28	+0,4	+45,5 %	No Cumple

Al examinar los datos presentados en la tabla comparativa, se evidencia un desempeño heterogéneo en los indicadores clave. Por una parte, se observan resultados que no solo alcanzaron, sino que superaron con holgura las metas proyectadas, validando la efectividad operativa de las mejoras implementadas. En contraste, existen variables que, pese a registrar una evolución positiva significativa respecto de su línea base, no lograron cerrar la brecha necesaria para satisfacer plenamente las expectativas corporativas definidas en los objetivos iniciales.

6.4.1.1. Análisis Cumplimiento de Objetivos - Índice de Desempeño (P_{pk})

Respecto al Índice de Desempeño (P_{pk}), el objetivo post-implementación se fijó en 1,0 valor que, de acuerdo con el **Anexo B.2**, califica al proceso dentro de un nivel adecuado para la industria. Si bien el resultado obtenido de 0,123 no satisface plenamente la expectativa corporativa, representa un quiebre estructural significativo frente a los valores negativos del diagnóstico inicial (-0,02), los cuales evidenciaban una inestabilidad severa del sistema. Esta mejora confirma que el proceso ha dejado de generar retrasos sistemáticos, no obstante, la amplitud de la dispersión aún limita el acceso a estándares de clase mundial.

No obstante, el hallazgo más relevante surge al contrastar este desempeño con el Índice de Capacidad Potencial (C_{pk}), el cual alcanzó un valor de 0,137. A diferencia de la situación histórica, se observa una convergencia prácticamente total entre el potencial técnico (C_{pk}) y la realidad operativa (P_{pk}). Esta diferencia mínima (aproximadamente de 0,014 puntos) evidencia que el sistema ha alcanzado una condición de control estadístico sustancial, en la cual la organización está extrayendo prácticamente el máximo rendimiento posible del método de trabajo actual. En consecuencia, se concluye que la ineficiencia remanente no obedece a falta de disciplina ni a errores operacionales asociados a causas especiales, sino a la variabilidad natural del proceso (causas comunes), la cual solo podrá reducirse mediante nuevas mejoras de carácter tecnológico en el método de reparación y no exclusivamente a través de acciones de gestión administrativa.

6.4.1.2. Análisis Cumplimiento de Objetivos - Media (μ)

El análisis del comportamiento de la media del proceso (μ) evidencia el impacto más significativo de la intervención técnica. El escenario base presentaba un retraso promedio de 31,21 horas por sobre el estándar, lo que en términos operativos equivalía a una demora estructural de cuatro jornadas laborales completas. Este indicador constituía el punto más crítico para las aspiraciones organizacionales, afectando directamente la planificación y el cumplimiento de las metas de producción establecidas.

El objetivo del proyecto planteaba una meta exigente, reducir este valor a un umbral inferior a 15 horas, lo que implicaba disminuir la demora en aproximadamente un 50 %. No obstante, la implementación de las mejoras permitió superar con holgura dicha expectativa, alcanzando un retraso promedio final de solo 8,98 horas. Este resultado constituye una reducción del 71,2 % respecto de la línea base, cifra que excede de manera significativa las proyecciones iniciales. En términos prácticos, el taller logró transitar desde un retraso crónico de cuatro días hacia una desviación de apenas una jornada laboral. Esta optimización no solo agiliza la entrega del mando final, sino que además descongestiona el flujo de trabajo global, habilitando una planificación más eficiente para el conjunto de las actividades del taller.

6.4.1.3. Análisis Cumplimiento de Objetivos - Variabilidad (σ)

En lo que respecta a la dispersión de los datos, el objetivo del proyecto se centró en disminuir la desviación estándar de largo plazo (σ_{LT}) en al menos un 25 %, con el fin de mitigar la volatilidad histórica de los tiempos de reparación. Los resultados obtenidos superan la meta establecida, validando la eficacia de los controles implementados al registrar una reducción efectiva del **32,3 %**, descendiendo desde una línea base de 71,97 horas hasta un valor final de de 48,74 horas.

Este indicador resulta fundamental para la gestión de operaciones, dado que una menor desviación estándar es sinónimo de mayor previsibilidad. Al estrechar la curva de distribución de los tiempos, el taller gana confiabilidad en su programación, permitiendo que las estimaciones de entrega se formulen con mayor precisión y reduciendo la incertidumbre asociada a la disponibilidad del activo reparado.

Un hallazgo técnico relevante emerge al incorporar el cálculo de la desviación estándar de corto plazo (σ_{ST}), cuyo valor final se situó en **43,76 horas**. Al contrastar este indicador, que representa la variabilidad inherente del proceso, con la desviación global (σ_{LT} de 48,74 horas), se observa una convergencia estructural entre ambas métricas. La diferencia entre el comportamiento real y el ideal se ha reducido a menos de 5 horas, lo que indica que el proceso ha alcanzado un estado de estabilidad estadística robusto. El hecho de que la desviación global (σ_{LT}) haya disminuido más aceleradamente que la inherente confirma que las causas especiales de variación, tales como desorden operativo, falta de criterios y perturbaciones externas, han sido depuradas. En consecuencia, se concluye que la dispersión remanente corresponde casi exclusivamente a causas comunes, propias de la variabilidad natural del sistema bajo el estándar tecnológico vigente.

6.4.1.4. Análisis Cumplimiento de Objetivos - Nivel Sigma

Finalmente, el estudio culmina con el análisis del indicador más integral de la metodología: el Nivel Sigma del proceso. En el diagnóstico inicial, se registró un desempeño real de largo plazo (Z_{LT}) equivalente a 0,88σ y un Potencial de corto plazo (Z_{ST}) de 1,04σ. de acuerdo con la escala de madurez presentada en el **Anexo B.4**, estos valores clasificaban la reparación de mandos finales como un proceso de carácter caótico, caracterizado por resultados impredecibles y una alta dependencia de la corrección reactiva de errores. El objetivo estratégico definido para este indicador consistía en alcanzar un Nivel Sigma Real igual o superior a 2,0 ($\sigma \geq 2$). Si bien este umbral aún se considera bajo en comparación con estándares aceptables de la industria (>3 Sigma), representaba un salto de calidad ambicioso respecto de la línea base.

Tras la implementación de las mejoras, el Nivel Sigma Real alcanzó un valor de 1,28σ. Aunque este resultado no logró satisfacer plenamente la expectativa corporativa de 2,0σ, el avance cualitativo es significativo. El sistema consiguió superar la barrera crítica de 1,0σ, lo que implica que el proceso abandonó el estado de caos absoluto para ingresar en una fase de estabilidad incipiente. Esta evolución se ve respaldada por el comportamiento del Nivel Sigma Potencial de corto plazo (Z_{ST}), el cual se situó en **1,39**σ. El incremento de 0,35 puntos en la capacidad de diseño confirma que, aun cuando la meta cuantitativa no fue alcanzada en su totalidad, la intervención logró dotar al proceso de una estructura lógica y controlada que no existía anteriormente. En consecuencia, se establecen las bases obligatorias para que, en una segunda etapa de maduración, el sistema pueda aspirar de manera realista a los niveles de competencia definidos como objetivo.

6.4.2. Evaluación del Proyecto

El balance final del estudio permite concluir que, si bien el cumplimiento de las metas cuantitativas fue parcial en lo referente al Nivel Sigma, la intervención generó una transformación estructural positiva en la totalidad de los indicadores de control. La reducción de la media de retraso en más de un 70 %, acompañada por una disminución significativa de la variabilidad, permitió cerrar la brecha existente en la meta de predictibilidad, transitando desde un proceso significativamente inestable hacia un estado operativo más robusto y controlado.

Desde la perspectiva organizacional, la validación del proyecto ha sido satisfactoria. La gerencia ha valorado no solo la mejora en los tiempos de respuesta, sino fundamentalmente el levantamiento de la arquitectura de información. La implementación de métricas de desempeño, dashboards de control y sistemas de monitoreo de datos ha significado un avance cualitativo en la madurez de gestión del taller. La capacidad de visualizar, medir y gestionar la operación en tiempo real ha marcado un punto de inflexión en la gestión administrativa de la empresa.

Es imperativo destacar un hallazgo cualitativo crítico surgido durante la etapa de control, la persistencia de ciertos valores altos en los tiempos de reparación (t_1) no responde a deficiencias en la calidad del armado, ni a fallas en los componentes in-

tervenidos, factores que fueron eficazmente subsanados mediante la estandarización técnica. El análisis de causalidad confirmó que los retrasos residuales se explican predominantemente en términos de tiempos de espera, asociados a la indisponibilidad inmediata de repuestos o a la llegada tardía de estos a las instalaciones. Esta evidencia permitió concluir que el cuello de botella del sistema se ha desplazado desde la ejecución mecánica hacia la cadena de suministro.

En este contexto, los resultados actuales se consideran el cimiento necesario para la siguiente fase estratégica, la implementación de la Matriz de Estrategia de Reparación y del Stock Crítico. Existe una alta expectativa corporativa respecto de este hito, dado que la identificación de la causa raíz dominante permitirá proyectar que la integración de estas estrategias, sumada a la replicación del modelo de mejora en el resto de los componentes, genere una reducción adicional de la dispersión remanente, consolidando definitivamente la estabilidad del sistema y maximizando el retorno de la inversión para la organización.

6.4.3. Lecciones Aprendidas y Sugerencias

La ejecución del presente proyecto de optimización constituyó una instancia de aprendizaje que trasciende la mera aplicación de herramientas estadísticas. Más allá de la mejora cuantitativa en los indicadores de desempeño, el desarrollo de la investigación permitió develar dinámicas organizacionales críticas que condicionan el éxito de cualquier iniciativa de ingeniería aplicada.

El primer hallazgo fundamental radica en la relación vinculante entre la calidad del dato y la capacidad de gestión. Durante la etapa diagnóstica, se evidenció que la precariedad de los registros históricos, mayoritariamente manuales y desestructurados, actuaba como una barrera de entrada para la implementación de metodologías avanzadas. La experiencia confirmó que la digitalización y la integridad en la captura de información deben considerarse prerrequisitos estructurales; intentar aplicar modelos de excelencia operacional, como Six Sigma, sobre una base de datos deficiente, incrementa la incertidumbre y diluye el potencial analítico del proceso.

Asimismo, el estudio ratifica que la variabilidad del proceso (σ) no constituye un fenómeno exclusivamente técnico, sino que posee una dimensión profundamente organizacional y cultural. Si bien se diseñaron herramientas de ingeniería robustas, como las Matrices de Riesgo de Calidad (MRC), su efectividad dependió en gran medida de la disciplina operativa del equipo humano. Este resultado subraya que la estandarización técnica, por sí sola, resulta insuficiente si no es acompañada por una gestión del cambio efectiva: la reducción sostenible de la dispersión solo es posible cuando el operador internaliza que el registro riguroso y el apego al procedimiento forman parte intrínseca de su labor técnica, y no una carga administrativa adicional.

Como recomendación estratégica final, se propone el levantamiento de un *Estándar de Tiempo Ajustado* específico para la organización. A diferencia de las pautas del fabricante (OEM), que basan sus tiempos en un modelo de reemplazo directo de partes, la operación de CSI incorpora la recuperación metalmecánica de piezas. Actualmente,

el tiempo asociado al mecanizado y la posterior liberación por Control de Calidad constituye una variable no parametrizada en el estándar vigente. La formalización de estos tiempos permitirá obtener una línea base de eficiencia (HH) realista y coherente con el modelo de negocio integral de la empresa.

7. Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo de título permitió abordar de manera estructurada y fundamentada la problemática asociada a los elevados tiempos de reparación de componentes críticos en la empresa Sociedad Comercial San Ignacio Ltda., mediante la aplicación integrada de herramientas de análisis de procesos, gestión de la calidad y mejora continua dentro del Centro de Reparación de Componentes. Desde una perspectiva metodológica, el estudio se construyó bajo un enfoque progresivo de toma de decisiones, donde cada nivel de análisis delimitó con mayor precisión el foco técnico del problema, evitando intervenciones genéricas y priorizando aquellas con mayor impacto operacional.

En una primera etapa, se realizó un análisis global de los componentes reparados en la organización, considerando criterios de recurrencia histórica e impacto económico, medido principalmente a través del consumo de horas-hombre. Este análisis permitió establecer que los componentes pertenecientes al tren de fuerza representan una prioridad estratégica para la organización, concentrando una proporción significativa de las intervenciones de reparación y del esfuerzo productivo del taller, en comparación con otras familias de componentes.

Posteriormente, con el objetivo de acotar el alcance del análisis de capacidad y desempeño, se aplicó un análisis de tipo Pareto sobre la recurrencia de reparación de componentes del tren de fuerza, segmentado por familias de equipos. Como resultado, se determinó que los equipos CAEX, cargadores frontales y bulldozers concentran la mayor cantidad de intervenciones asociadas a este tipo de componentes, razón por la cual estas familias fueron seleccionadas como base para el análisis detallado de capacidad del proceso. Esta decisión permitió focalizar el estudio en los flujos productivos más representativos y críticos desde el punto de vista operativo.

A continuación, se desarrolló un análisis de capacidad y desempeño del proceso aplicado a los principales componentes del tren de fuerza pertenecientes a las familias de equipos seleccionadas. A partir de los resultados obtenidos, y en conjunto con la Gerencia General, se concluyó que los mandos finales constituyen el componente crítico del proceso de reparación. Esta definición se sustentó en dos factores clave: por una parte, los mandos finales presentaron indicadores de capacidad y desempeño deficientes, similares a los observados en transmisiones; por otra, su recurrencia histórica resultó significativamente mayor, alcanzando casi el doble de frecuencia de ingreso respecto de otros componentes equivalentes, lo que amplifica su impacto global sobre los plazos de entrega y la utilización de recursos.

Una vez identificado el mando final como componente crítico, el análisis se profundizó a nivel de sus distintas etapas de reparación: desarme, armado, pintura y pruebas. El análisis de capacidad desagregado evidenció que la etapa de armado constituye el principal cuello de botella del proceso, concentrando los mayores niveles de variabilidad, descentramiento y tasas de incumplimiento respecto a los tiempos estándar. En consecuencia, esta etapa fue definida como el foco prioritario para la implementación

de acciones de mejora, sin perjuicio de las ineficiencias detectadas en las demás fases del proceso.

Durante la fase de análisis, la aplicación integrada del Diagrama de Ishikawa, el Análisis de Modo y Efectos de Falla en Procesos (PFMEA) y la metodología de los 5 Porqués permitió identificar y jerarquizar las principales causas que explican los retrasos del proceso. Los resultados evidenciaron que un número reducido de causas concentraba los mayores niveles de criticidad, destacándose la ausencia de protocolos formales de control de calidad, la inexistencia de puntos de verificación en hitos críticos del proceso, la falta de sistemas de monitoreo y gestión visual, y deficiencias en la planificación del abastecimiento de repuestos.

En la fase de mejora, las acciones implementadas se focalizaron en un subconjunto específico de equipos, seleccionados a partir de un análisis combinado de recurrencia histórica y flujo actual de ingreso de mandos finales a la organización. Este análisis permitió identificar que los equipos 994F, 994K, 980H, 793F, 789C y D10T son los modelos que concentran la mayor cantidad de reparaciones de mandos finales, justificando su selección como base para la implementación y evaluación de las mejoras propuestas. Esta decisión permitió maximizar el impacto de las acciones correctivas sobre el desempeño global del proceso.

Las principales mejoras implementadas se sustentaron en la formalización de Matrices de Riesgo de Calidad (MRC), orientadas a estandarizar los criterios de inspección, control y verificación en los hitos críticos del proceso de reparación. Adicionalmente, se desarrolló e implementó un sistema de gestión visual mediante un dashboard operativo, que permite monitorear en tiempo real el avance de cada orden de trabajo, el tiempo efectivo consumido y su comparación con el estándar definido, fortaleciendo la capacidad de detección temprana de desviaciones y mejorando la toma de decisiones a nivel operativo y de supervisión.

Ademas, cabe destacar que la implementación de un stock crítico de repuestos, identificada como una acción potencial de alto impacto, se encuentra actualmente en etapa de evaluación por parte de la organización, debido a la elevada inversión inicial que implica. No obstante, los resultados obtenidos a partir de las mejoras efectivamente implementadas demuestran que es posible lograr mejoras significativas en el desempeño del proceso mediante acciones de estandarización, control y gestión visual, sentando las bases para futuras iniciativas orientadas a la reducción sostenida de los tiempos de reparación y al fortalecimiento de la confiabilidad operacional del taller.

Finalmente, uno de los hallazgos más relevantes del presente estudio es que la sostenibilidad de las mejoras implementadas no depende exclusivamente de herramientas de ingeniería, indicadores o metodologías de control, sino principalmente del compromiso de las personas que participan en el proceso. La implementación de Matrices de Riesgo de Calidad, sistemas de gestión visual y mecanismos de control permitió reducir la variabilidad y mejorar el desempeño operacional; sin embargo, su permanencia en el tiempo estará condicionada por la capacidad de la organización para fortalecer una

cultura orientada a la mejora continua, la disciplina operacional y el apego a los estándares establecidos. En este sentido, la gestión del cambio se reconoce como un factor crítico para consolidar los resultados obtenidos y asegurar la evolución continua de los procesos dentro de la organización.

7.1. Sugerencias

Si bien los resultados obtenidos en esta investigación validan la efectividad de las metodologías aplicadas, la excelencia operacional no constituye un estado final, sino un proceso dinámico y continuo. Para garantizar la sostenibilidad de las mejoras y elevar los estándares de calidad y desempeño de la organización a un nivel competitivo superior, es imperativo abordar brechas estructurales que trascienden el alcance de este proyecto piloto. En este contexto, y con el objetivo de consolidar tanto la eficiencia operativa en los procesos de reparación como la robustez en la gestión administrativa, se plantean las siguientes recomendaciones estratégicas:

- **Formalización de un Departamento de Mejora Continua:** Se sugiere la creación de una unidad o la asignación de un rol específico dedicado exclusivamente a la gestión de la innovación y la eficiencia de procesos. La implementación aislada de proyectos Six Sigma corre el riesgo de diluirse en el tiempo si no existe un responsable de mantener exclusivamente la disciplina del método, actualizar los controles y liderar nuevas mejoras en otras áreas críticas de la empresa.

- **Gestión del Cambio y Desarrollo de Cultura de Mejora Continua:** Se recomienda implementar un programa formal de gestión del cambio que acompañe la adopción de las herramientas y metodologías desarrolladas en este proyecto. Dicho programa debe considerar actividades de capacitación, comunicación interna, participación activa de los trabajadores, reconocimiento de buenas prácticas y seguimiento del cumplimiento de los nuevos estándares. La experiencia obtenida durante la ejecución del proyecto evidenció que la efectividad de las mejoras depende en gran medida del compromiso y disciplina operacional de las personas. Por ello, resulta fundamental promover una cultura organizacional donde la mejora continua sea entendida como una responsabilidad compartida por todos los niveles de la empresa, fortaleciendo así la sostenibilidad de los resultados y facilitando futuras iniciativas de optimización.

- **Implementación Transversal de Modelo SJ Organizacional:** Se recomienda encarecidamente que la organización desarrolle y valide sus propios Tiempos Estándar de Reparación, desvinculándose de las pautas genéricas del fabricante (OEM). Los tiempos del OEM asumen un escenario de disponibilidad inmediata de repuestos nuevos (reemplazo directo). Sin embargo, el modelo operativo de CSI integra un Centro Metalmecánico estratégico, donde los componentes críticos son sometidos a procesos de recuperación y remanufactura. Estos ciclos internos de reparación, sumados a sus respectivas validaciones por Control de Calidad, constituyen variables temporales significativas que hoy no están parametrizadas. Definir un estándar propio que alinee el flujo de repuestos nuevos con los tiempos reales del proceso metalmecánico es vital para una planificación de la producción realista y alcanzable.

- **Institucionalización del Análisis de Capacidad Periódico:** La medición de la capacidad del proceso (C_{pk}, P_{pk} y Nivel Sigma) no debe ser un ejercicio aislado de una tesis, sino una práctica de gestión periodica. Se propone establecer un protocolo de revisión estadística periódica que permita a la gerencia detectar desviaciones tempranas, evaluar el impacto de cambios en la mano de obra o tecnología, y tomar decisiones basadas en la evidencia cuantitativa de la estabilidad del proceso. Ademas de aplicarlo a todas las áreas del taller, teniendo control sobre el desempeño de cada uno de los procesos de reparación de la organización.

Referencias

[1] Sociedad Comercial San Ignacio ltda. (2024) *Declaraciones Estrategias*. Recuperado de: https://www.sanignacioltda.cl/nuestra-empresa

[2] Sociedad Comercial San Ignacio ltda. (2024) *Servicios*. Recuperado de: https://www.sanignacioltda.cl/servicios

[3] Sociedad Comercial San Ignacio ltda. (2025) *Bulldozer Caterpillar D11T*. Recuperado de: https://www.sanignacioltda.cl/bulldozercaterpillar-d11t

[4] Sociedad Comercial San Ignacio ltda. (2025) *Recuperación de tractor Wheel Dozer 834G aporta confiabilidad a la operación minera*. Recuperado de: https://www.sanignacioltda.cl/recuperacion-de-tractor-wheel-dozer834g-aporta-confiabilidad-a-la-operacionminera

[5] Sociedad Comercial San Ignacio ltda. (2024) *Reacondicionamiento equipos móviles de extracción KOMATSU Modelo 930-E*. Recuperado de: https://www.sanignacioltda.cl/noticia-prueba-1

[6] Womack, J. y Jones, D. (2012). *Lean Thinking*. Gestión 2000.

[7] Kaizen Institute. *Embracing Lean Thinking: A Pathway to Continuous Improvement and Excellence.* https://kaizen.com/insights/lean-thinking-continuous-improvement-excellence/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

[8] Kaizen Institute.*Comprender la mejora continua* https://kaizen.com/es/insights-es/mejora-continua-excelencia-operativa

[9] Kaizen Institute.*Definición y ventajas del Lean Management* https://kaizen.com/es/insights-es/definicion-ventajas-lean-management

[10] Kaizen Institute.*Just-in-Time (JIT): agilidad y eficiencia en la cadena de suministro* https://kaizen.com/es/insights-es/jit-eficiencia-cadena-suministro

[11] Ohno, T. (1988). *Toyota production system: Beyond large-scale production. Productivity Press.*

[12] Liker, J. K. (2004). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. McGraw-Hill.*

[13] Deming, E. (1989). *Calidad, productividad y competitividad. Una salida de la crisis.* Madrid: Diaz de Santos.

[14] Felizzola, H. & Luna, C. (2014).*Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico*. En Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, N°2 (vol. 22). (263-277).

[15] Latorre, A (2019). *Levantamiento, análisis y diseño de un plan de mejora del proceso de emisión de pólizas de seguro complementario de salud, de compañía de seguros de Vida Cámara S.A. en base a metodología Lean Six Sigma.* Memoria de Titulación, Ingeniería Civil Industrial, Universidad Técnica Federico Santa María.

[16] Kaizen Institute. *Comprender el Diagrama de Ishikawa: una herramienta clave para el análisis de la causa raíz* https://kaizen.com/es/insights-es/diagrama-ishikawa-analisis-causa-raiz

[17] Kaizen Institute. *Comprensión del FMEA: Análisis del modo de fallo para una gestión optimizada de riesgos* https://kaizen.com/es/insights-es/analisis-fmea-gestion-riesgos-eficiente

[18] Montgomery, D. C. (1996). *Introduction to Statistical Process Control (3ª ed.). Wiley.*

[19] Harry, M., & Schroeder, R. (2000). *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy.*

[20] Juran, J. M., & Gryna, F. M. (1993). *Juran's Quality Handbook. McGraw-Hill.*

8. Anexos

A. Carta Gantt del Proyecto

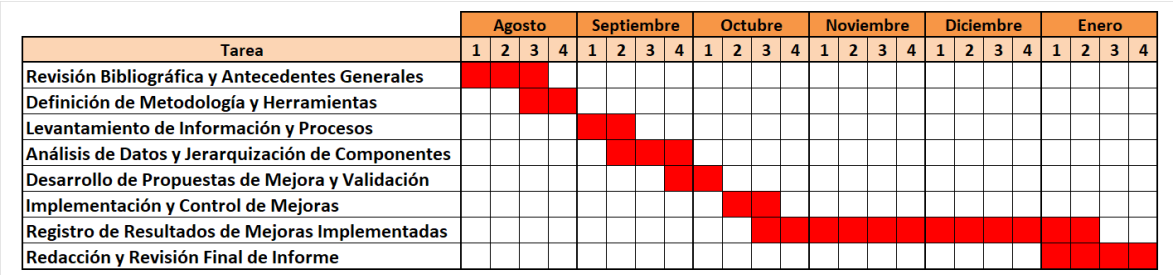

Figura A.1: Carta Gantt de Proyecto

Fuente: Elaboración Propia.

B. Constantes y Variables

Tabla B.1: Valores de la constante d_2 para la estimación de la desviación estándar [18]

n	Constante d_2	n	Constante d_2
2	1.128	14	3.407
3	1.693	15	3.472
4	2.059	16	3.532
5	2.326	17	3.588
6	2.534	18	3.640
7	2.704	19	3.689
8	2.847	20	3.735
9	2.970	21	3.778
10	3.078	22	3.819
11	3.173	23	3.858
12	3.258	24	3.895
13	3.336	25	3.931

Tabla B.2: Interpretación Valores Índices C_{pk}, P_{pk} y C_{pm} [18]

Rango	C_{pk}	P_{pk}	C_{pm}
<0	La media está fuera de especificación y la variabilidad supera ampliamente el rango permitido; el proceso es completamente incapaz.	La variación histórica muestra inestabilidad severa y desempeño inaceptable; el proceso no sigue ningún patrón controlable.	Existe una desviación extrema respecto al valor objetivo junto con una variabilidad elevada; la meta de diseño no es alcanzada.
0 a 0.49	La media se encuentra cerca de un límite y la variabilidad es excesiva; el proceso no logra cumplir consistentemente con especificaciones.	La dispersión real del proceso es amplia, evidenciando falta de control a largo plazo y riesgo elevado de no conformidades.	La distancia al valor objetivo sigue siendo considerable y la variabilidad no compensa esta desviación; la capacidad sigue siendo insuficiente.
0.5 a 0.99	El proceso muestra cierto nivel de control, pero aún opera con poca holgura respecto a los límites; el cumplimiento es marginal.	A largo plazo, el proceso mantiene fluctuaciones que generan incumplimiento frecuente si no hay ajustes continuos.	La media se aproxima al objetivo, pero aún existe una desviación significativa que afecta la conformidad con la meta de diseño.
1.0 a 1.32	El proceso cumple la mayoría de las veces, con una variabilidad que se ajusta al ancho de tolerancia estándar aceptado industrialmente.	La capacidad a largo plazo es adecuada, pero aún susceptible a variaciones externas que pueden impactar su estabilidad.	El proceso muestra adecuada alineación con el valor objetivo, con una desviación moderada y variabilidad controlada.
1.33 a 1.66	El proceso presenta baja variabilidad y opera con un margen seguro respecto a los límites; se considera robusto.	El desempeño histórico demuestra estabilidad y previsibilidad, con una tasa muy baja de no conformidades.	La media está bien alineada con el objetivo y la variabilidad mantiene el proceso dentro de los requisitos con holgura.
1.67 a 2.0	El proceso opera con variabilidad muy reducida y amplio margen de seguridad; es altamente capaz.	La variación a largo plazo es mínima, representando un proceso de excelente desempeño y muy consistente en el tiempo.	La media se encuentra fuertemente alineada con el objetivo, con una dispersión muy baja que facilita un cumplimiento casi perfecto.
>2	La capacidad supera ampliamente los estándares industriales; la variabilidad es extremadamente baja.	La estabilidad histórica del proceso es excepcional, con tasas de no conformidad prácticamente nulas.	La media coincide con el valor objetivo y la variación es mínima, logrando un nivel sobresaliente de precisión dimensional.

Tabla B.3: Tabla de Probabilidad Normal Estándar Acumulada [18]

z	**0.00**	**0.01**	**0.02**	**0.03**	**0.04**	**0.05**	**0.06**	**0.07**	**0.08**	**0.09**
0.0	0.50000	0.50399	0.50798	0.51197	0.51595	0.51994	0.52392	0.52790	0.53188	0.53586
0.1	0.53983	0.54379	0.54776	0.55172	0.55567	0.55962	0.56356	0.56749	0.57142	0.57535
0.2	0.57926	0.58317	0.58706	0.59095	0.59483	0.59871	0.60257	0.60642	0.61026	0.61409
0.3	0.61791	0.62172	0.62551	0.62930	0.63307	0.63683	0.64058	0.64431	0.64803	0.65173
0.4	0.65542	0.65910	0.66276	0.66640	0.67003	0.67364	0.67724	0.68082	0.68439	0.68793
0.5	0.69146	0.69497	0.69847	0.70194	0.70540	0.70884	0.71226	0.71566	0.71904	0.72240
0.6	0.72575	0.72907	0.73237	0.73565	0.73891	0.74215	0.74537	0.74857	0.75175	0.75490
0.7	0.75804	0.76115	0.76424	0.76730	0.77035	0.77337	0.77637	0.77935	0.78230	0.78524
0.8	0.78814	0.79103	0.79389	0.79673	0.79955	0.80234	0.80511	0.80785	0.81057	0.81327
0.9	0.81594	0.81859	0.82121	0.82381	0.82639	0.82894	0.83147	0.83398	0.83646	0.83891
1.0	0.84134	0.84375	0.84613	0.84849	0.85083	0.85314	0.85543	0.85769	0.85993	0.86214
1.1	0.86433	0.86650	0.86864	0.87076	0.87285	0.87493	0.87698	0.87900	0.88100	0.88298
1.2	0.88493	0.88686	0.88877	0.89065	0.89251	0.89435	0.89617	0.89796	0.89973	0.90147
1.3	0.90320	0.90490	0.90658	0.90824	0.90988	0.91149	0.91308	0.91466	0.91621	0.91774
1.4	0.91924	0.92073	0.92219	0.92364	0.92506	0.92647	0.92785	0.92922	0.93056	0.93189
1.5	0.93319	0.93448	0.93574	0.93699	0.93822	0.93943	0.94062	0.94179	0.94295	0.94408
1.6	0.94520	0.94630	0.94738	0.94845	0.94950	0.95053	0.95154	0.95254	0.95352	0.95449
1.7	0.95543	0.95637	0.95728	0.95818	0.95907	0.95994	0.96080	0.96164	0.96246	0.96327
1.8	0.96407	0.96485	0.96562	0.96638	0.96711	0.96784	0.96856	0.96926	0.96995	0.97062
1.9	0.97128	0.97193	0.97257	0.97320	0.97381	0.97441	0.97500	0.97558	0.97615	0.97670
2.0	0.97725	0.97778	0.97831	0.97882	0.97932	0.97982	0.98030	0.98077	0.98124	0.98169
2.1	0.98214	0.98257	0.98300	0.98341	0.98382	0.98422	0.98461	0.98500	0.98537	0.98574
2.2	0.98610	0.98645	0.98679	0.98713	0.98745	0.98778	0.98809	0.98840	0.98870	0.98899
2.3	0.98928	0.98956	0.98983	0.99010	0.99036	0.99061	0.99086	0.99111	0.99134	0.99158
2.4	0.99180	0.99202	0.99224	0.99245	0.99266	0.99286	0.99305	0.99324	0.99343	0.99361
2.5	0.99379	0.99396	0.99413	0.99430	0.99446	0.99461	0.99477	0.99492	0.99506	0.99520
2.6	0.99534	0.99547	0.99560	0.99573	0.99585	0.99598	0.99609	0.99621	0.99632	0.99643
2.7	0.99653	0.99664	0.99674	0.99683	0.99693	0.99702	0.99711	0.99720	0.99728	0.99736
2.8	0.99744	0.99752	0.99760	0.99767	0.99774	0.99781	0.99788	0.99795	0.99801	0.99807
2.9	0.99813	0.99819	0.99825	0.99831	0.99836	0.99841	0.99846	0.99851	0.99856	0.99861
3.0	0.99865	0.99869	0.99874	0.99878	0.99882	0.99886	0.99889	0.99893	0.99896	0.99900
3.1	0.99903	0.99906	0.99910	0.99913	0.99916	0.99918	0.99921	0.99924	0.99926	0.99929
3.2	0.99931	0.99934	0.99936	0.99938	0.99940	0.99942	0.99944	0.99946	0.99948	0.99950
3.3	0.99952	0.99953	0.99955	0.99957	0.99958	0.99960	0.99961	0.99962	0.99964	0.99965
3.4	0.99966	0.99968	0.99969	0.99970	0.99971	0.99972	0.99973	0.99974	0.99975	0.99976
3.5	0.99977	0.99978	0.99978	0.99979	0.99980	0.99981	0.99981	0.99982	0.99983	0.99983
3.6	0.99984	0.99985	0.99985	0.99986	0.99986	0.99987	0.99987	0.99988	0.99988	0.99989
3.7	0.99989	0.99990	0.99990	0.99990	0.99991	0.99991	0.99992	0.99992	0.99992	0.99992
3.8	0.99993	0.99993	0.99993	0.99994	0.99994	0.99994	0.99994	0.99995	0.99995	0.99995
3.9	0.99995	0.99995	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99996	0.99997	0.99997	0.99997

Tabla B.4: Interpretación de Niveles Sigma, PPM y Rendimiento del Proceso

Nivel en Sigma	PPM	Rendimiento	Estado del Proceso
6	3,40	99,9997 %	**Clase Mundial.** Proceso casi perfecto, con un control estadístico y capacidad excelentes. Es la meta de la metodología.
5	233,00	99,98 %	**Excelente.** Proceso de muy alta capacidad, muy por encima del promedio industrial.
4	6.210,00	99,3 %	**Competente.** Proceso capaz, pero con una clara oportunidad de mejora. Muchas empresas operan en este nivel.
3	66.807,00	93,3 %	**Deficiente.** Proceso incapaz y no competitivo. Genera altos costos ocultos por baja calidad (retrabajos, desperdicios, quejas).
2	308.537,00	69,15 %	**Pobre.** Proceso no controlado y disfuncional. Casi un tercio de la producción es defectuosa, requiriendo intervención urgente.
1	690.000,00	30,85 %	**Disfuncional.** La gran mayoría del resultado es un defecto. El proceso es fundamentalmente inoperante.
0	933.200,00	6,68 %	**Caótico.** Proceso sin ningún tipo de control estadístico.

C. Diagrama de Pareto

C.1. Recurrencia

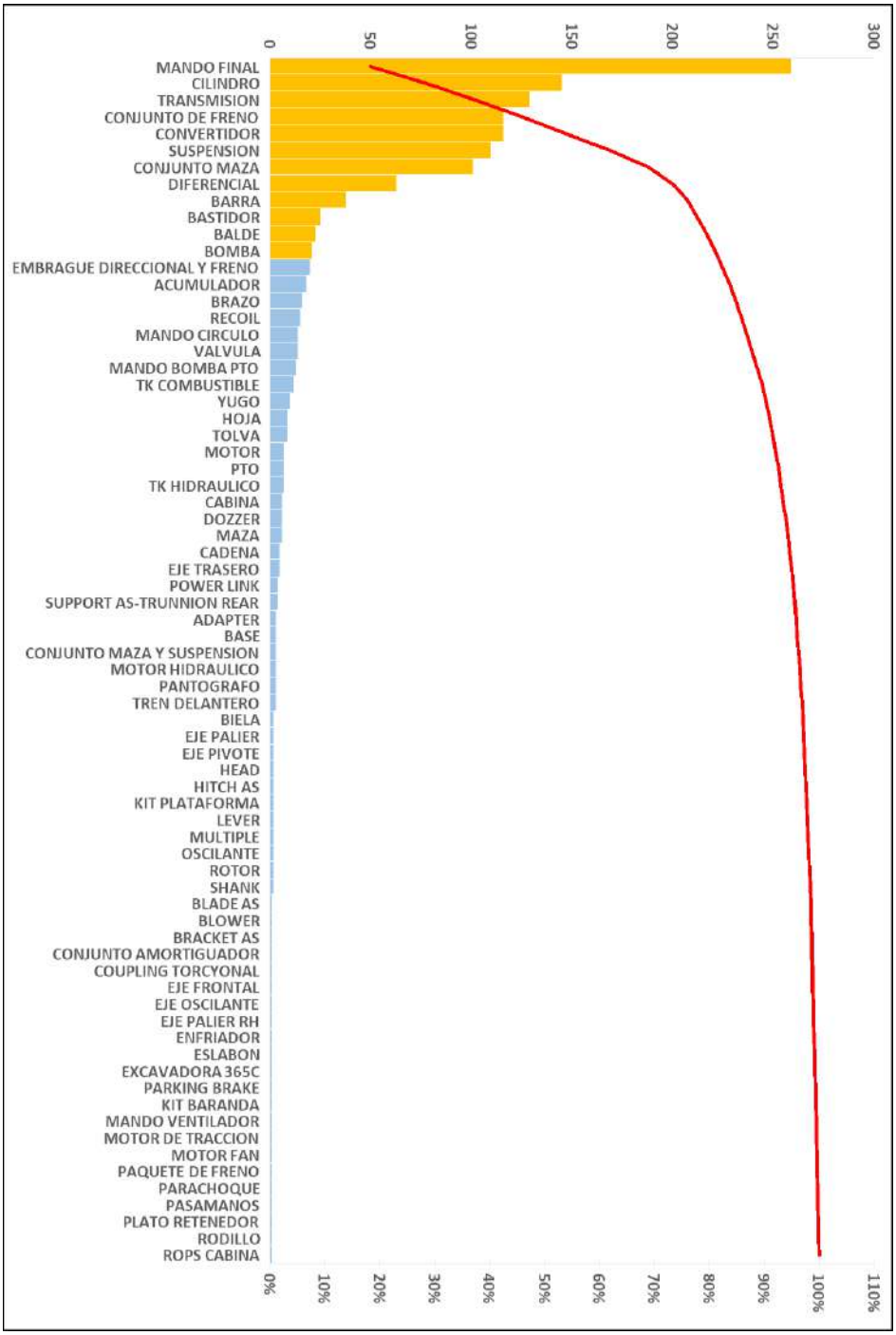

Figura C.1: Diagrama de Pareto - Recurrencia por Tipo de Componente

Fuente: Elaboración Propia

C.2. Impacto

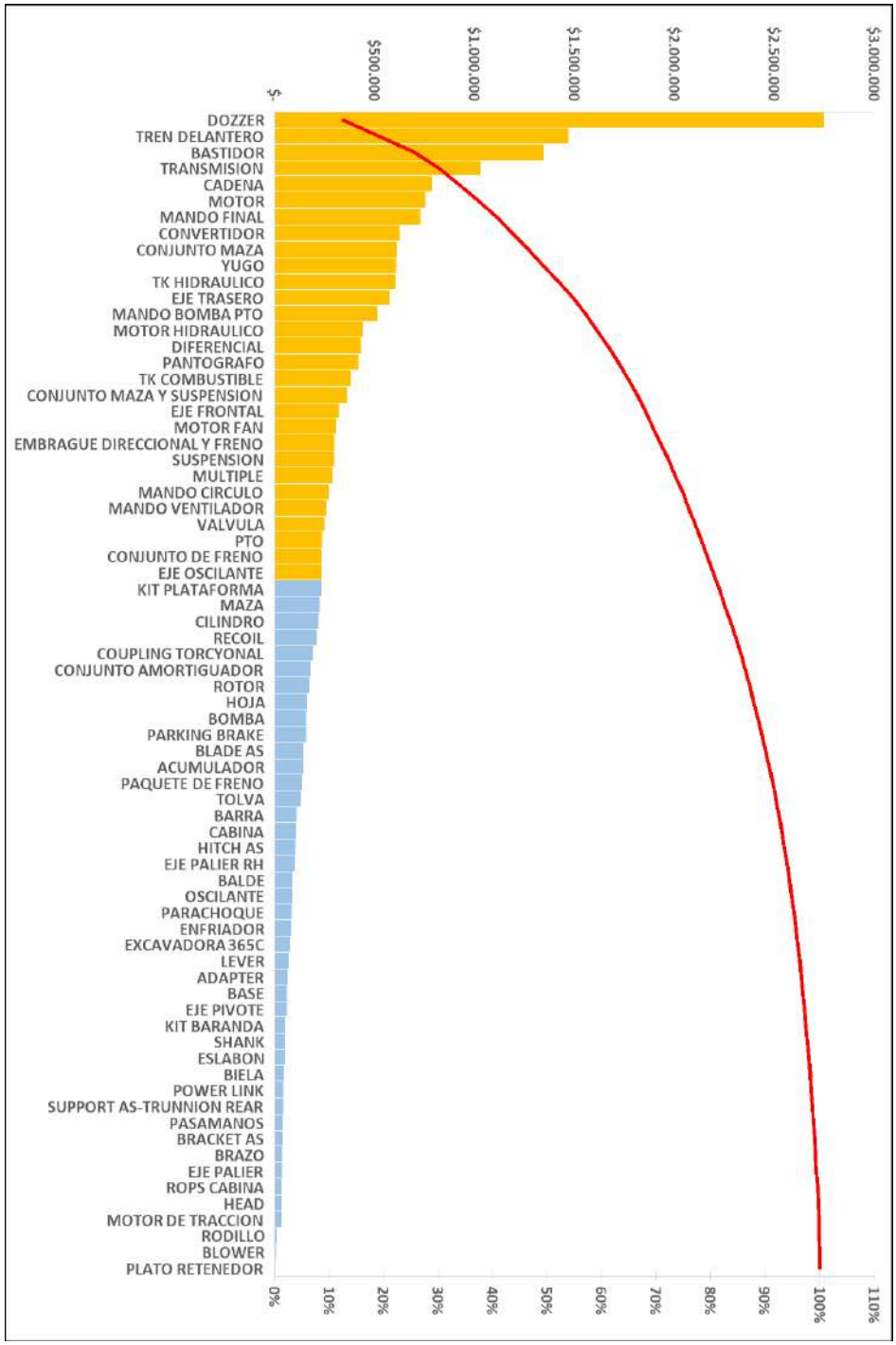

Figura C.2: Diagrama de Pareto - HH por Tipo de Componente

Fuente: Elaboración Propia

C.3. Clasificación de Componentes

Tabla C.1: Análisis de Pareto por Recurrencia y Clasificación ABC

Componente	Cantidad	%Acumulado	Calificación
MANDO FINAL	259	18,30 %	A
CILINDRO	145	28,55 %	A
TRANSMISION	129	37,67 %	A
CONJUNTO DE FRENO	116	45,87 %	A
CONVERTIDOR	116	54,06 %	A
SUSPENSION	110	61,84 %	A
CONJUNTO MAZA	101	68,98 %	A
DIFERENCIAL	63	73,43 %	A
BARRA	38	76,11 %	A
BASTIDOR	25	77,88 %	A
BALDE	23	79,51 %	A
BOMBA	21	80,99 %	A
EMBRAGUE DIRECCIONAL Y FRENO	20	82,40 %	B
ACUMULADOR	18	83,67 %	B
BRAZO	16	84,81 %	B
RECOIL	15	85,87 %	B
MANDO CIRCULO	14	86,86 %	B
VALVULA	14	87,84 %	B
MANDO BOMBA PTO	13	88,76 %	B
TK COMBUSTIBLE	12	89,61 %	B
YUGO	10	90,32 %	B
HOJA	9	90,95 %	B
TOLVA	9	91,59 %	B
MOTOR	7	92,08 %	B
PTO	7	92,58 %	B
CABINA	6	93,00 %	B
DOZZER	6	93,43 %	B
MAZA	6	93,85 %	B
TK HIDRAULICO	6	94,28 %	B
CADENA	5	94,63 %	B
EJE TRASERO	5	94,98 %	B
POWER LINK	4	95,27 %	B
SUPPORT AS-TRUNNION REAR	4	95,55 %	C
ADAPTER	3	95,76 %	C
BASE	3	95,97 %	C
CONJUNTO MAZA Y SUSPENSION	3	96,18 %	C
MOTOR HIDRAULICO	3	96,40 %	C
PANTOGRAFO	3	96,61 %	C
TREN DELANTERO	3	96,82 %	C
BIELA	2	96,96 %	C
EJE PALIER	2	97,10 %	C
EJE PIVOTE	2	97,24 %	C
HEAD	2	97,39 %	C

Continúa en la página siguiente...

Tabla C.1: (Continuación)

Componente	Cantidad	%Acum	Calificación
HITCH AS	2	97,53 %	C
KIT PLATAFORMA	2	97,67 %	C
LEVER	2	97,81 %	C
MULTIPLE	2	97,95 %	C
OSCILANTE	2	98,09 %	C
ROTOR	2	98,23 %	C
SHANK	2	98,37 %	C
BLADE AS	1	98,45 %	C
BLOWER	1	98,52 %	C
BRACKET AS	1	98,59 %	C
CONJUNTO AMORTIGUADOR	1	98,66 %	C
COUPLING TORCYONAL	1	98,73 %	C
EJE FRONTAL	1	98,80 %	C
EJE OSCILANTE	1	98,87 %	C
EJE PALIER RH	1	98,94 %	C
ENFRIADOR	1	99,01 %	C
ESLABON	1	99,08 %	C
EXCAVADORA 365C	1	99,15 %	C
PARKING BRAKE	1	99,22 %	C
KIT BARANDA	1	99,29 %	C
MANDO VENTILADOR	1	99,36 %	C
MOTOR DE TRACCION	1	99,43 %	C
MOTOR FAN	1	99,51 %	C
PAQUETE DE FRENO	1	99,58 %	C
PARACHOQUE	1	99,65 %	C
PASAMANOS	1	99,72 %	C
PLATO RETENEDOR	1	99,79 %	C
RODILLO	1	99,86 %	C
ROPS CABINA	1	99,93 %	C
TK HIDRAULICO	1	100,00 %	C

Tabla C.2: Análisis de Pareto por Impacto $ y Clasificación ABC

Componente	$ Prom	%Acum	Calificación
DOZZER	$2.752.826	12.644 %	A
TREN DELANTERO	$1.473.160	19.411 %	A
BASTIDOR	$1.350.170	25.613 %	A
TRANSMISION	$1.032.618	30.356 %	A
CADENA	$790.324	33.986 %	A
MOTOR	$755.496	37.456 %	A
MANDO FINAL	$733.955	40.828 %	A
CONVERTIDOR	$628.446	43.714 %	A
CONJUNTO MAZA	$612.884	46.529 %	A
YUGO	$609.740	49.330 %	A

Continúa en la página siguiente...

Tabla C.2: (Continuación)

Componente	$ Prom	%Acum	Calificación
EJE TRASERO	$577.855	51.984 %	A
MANDO BOMBA PTO	$517.506	54.361 %	A
MOTOR HIDRAULICO	$443.400	56.398 %	A
DIFERENCIAL	$433.484	58.389 %	A
PANTOGRAFO	$422.339	60.329 %	A
TK HIDRAULICO	$385.749	62.101 %	A
TK COMBUSTIBLE	$382.098	63.856 %	A
CONJUNTO MAZA Y SUSPENSION	$364.717	65.531 %	A
EJE FRONTAL	$324.469	67.022 %	A
MOTOR FAN	$310.380	68.447 %	A
EMBRAGUE DIRECCIONAL Y FRENO	$301.015	69.830 %	A
SUSPENSION	$300.086	71.208 %	A
MULTIPLE	$293.353	72.556 %	A
MANDO CIRCULO	$275.190	73.820 %	A
MANDO VENTILADOR	$262.323	75.025 %	A
VALVULA	$251.723	76.181 %	A
PTO	$238.801	77.278 %	A
CONJUNTO DE FRENO	$238.092	78.371 %	A
EJE OSCILANTE	$236.307	79.457 %	A
KIT PLATAFORMA	$234.967	80.536 %	A
MAZA	$231.006	81.597 %	B
CILINDRO	$221.746	82.616 %	B
TK HIDRAULICO	$219.698	83.625 %	B
RECOIL	$214.353	84.609 %	B
COUPLING TORCYONAL	$195.511	85.507 %	B
CONJUNTO AMORTIGUADOR	$184.534	86.355 %	B
ROTOR	$176.064	87.164 %	B
HOJA	$167.468	87.933 %	B
BOMBA	$161.847	88.676 %	B
PARKING BRAKE	$160.851	89.415 %	B
BLADE AS	$146.244	90.087 %	B
ACUMULADOR	$145.289	90.754 %	B
PAQUETE DE FRENO	$140.107	91.398 %	B
TOLVA	$131.560	92.002 %	B
BARRA	$114.774	92.529 %	B
CABINA	$109.222	93.031 %	B
HITCH AS	$106.183	93.519 %	B
EJE PALIER RH	$103.201	93.993 %	B
BALDE	$92.983	94.420 %	B
OSCILANTE	$90.970	94.838 %	B
PARACHOQUE	$86.433	95.235 %	B
ENFRIADOR	$85.136	95.626 %	C

Continúa en la página siguiente...

Tabla C.2: (Continuación)

Componente	$ Prom	%Acum	Calificación
EXCAVADORA 365C	$80.815	95.997 %	C
LEVER	$71.869	96.327 %	C
ADAPTER	$66.985	96.635 %	C
BASE	$65.372	96.935 %	C
EJE PIVOTE	$64.349	97.231 %	C
KIT BARANDA	$54.453	97.481 %	C
SHANK	$54.409	97.731 %	C
ESLABON	$52.033	97.970 %	C
BIELA	$51.989	98.209 %	C
POWER LINK	$48.078	98.429 %	C
SUPPORT AS-TRUNNION REAR	$46.760	98.644 %	C
PASAMANOS	$43.821	98.845 %	C
BRACKET AS	$41.488	99.036 %	C
BRAZO	$40.461	99.222 %	C
EJE PALIER	$39.975	99.405 %	C
ROPS CABINA	$36.561	99.573 %	C
HEAD	$36.259	99.740 %	C
MOTOR DE TRACCION	$33.968	99.896 %	C
RODILLO	$12.101	99.952 %	C
BLOWER	$10.113	99.998 %	C
PLATO RETENEDOR	$432	100.000 %	C

Tabla C.3: Resumen de Clasificación ABC por Componente (Cantidad y HH)

Componente	Calif. Cantidad	Calif. HH
MANDO FINAL	A	A
TRANSMISION	A	A
CONJUNTO DE FRENO	A	A
CONVERTIDOR	A	A
SUSPENSION	A	A
CONJUNTO MAZA	A	A
DIFERENCIAL	A	A
BASTIDOR	A	A
EMBRAGUE DIRECCIONAL Y FRENO	A	A
CILINDRO	A	B
BARRA	A	B
BALDE	A	B
BOMBA	A	B
MANDO CIRCULO	B	A
VALVULA	B	A
MANDO BOMBA PTO	B	A
TK COMBUSTIBLE	B	A

Continúa en la página siguiente...

Tabla C.3: (Continuación)

Componente	Calif. Cantidad	Calif. HH
YUGO	B	A
MOTOR	B	A
PTO	B	A
DOZZER	B	A
TK HIDRAULICO	B	A
CADENA	B	A
EJE TRASERO	B	A
CONJUNTO MAZA Y SUSPENSION	B	A
RECOIL	B	B
MAZA	B	B
ACUMULADOR	B	B
HOJA	B	B
TOLVA	B	B
CABINA	B	B
BRAZO	B	C
POWER LINK	B	C
SUPPORT AS-TRUNNION REAR	B	C
ADAPTER	B	C
BASE	B	C
MOTOR HIDRAULICO	C	A
PANTOGRAFO	C	A
TREN DELANTERO	C	A
KIT PLATAFORMA	C	A
MULTIPLE	C	A
EJE FRONTAL	C	A
EJE OSCILANTE	C	A
MANDO VENTILADOR	C	A
MOTOR FAN	C	A
TK HIDRAULICO	C	A
HITCH AS	C	B
OSCILANTE	C	B
ROTOR	C	B
BLADE AS	C	B
CONJUNTO AMORTIGUADOR	C	B
COUPLING TORCYONAL	C	B
EJE PALIER RH	C	B
PARKING BRAKE	C	B
PAQUETE DE FRENO	C	B
PARACHOQUE	C	B
BIELA	C	C
EJE PALIER	C	C
EJE PIVOTE	C	C

Continúa en la página siguiente...

Tabla C.3: (Continuación)

Componente	Calif. Cantidad	Calif. HH
HEAD	C	C
LEVER	C	C
SHANK	C	C
BLOWER	C	C
BRACKET AS	C	C
ENFRIADOR	C	C
ESLABON	C	C
EXCAVADORA 365C	C	C
KIT BARANDA	C	C
MOTOR DE TRACCION	C	C
PASAMANOS	C	C
PLATO RETENEDOR	C	C
RODILLO	C	C
ROPS CABINA	C	C

D. Análisis de Capacidad - Proceso Histórico Componentes

Tabla D.1: Detalle Histórico de HH por Componente y Equipo

Componente	Equipo	Arm	Des	Pint	Pru	T. Real	Arm SJ	Des SJ	Pint SJ	Pru SJ	T. SJ	ΔT
Convertidor	773F	10,52	16,09			26,61	20	15	2	9	46	-19,39
Convertidor	777D	54,61	48,33	30,18	17,77	150,89	20	15	2	9	46	104,89
Convertidor	777F	53,23	20,77	6,05	15,62	95,67	20	15	2	9	46	49,67
Convertidor	777F	0	19,98			19,98	20	15	2	9	46	-26,02
Convertidor	777G	21,13	6,17			27,3	20	15	2	9	46	-18,7
Convertidor	777G	21,56	16,95			38,51	20	15	2	9	46	-7,49
Convertidor	777G	20,7	8,65	7,71	15,87	52,93	20	15	2	9	46	6,93
Convertidor	777G	23,09	13,19	7,81	26,11	70,2	20	15	2	9	46	24,2
Convertidor	777G	24,66	28,11	4,72	12,5	69,99	20	15	2	9	46	23,99
Convertidor	777G	36,38	63,08	20,51	33,52	153,49	20	15	2	9	46	107,49
Convertidor	777G	50,74	28,32			79,06	20	15	2	9	46	33,06
Convertidor	777G	3,33	2,5	5,83		11,66	20	15	2	9	46	-34,34
Convertidor	785C	0	4,98			4,98	20	15	2	9	46	-41,02
Convertidor	785C	5,93	0			5,93	20	15	2	9	46	-40,07
Convertidor	785C	34,49	14,1	7,06	14,99	70,64	20	15	2	9	46	24,64
Convertidor	785C	56,17	1,29	2,6	2,37	62,43	20	15	2	9	46	16,43
Convertidor	785C	0,02	4,29			4,31	20	15	2	9	46	-41,69
Convertidor	785C	34,96	11,98	2,43	18,2	67,57	20	15	2	9	46	21,57
Convertidor	785C	0	29,76			29,76	20	15	2	9	46	-16,24
Convertidor	785C	37,08	111,94	26,04	21,56	196,62	20	15	2	9	46	150,62
Convertidor	785C	32,81	46,34	2,52	7,75	89,42	20	15	2	9	46	43,42
Convertidor	785C	15,78	38,09	5,77	7,15	66,79	20	15	2	9	46	20,79
Convertidor	789B	43,79	4,89	8,9	15,42	73	20	15	2	9	46	27
Convertidor	789B	45,38	46,62	9,2	25,13	126,33	20	15	2	9	46	80,33

Continúa en la página siguiente...

Tabla D.1 – Continuación

Componente	Equipo	Arm	Des	Pint	Pru	T. Real	A-SJ	D-SJ	P-SJ	P-SJ	T. SJ	ΔT
Convertidor	789B	3,23	0	3,43	10,7	17,36	20	15	2	9	46	-28,64
Convertidor	793C	20,25	31,13		1,5	52,88	20	15	2	9	46	6,88
Convertidor	793C	11,97	6,05		4,17	22,19	20	15	2	9	46	-23,81
Convertidor	793C	52,56	36,45		23,2	112,21	20	15	2	9	46	66,21
Convertidor	793C	13,63	28,02	5,35		47	20	15	2	9	46	1
Convertidor	793C	19,81	28,47	2,08		50,36	20	15	2	9	46	4,36
Convertidor	793D	27,12	43,96	5,18	5,93	82,19	20	15	2	9	46	36,19
Convertidor	793D	54,61	23,18	6,42	18,24	102,45	20	15	2	9	46	56,45
Convertidor	793D	4,55	33,39			37,94	20	15	2	9	46	-8,06
Convertidor	793D	44,86	31,02	2,15	5,51	83,54	20	15	2	9	46	37,54
Convertidor	793D	0	64,92	3,03		67,95	20	15	2	9	46	21,95
Convertidor	793D	5,77	0			5,77	20	15	2	9	46	-40,23
Convertidor	793D	56,31	24,35	2,05	39,37	122,08	20	15	2	9	46	76,08
Convertidor	793D	0	18,18	3,07		21,25	20	15	2	9	46	-24,75
Convertidor	793D	51,84	24,37	3,07	8,79	88,07	20	15	2	9	46	42,07
Convertidor	793D	1,08	7,22			8,3	20	15	2	9	46	-37,7
Convertidor	793F	49,41	14,84	2,37	14,17	80,79	20	15	2	9	46	34,79
Convertidor	793F	52,9	1,9			54,8	20	15	2	9	46	8,8
Convertidor	793F	42,48	28,75	4,38	5,57	81,18	20	15	2	9	46	35,18
Convertidor	793F	48,17	3,49		7,23	58,89	20	15	2	9	46	12,89
Convertidor	793F	42,64	11,03	8,02	2,38	64,07	20	15	2	9	46	18,07
Convertidor	793F	52,61	30,56	8,34	27,41	118,92	20	15	2	9	46	72,92
Convertidor	793F	17,77	50,39	1,73	10,3	80,19	20	15	2	9	46	34,19
Convertidor	793F	0	3,32			3,32	20	15	2	9	46	-42,68
Convertidor	793F	9,79	28,47	3,7	18,9	60,86	20	15	2	9	46	14,86
Convertidor	793F	58,61	19,88	1,6	16,27	96,36	20	15	2	9	46	50,36
Convertidor	793F	41,06	32,07		13,88	87,01	20	15	2	9	46	41,01
Convertidor	793F	52,12	92,29	2,47	14,72	161,6	20	15	2	9	46	115,6
Convertidor	793F	45,13	37,63	3,32	28,87	114,95	20	15	2	9	46	68,95
Convertidor	793F	57,5	20,81	4,77	17,84	100,92	20	15	2	9	46	54,92
Convertidor	793F	0	70,3			70,3	20	15	2	9	46	24,3
Convertidor	793F	10,26	35,69	2,22	22,13	70,3	20	15	2	9	46	24,3
Convertidor	793F	56,47	68,68	4,12	15,25	144,52	20	15	2	9	46	98,52
Convertidor	793F	0	3,33			3,33	20	15	2	9	46	-42,67
Convertidor	793F	59,62	32,98	15,34	19,43	127,37	20	15	2	9	46	81,37
Convertidor	793F	31,55	18,95	6,07	7,15	63,72	20	15	2	9	46	17,72
Convertidor	793F	21,55	0,3	0		21,85	20	15	2	9	46	-24,15
Convertidor	793F	48,61	39,33		5,95	93,89	20	15	2	9	46	47,89
Convertidor	988G	28,78	31,73	9,33	26,76	96,6	20	15	2	9	46	50,6
Convertidor	992K	45,12	38,96	6,95	3,48	94,51	20	15	2	9	46	48,51
Convertidor	992K	82,29	0	0		82,29	20	15	2	9	46	36,29
Convertidor	992K	69,15	32,15		14,33	115,63	20	15	2	9	46	69,63
Convertidor	994D	14,38	43,06	3,45	14,75	75,64	20	15	2	9	46	29,64
Convertidor	994D	43,86	22,51	12,1	19,5	97,97	20	15	2	9	46	51,97
Convertidor	994D	19,43	10,72	9,3	10,7	50,15	20	15	2	9	46	4,15
Convertidor	994D	28,56	57,29	9,88	13,59	109,32	20	15	2	9	46	63,32
Convertidor	994F	15,41	30,39		4,48	50,28	20	15	2	9	46	4,28
Convertidor	994F	32,37	29,14		11,27	72,78	20	15	2	9	46	26,78
Convertidor	994F	78,83	35,46		7,37	121,66	20	15	2	9	46	75,66
Convertidor	994F	52,27	42,35		8,92	103,54	20	15	2	9	46	57,54
Convertidor	994F	0	0		11,69	11,69	20	15	2	9	46	-34,31

Continúa en la página siguiente...

Tabla D.1 – Continuación

Componente	Equipo	Arm	Des	Pint	Pru	T. Real	A-SJ	D-SJ	P-SJ	P-SJ	T. SJ	ΔT
Convertidor	994F	46,66	24,44	5,38	40,33	116,81	20	15	2	9	46	70,81
Convertidor	994H	46,59	34,95		8,43	89,97	20	15	2	9	46	43,97
Convertidor	994H	32,91	43,26	2,18	3,37	81,72	20	15	2	9	46	35,72
Convertidor	994H	112,06	75,51	45,9	16,49	249,96	20	15	2	9	46	203,96
Convertidor	994H	0	8,22		14,68	22,9	20	15	2	9	46	-23,1
Convertidor	994H	7	36,45			43,45	20	15	2	9	46	-2,55
Convertidor	994H	6	20,73	0	29,46	56,19	20	15	2	9	46	10,19
Convertidor	994K	24,47	67,31	0	8,37	100,15	20	15	2	9	46	54,15
Convertidor	994K	54,69	39,54	8,48	16,87	119,58	20	15	2	9	46	73,58
Convertidor	994K	34,02	65,4	0	45,85	145,27	20	15	2	9	46	99,27
Convertidor	994K	7,58	3,18	7,05		17,81	20	15	2	9	46	-28,19
Convertidor	D10R	1,13	0			1,13	17	13	2	0	32	-30,87
Convertidor	D10R	31,62	29,3	5,35		66,27	17	13	2	0	32	34,27
Convertidor	D10T	0	0			0	17	13	2	0	32	-32
Convertidor	D10T	18,11	20,19	18,54		56,84	17	13	2	0	32	24,84
Convertidor	D10T	16,04	17,35			33,39	17	13	2	0	32	1,39
Convertidor	D10T	33,32	36,83	7	5,23	82,38	17	13	2	0	32	50,38
Convertidor	D10T	38,71	26,19	14,69	7,25	86,84	17	13	2	0	32	54,84
Convertidor	D10T	0	0	5,35		5,35	17	13	2	0	32	-26,65
Convertidor	D10T	0	1,83			1,83	17	13	2	0	32	-30,17
Convertidor	D10T	43,5	37,1	9,23		89,83	17	13	2	0	32	57,83
Convertidor	D10T	110,24	0			110,24	17	13	2	0	32	78,24
Convertidor	D10T	48,52	48,76	15,21		112,49	17	13	2	0	32	80,49
Convertidor	D10T	30,07	40,45	16,38		86,9	17	13	2	0	32	54,9
Convertidor	D10T	0	43,83			43,83	17	13	2	0	32	11,83
Convertidor	D11T	18,26	17,57	2,46		38,29	17	13	2	0	32	6,29
Convertidor	D11T	39,34	44,39	4,08		87,81	17	13	2	0	32	55,81
Convertidor	D11T	24,07	23,6			47,67	17	13	2	0	32	15,67
Convertidor	D9R	16,56	12,57	3,85		32,98	17	13	2	0	32	0,98
Convertidor	D10T	38,53	31,86	2,78		73,17	17	13	2	0	32	41,17
Convertidor	D11	32,52	20,81	12,13		65,46	17	13	2	0	32	33,46
Diferencial	773G	35,38	26,76			62,14	25	18	2	4	49	13,14
Diferencial	777G	0	10,55			10,55	25	18	2	4	49	-38,45
Diferencial	785C	0	12,07			12,07	25	18	2	4	49	-36,93
Diferencial	785C	0	17,29			17,29	25	18	2	4	49	-31,71
Diferencial	785C	78,83	32,2	2,67		113,7	25	18	2	4	49	64,7
Diferencial	789C	63,56	27,39	8,08		99,03	25	18	2	4	49	50,03
Diferencial	789C	50,9	25,7	5,59	7,85	90,04	25	18	2	4	49	41,04
Diferencial	789C	0	39,53			39,53	25	18	2	4	49	-9,47
Diferencial	789C	97,74	42,49	6,38		146,61	25	18	2	4	49	97,61
Diferencial	793C	1,87	0	0,75		2,62	25	18	2	4	49	-46,38
Diferencial	793D	42,01	18,33	5,72		66,06	25	18	2	4	49	17,06
Diferencial	793D	0	41,18			41,18	25	18	2	4	49	-7,82
Diferencial	793D	24,52	19,84			44,36	25	18	2	4	49	-4,64
Diferencial	793D	38,74	22,42			61,16	25	18	2	4	49	12,16
Diferencial	793D	55,33	31,11	5,3		91,74	25	18	2	4	49	42,74
Diferencial	793D	6,48	12,93			19,41	25	18	2	4	49	-29,59
Diferencial	793D	8,7	18,07			26,77	25	18	2	4	49	-22,23
Diferencial	793F	49,85	42,41			92,26	25	18	2	4	49	43,26
Diferencial	793F	40,8	20,81	2,22		63,83	25	18	2	4	49	14,83
Diferencial	793F	92,31	25,34	6,19		123,84	25	18	2	4	49	74,84

Continúa en la página siguiente...

Tabla D.1 – Continuación

Componente	Equipo	Arm	Des	Pint	Pru	T. Real	A-SJ	D-SJ	P-SJ	P-SJ	T. SJ	ΔT
Diferencial	793F	33,19	19,99			53,18	25	18	2	4	49	4,18
Diferencial	793F	71,15	33,91	11,07		116,13	25	18	2	4	49	67,13
Diferencial	793F	65,31	59,35			124,66	25	18	2	4	49	75,66
Diferencial	793F	103,77	33,46	0,8		138,03	25	18	2	4	49	89,03
Diferencial	793F	62,62	25,72			88,34	25	18	2	4	49	39,34
Diferencial	793F	45,22	20,34	9,87		75,43	25	18	2	4	49	26,43
Diferencial	793F	13,33	7,86			21,19	25	18	2	4	49	-27,81
Diferencial	797B	10,76	3,47	14,01		28,24	34	23	2	4	63	-34,76
Diferencial	980H	13,92	10,85			24,77	24	17	2	4	47	-22,23
Diferencial	994F	75,25	34,07	6,68		116	26	18	2	4	50	66
Diferencial	994F	36,53	34,96	7,27		78,76	26	18	2	4	50	28,76
Diferencial	994F	8,3	56,19			64,49	26	18	2	4	50	14,49
Diferencial	994F	0,02	44,82	5,31		50,15	26	18	2	4	50	0,15
Diferencial	994F	6,7	40,44			47,14	26	18	2	4	50	-2,86
Diferencial	994F	52,7	54,5			107,2	26	18	2	4	50	57,2
Diferencial	994F	26,44	15,35			41,79	26	18	2	4	50	-8,21
Diferencial	D11T	3,8	0			3,8	26	18	2	4	50	-46,2
Diferencial	D11T	10,65	18,06			28,71	26	18	2	4	50	-21,29
Diferencial	994K	35,5	21,71	4,1		61,31	26	18	2	4	50	11,31
Diferencial	994K	39,21	51,03	2,57		92,81	26	18	2	4	50	42,81
Mando final	773E	31,79	45,76	13,2		90,75	33,5	30	3	2	68,5	22,25
Mando final	773E	23,87	9,32	8,09	10,95	52,23	33,5	30	3	2	68,5	-16,27
Mando final	773E	23,85	56,23	6,64	5,5	92,22	33,5	30	3	2	68,5	23,72
Mando final	773F	53,6	63,12	17,2		133,92	33,5	30	3	2	68,5	65,42
Mando final	773F	0,33	44,05			44,38	33,5	30	3	2	68,5	-24,12
Mando final	773F	43,59	42,86	2,62		89,07	33,5	30	3	2	68,5	20,57
Mando final	777D	44,04	0	1,82		45,86	35,3	28	3	0	66,3	-20,44
Mando final	777D	1,6	0			1,6	35,3	28	3	0	66,3	-64,7
Mando final	777F	132,11	3,16	20,77	4,37	160,41	35,3	28	3	0	66,3	94,11
Mando final	777F	51,37	26,23	9,87		87,47	35,3	28	3	0	66,3	21,17
Mando final	777F	118,71	37,59	9,01		165,31	35,3	28	3	0	66,3	99,01
Mando final	777F	76,93	34,67	17,57		129,17	35,3	28	3	0	66,3	62,87
Mando final	777F	100,37	47,33	18,87		166,57	35,3	28	3	0	66,3	100,27
Mando final	777F	0	26,94			26,94	35,3	28	3	0	66,3	-39,36
Mando final	777G	0	28,07			28,07	35,3	28	3	0	66,3	-38,23
Mando final	777G	0	37,91			37,91	35,3	28	3	0	66,3	-28,39
Mando final	777G	33,37	33,01	13,92		80,3	35,3	28	3	0	66,3	14
Mando final	777G	0	63,17	12,03		75,2	35,3	28	3	0	66,3	8,9
Mando final	785C	82,21	0	1,12		83,33	35,3	28	3	0	66,3	17,03
Mando final	785C	76,87	41,65	0		118,52	35,3	28	3	0	66,3	52,22
Mando final	785C	189,83	44,1	1,77		235,7	35,3	28	3	0	66,3	169,4
Mando final	785C	210,77	56,17	1,57		268,51	35,3	28	3	0	66,3	202,21
Mando final	785C	0	12,7	3,92		16,62	35,3	28	3	0	66,3	-49,68
Mando final	785C	0	26,51			26,51	35,3	28	3	0	66,3	-39,79
Mando final	785C	0	54,99			54,99	35,3	28	3	0	66,3	-11,31
Mando final	789C	122,89	28,01	3,05		153,95	35,3	28	3	0	66,3	87,65
Mando final	789C	122,98	33,45	5,4		161,83	35,3	28	3	0	66,3	95,53
Mando final	789C	109,52	32,3	11,88		153,7	35,3	28	3	0	66,3	87,4
Mando final	789C	68,25	63,1	7,54	0	138,89	35,3	28	3	0	66,3	72,59
Mando final	789C	110,58	32,46	3,52	6,86	153,42	35,3	28	3	0	66,3	87,12
Mando final	789C	113,98	74,47	3,83		192,28	35,3	28	3	0	66,3	125,98

Continúa en la página siguiente...

Tabla D.1 – Continuación

Componente	Equipo	Arm	Des	Pint	Pru	T. Real	A-SJ	D-SJ	P-SJ	P-SJ	T. SJ	ΔT
Mando final	789C	128,79	83,98	14,69		227,46	35,3	28	3	0	66,3	161,16
Mando final	789C	235,43	92,8	0		328,23	35,3	28	3	0	66,3	261,93
Mando final	789C	0	0			0	35,3	28	3	0	66,3	-66,3
Mando final	789C	71,12	80,9	13,06		165,08	35,3	28	3	0	66,3	98,78
Mando final	789C	113,95	29,08	6,83		149,86	35,3	28	3	0	66,3	83,56
Mando final	789C	0	0	0		0	35,3	28	3	0	66,3	-66,3
Mando final	789C	33,34	54,67	2,78		90,79	35,3	28	3	0	66,3	24,49
Mando final	789C	109,97	12,21			122,18	35,3	28	3	0	66,3	55,88
Mando final	789C	78,17	84,68	1,52		164,37	35,3	28	3	0	66,3	98,07
Mando final	789C	58,49	89,67	1,67		149,83	35,3	28	3	0	66,3	83,53
Mando final	789C	103,96	45,2	11,38		160,54	35,3	28	3	0	66,3	94,24
Mando final	789C	156,4	47,1			203,5	35,3	28	3	0	66,3	137,2
Mando final	789C	108,7	72,2		1,88	182,78	35,3	28	3	0	66,3	116,48
Mando final	789C	0	63,77			63,77	35,3	28	3	0	66,3	-2,53
Mando final	789C	0	2,8			2,8	35,3	28	3	0	66,3	-63,5
Mando final	789C	25,07	0			25,07	35,3	28	3	0	66,3	-41,23
Mando final	789C	0	80,2			80,2	35,3	28	3	0	66,3	13,9
Mando final	789C	0	102,14			102,14	35,3	28	3	0	66,3	35,84
Mando final	793D	0	0,38			0,38	35,3	28	3	0	66,3	-65,92
Mando final	793F	19,6	0			19,6	35,3	28	3	0	66,3	-46,7
Mando final	793F	115,58	0	1,98		117,56	35,3	28	3	0	66,3	51,26
Mando final	793F	52,47	55,57	6,43		114,47	35,3	28	3	0	66,3	48,17
Mando final	793F	23,93	0,37	0		24,3	35,3	28	3	0	66,3	-42
Mando final	793F	64,78	74,49			139,27	35,3	28	3	0	66,3	72,97
Mando final	793F	69,71	61,91	2,57		134,19	35,3	28	3	0	66,3	67,89
Mando final	793F	222,91	44,74	11,12		278,77	35,3	28	3	0	66,3	212,47
Mando final	793F	130,68	65,79	4,25		200,72	35,3	28	3	0	66,3	134,42
Mando final	793F	105,41	54,67	11,44		171,52	35,3	28	3	0	66,3	105,22
Mando final	793F	7,59	0			7,59	35,3	28	3	0	66,3	-58,71
Mando final	793F	21,59	0			21,59	35,3	28	3	0	66,3	-44,71
Mando final	793F	83,1	52,8	1,53		137,43	35,3	28	3	0	66,3	71,13
Mando final	793F	107,05	73,3	9,5		189,85	35,3	28	3	0	66,3	123,55
Mando final	793F	141,62	32,46	11,61		185,69	35,3	28	3	0	66,3	119,39
Mando final	793F	77,93	63,2	3,82		144,95	35,3	28	3	0	66,3	78,65
Mando final	793F	0	41,68			41,68	35,3	28	3	0	66,3	-24,62
Mando final	793F	210,57	75,35	13,67	0,47	300,06	35,3	28	3	0	66,3	233,76
Mando final	793F	7,11	21,56			28,67	35,3	28	3	0	66,3	-37,63
Mando final	793F	133,17	73,25	8,77		215,19	35,3	28	3	0	66,3	148,89
Mando final	793F	45,8	25,37		0,18	71,35	35,3	28	3	0	66,3	5,05
Mando final	793F	192,39	44,14	9		245,53	35,3	28	3	0	66,3	179,23
Mando final	793F	0	0			0	35,3	28	3	0	66,3	-66,3
Mando final	793F	127,93	83,6	10,93		222,46	35,3	28	3	0	66,3	156,16
Mando final	793F	5,6	80,57			86,17	35,3	28	3	0	66,3	19,87
Mando final	793F	89,27	48,74	13,71		151,72	35,3	28	3	0	66,3	85,42
Mando final	793F	21,5	14,27	2,92	0,92	39,61	35,3	28	3	0	66,3	-26,69
Mando final	793F	28,67	32,24	11,4	5,47	77,78	35,3	28	3	0	66,3	11,48
Mando final	793F	15,16	42,28	1,5	5,23	64,17	35,3	28	3	0	66,3	-2,13
Mando final	793F	15,6	99,64	4,77		120,01	35,3	28	3	0	66,3	53,71
Mando final	793F	87,61	138,34	0,53		226,48	35,3	28	3	0	66,3	160,18
Mando final	793F	53,13	54,39	4,05		111,57	35,3	28	3	0	66,3	45,27
Mando final	793F	104,86	69,76	7,32		181,94	35,3	28	3	0	66,3	115,64

Continúa en la página siguiente...

Tabla D.1 – Continuación

Componente	Equipo	Arm	Des	Pint	Pru	T. Real	A-SJ	D-SJ	P-SJ	P-SJ	T. SJ	ΔT
Mando final	793F	127,56	35,96	2,76		166,28	35,3	28	3	0	66,3	99,98
Mando final	793F	80,49	95,79	3,34		179,62	35,3	28	3	0	66,3	113,32
Mando final	793F	0	54,44	10,38		64,82	35,3	28	3	0	66,3	-1,48
Mando final	793F	152,83	75,06			227,89	35,3	28	3	0	66,3	161,59
Mando final	793F	148,28	22,12	3,32	6,62	180,34	35,3	28	3	0	66,3	114,04
Mando final	793F	79,36	48,27	2,08		129,71	35,3	28	3	0	66,3	63,41
Mando final	793F	144,08	0	0		144,08	35,3	28	3	0	66,3	77,78
Mando final	793F	168,25	99,87	2,1		270,22	35,3	28	3	0	66,3	203,92
Mando final	793F	117,81	101,51	1,95		221,27	35,3	28	3	0	66,3	154,97
Mando final	793F	161,93	93,13			255,06	35,3	28	3	0	66,3	188,76
Mando final	793F	0	25,38		13,82	39,2	35,3	28	3	0	66,3	-27,1
Mando final	793F	237,59	89,12	4,12		330,83	35,3	28	3	0	66,3	264,53
Mando final	793F	105,25	69,62			174,87	35,3	28	3	0	66,3	108,57
Mando final	793F	56,79	77,17	0,33		134,29	35,3	28	3	0	66,3	67,99
Mando final	793F	183,63	54,45			238,08	35,3	28	3	0	66,3	171,78
Mando final	793F	125	91,46	0		216,46	35,3	28	3	0	66,3	150,16
Mando final	793F	60,16	10,12			70,28	35,3	28	3	0	66,3	3,98
Mando final	793F	0	74,01	0		74,01	35,3	28	3	0	66,3	7,71
Mando final	980H	10,3	7,72			18,02	17	15	2	0	34	-15,98
Mando final	980H	4,79	0			4,79	17	15	2	0	34	-29,21
Mando final	980H	0	12,87			12,87	17	15	2	0	34	-21,13
Mando final	980H	0	19,28			19,28	17	15	2	0	34	-14,72
Mando final	980H	5,73	4,42			10,15	17	15	2	0	34	-23,85
Mando final	980H	5,67	14,58			20,25	17	15	2	0	34	-13,75
Mando final	980H	40,73	8,41			49,14	17	15	2	0	34	15,14
Mando final	980H	25,99	10,61	4		40,6	17	15	2	0	34	6,6
Mando final	992G	13	0			13	17	15	2	0	34	-21
Mando final	994F	51,63	0	13,82		65,45	28,7	33	3	0	64,7	0,75
Mando final	994F	76,36	5,1	7,72		89,18	28,7	33	3	0	64,7	24,48
Mando final	994F	81,98	0	0,83		82,81	28,7	33	3	0	64,7	18,11
Mando final	994F	67,02	0	1,4		68,42	28,7	33	3	0	64,7	3,72
Mando final	994F	66,67	3,23	4		73,9	28,7	33	3	0	64,7	9,2
Mando final	994F	2,87	0			2,87	28,7	33	3	0	64,7	-61,83
Mando final	994F	126,82	0,35	23,86		151,03	28,7	33	3	0	64,7	86,33
Mando final	994F	0	17,24			17,24	28,7	33	3	0	64,7	-47,46
Mando final	994F	0	0		1,22	1,22	28,7	33	3	0	64,7	-63,48
Mando final	994F	0	38,28			38,28	28,7	33	3	0	64,7	-26,42
Mando final	994F	0	0		15,3	15,3	28,7	33	3	0	64,7	-49,4
Mando final	994F	0	0		11,02	11,02	28,7	33	3	0	64,7	-53,68
Mando final	994F	0	42,9			42,9	28,7	33	3	0	64,7	-21,8
Mando final	994F	0	0		32,27	32,27	28,7	33	3	0	64,7	-32,43
Mando final	994F	40,62	35,41	2,35	3,63	82,01	28,7	33	3	0	64,7	17,31
Mando final	994F	30,92	31,99			62,91	28,7	33	3	0	64,7	-1,79
Mando final	994F	37,76	33,26			71,02	28,7	33	3	0	64,7	6,32
Mando final	994F	76,11	26,06	3,92		106,09	28,7	33	3	0	64,7	41,39
Mando final	994F	58,26	62,12	4,97		125,35	28,7	33	3	0	64,7	60,65
Mando final	994F	0	0		18,88	18,88	28,7	33	3	0	64,7	-45,82
Mando final	994F	56,92	42,4	4,75		104,07	28,7	33	3	0	64,7	39,37
Mando final	994F	7,57	1,57		12,11	21,25	28,7	33	3	0	64,7	-43,45
Mando final	994F	44,76	20,26	8,86		73,88	28,7	33	3	0	64,7	9,18
Mando final	994F	30,08	33,39	2,85		66,32	28,7	33	3	0	64,7	1,62

Continúa en la página siguiente...

Tabla D.1 – Continuación

Componente	Equipo	Arm	Des	Pint	Pru	T. Real	A-SJ	D-SJ	P-SJ	P-SJ	T. SJ	ΔT
Mando final	994F	29,05	29,97	19,26	9,57	87,85	28,7	33	3	0	64,7	23,15
Mando final	994F	0,63	0		11,57	12,2	28,7	33	3	0	64,7	-52,5
Mando final	994F	17,25	0		30,45	47,7	28,7	33	3	0	64,7	-17
Mando final	994F	62,29	38,54	3,57		104,4	28,7	33	3	0	64,7	39,7
Mando final	994F	4,23	0		18,84	23,07	28,7	33	3	0	64,7	-41,63
Mando final	994F	53,26	96,3	1,68		151,24	28,7	33	3	0	64,7	86,54
Mando final	994F	83,49	116,94	4,7		205,13	28,7	33	3	0	64,7	140,43
Mando final	994F	134,07	33,72		16,07	183,86	28,7	33	3	0	64,7	119,16
Mando final	994F	10,06	0	2	68,37	80,43	28,7	33	3	0	64,7	15,73
Mando final	994F	60,68	26,07	2,1	11,57	100,42	28,7	33	3	0	64,7	35,72
Mando final	994F	89,59	61,97		16,5	168,06	28,7	33	3	0	64,7	103,36
Mando final	994F	45,11	34,68			79,79	28,7	33	3	0	64,7	15,09
Mando final	994F	12,02	0		6,62	18,64	28,7	33	3	0	64,7	-46,06
Mando final	994F	15,34	0		21,69	37,03	28,7	33	3	0	64,7	-27,67
Mando final	994F	1,68	0		3,12	4,8	28,7	33	3	0	64,7	-59,9
Mando final	994F	48,47	14,91		0,23	63,61	28,7	33	3	0	64,7	-1,09
Mando final	994F	0	0		11,35	11,35	28,7	33	3	0	64,7	-53,35
Mando final	994F	31,97	24,7			56,67	28,7	33	3	0	64,7	-8,03
Mando final	994F	18,03	44,54			62,57	28,7	33	3	0	64,7	-2,13
Mando final	994F	0	0		27,63	27,63	28,7	33	3	0	64,7	-37,07
Mando final	994F	72,53	24,45	0,6		97,58	28,7	33	3	0	64,7	32,88
Mando final	994F	0	0		21,22	21,22	28,7	33	3	0	64,7	-43,48
Mando final	994F	72,77	56,69	2,5		131,96	28,7	33	3	0	64,7	67,26
Mando final	994F	109,1	23,04	7,14		139,28	28,7	33	3	0	64,7	74,58
Mando final	994F	0,83	0		24,71	25,54	28,7	33	3	0	64,7	-39,16
Mando final	994F	48,7	51,11	11,47		111,28	28,7	33	3	0	64,7	46,58
Mando final	994F	0	0		28,29	28,29	28,7	33	3	0	64,7	-36,41
Mando final	994F	12,1	1,8		55,48	69,38	28,7	33	3	0	64,7	4,68
Mando final	994F	2,75	0,47	8,57		11,79	28,7	33	3	0	64,7	-52,91
Mando final	994F	12,58	0			12,58	28,7	33	3	0	64,7	-52,12
Mando final	994F	105,32	48,51	7,34	0,39	161,56	28,7	33	3	0	64,7	96,86
Mando final	994F	0	61,72			61,72	28,7	33	3	0	64,7	-2,98
Mando final	994F	112,08	76,5		7,45	196,03	28,7	33	3	0	64,7	131,33
Mando final	994F	4,12	36,57			40,69	28,7	33	3	0	64,7	-24,01
Mando final	994F	0	0		14,88	14,88	28,7	33	3	0	64,7	-49,82
Mando final	994F	39,57	28,43	1,03	2,18	71,21	28,7	33	3	0	64,7	6,51
Mando final	994F	57,92	69,08	0,9		127,9	28,7	33	3	0	64,7	63,2
Mando final	994F	0	0		16,89	16,89	28,7	33	3	0	64,7	-47,81
Mando final	994F	14,47	0	10,18	1,6	26,25	28,7	33	3	0	64,7	-38,45
Mando final	994F	0	0		5,07	5,07	28,7	33	3	0	64,7	-59,63
Mando final	994F	1,12	0		2,95	4,07	28,7	33	3	0	64,7	-60,63
Mando final	994F	0	0		23,37	23,37	28,7	33	3	0	64,7	-41,33
Mando final	994F	83,06	41,47	3,13		127,66	28,7	33	3	0	64,7	62,96
Mando final	994F	0	57,64			57,64	28,7	33	3	0	64,7	-7,06
Mando final	994F	0	1,35			1,35	28,7	33	3	0	64,7	-63,35
Mando final	994F	0	0	0,57		0,57	28,7	33	3	0	64,7	-64,13
Mando final	994F	130,97	60,82			191,79	28,7	33	3	0	64,7	127,09
Mando final	994F	108,83	2,8	17,28		128,91	28,7	33	3	0	64,7	64,21
Mando final	994F	0	60,15			60,15	28,7	33	3	0	64,7	-4,55
Mando final	994K	83,74	35,69	2,17		121,6	28,7	33	3	0	64,7	56,9
Mando final	994K	49,93	15,81			65,74	28,7	33	3	0	64,7	1,04

Continúa en la página siguiente...

Tabla D.1 – Continuación

Componente	Equipo	Arm	Des	Pint	Pru	T. Real	A-SJ	D-SJ	P-SJ	P-SJ	T. SJ	ΔT
Mando final	994K	45,23	30,8	3,7		79,73	28,7	33	3	0	64,7	15,03
Mando final	994K	86,37	30,65	3,12		120,14	28,7	33	3	0	64,7	55,44
Mando final	994K	0	28,48			28,48	28,7	33	3	0	64,7	-36,22
Mando final	994K	6,21	27,41			33,62	28,7	33	3	0	64,7	-31,08
Mando final	994K	0	22,48			22,48	28,7	33	3	0	64,7	-42,22
Mando final	994K	4,77	32,91			37,68	28,7	33	3	0	64,7	-27,02
Mando final	D10R	4,75	17,9			22,65	17	15	2	0	34	-11,35
Mando final	D10R	0	17,48			17,48	17	15	2	0	34	-16,52
Mando final	D10R	14,09	16,33			30,42	17	15	2	0	34	-3,58
Mando final	D10R	26,72	34,84	2,2		63,76	17	15	2	0	34	29,76
Mando final	D10R	12,28	0	6,6		18,88	17	15	2	0	34	-15,12
Mando final	D10R	20,76	17,83			38,59	17	15	2	0	34	4,59
Mando final	D10R	17,69	22,19	15,8		55,68	17	15	2	0	34	21,68
Mando final	D10R	28,19	23,55	2,35		54,09	17	15	2	0	34	20,09
Mando final	D10T	52,99	24,65	7,49		85,13	17	15	2	0	34	51,13
Mando final	D11N	52,74	53,6	7,47		113,81	17	15	2	0	34	79,81
Mando final	D11N	47,91	28,19	1,22		77,32	17	15	2	0	34	43,32
Mando final	D11N	48,79	61,18			109,97	17	15	2	0	34	75,97
Mando final	D11N	4,13	28,56			32,69	17	15	2	0	34	-1,31
Mando final	D6R	13,47	15,85	3,68		33	17	15	2	0	34	-1
Mando final	D9R	27,91	19,75	4,08		51,74	17	15	2	0	34	17,74
Mando final	D9R	42,5	24,54	3,12		70,16	17	15	2	0	34	36,16
Transmisión	769D	42,44	31,38	34,36	44,14	152,32	30,3	31,3	2	9,5	73,1	79,22
Transmisión	769D	21,61	54,15	37,19		112,95	30,3	31,3	2	9,5	73,1	39,85
Transmisión	769D	27,81	135,07	9,55		172,43	30,3	31,3	2	9,5	73,1	99,33
Transmisión	769D	0,05	0			0,05	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-73,05
Transmisión	773F	27	41,29	3,87	14,9	87,06	30,3	31,3	2	9,5	73,1	13,96
Transmisión	773G	43,46	47,41	12,02	27,87	130,76	30,3	31,3	2	9,5	73,1	57,66
Transmisión	773G	35,54	47,69	0,43	41,71	125,37	30,3	31,3	2	9,5	73,1	52,27
Transmisión	777D	37,52	0,4	5,23	18,64	61,79	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-11,31
Transmisión	777D	3,5	33,52	5,66	4,53	47,21	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-25,89
Transmisión	777F	33,19	28,29	22,1	15,88	99,46	30,3	31,3	2	9,5	73,1	26,36
Transmisión	777F	6,03	0		8,42	14,45	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-58,65
Transmisión	777F	44,14	44,11		43,37	131,62	30,3	31,3	2	9,5	73,1	58,52
Transmisión	777G	19,71	52,97	6,2	32,3	111,18	30,3	31,3	2	9,5	73,1	38,08
Transmisión	777G	83,92	61,37	1,43	9,28	156	30,3	31,3	2	9,5	73,1	82,9
Transmisión	777G	6	19,68	7,97	11,55	45,2	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-27,9
Transmisión	777G	58,05	65,13	20,27	26,21	169,66	30,3	31,3	2	9,5	73,1	96,56
Transmisión	777G	2,27	32,32	6,47		41,06	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-32,04
Transmisión	777G	42,01	37,13	10,99	28,9	119,03	30,3	31,3	2	9,5	73,1	45,93
Transmisión	777G	74,83	20,68	22,39	32,14	150,04	30,3	31,3	2	9,5	73,1	76,94
Transmisión	777G	46,29	43,75			90,04	30,3	31,3	2	9,5	73,1	16,94
Transmisión	777G	0	18,77	9,85		28,62	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-44,48
Transmisión	785C	44,04	3,99	20,72	18,08	86,83	30,3	31,3	2	9,5	73,1	13,73
Transmisión	785C	38,77	30,16	17,91	5,88	92,72	30,3	31,3	2	9,5	73,1	19,62
Transmisión	785C	98,34	42,69	31,44	62,49	234,96	30,3	31,3	2	9,5	73,1	161,86
Transmisión	785C	54,51	63,61	5,67	11,74	135,53	30,3	31,3	2	9,5	73,1	62,43
Transmisión	785C	4,88	0		21,24	26,12	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-46,98
Transmisión	789B	0	4,87			4,87	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-68,23
Transmisión	789C	21,08	0			21,08	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-52,02
Transmisión	789C	44,93	31,3	3,37	64,26	143,86	30,3	31,3	2	9,5	73,1	70,76

Continúa en la página siguiente...

Tabla D.1 – Continuación

Componente	Equipo	Arm	Des	Pint	Pru	T. Real	A-SJ	D-SJ	P-SJ	P-SJ	T. SJ	ΔT
Transmisión	789C	38,4	29,39	17	22,62	107,41	30,3	31,3	2	9,5	73,1	34,31
Transmisión	789C	42,31	0		16,88	59,19	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-13,91
Transmisión	789C	59,94	1,2	18,23	19,1	98,47	30,3	31,3	2	9,5	73,1	25,37
Transmisión	789C	35,75	73,5	13,2	17,18	139,63	30,3	31,3	2	9,5	73,1	66,53
Transmisión	789C	26,36	22,69	24,2	10,93	84,18	30,3	31,3	2	9,5	73,1	11,08
Transmisión	789C	16,61	14,53	28,68	15,02	74,84	30,3	31,3	2	9,5	73,1	1,74
Transmisión	789C	63,48	109,59	45,18	16,81	235,06	30,3	31,3	2	9,5	73,1	161,96
Transmisión	789C	28,23	33,9	9,07	36,34	107,54	30,3	31,3	2	9,5	73,1	34,44
Transmisión	793C	71,04	11,79	0,92	63,83	147,58	30,3	31,3	2	9,5	73,1	74,48
Transmisión	793C	49,25	40,42	12,75	22,55	124,97	30,3	31,3	2	9,5	73,1	51,87
Transmisión	793C	5,03	2,63	7,55	19,21	34,42	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-38,68
Transmisión	793C	0	79,42	15,8		95,22	30,3	31,3	2	9,5	73,1	22,12
Transmisión	793D	92,78	2,54	18,57	104	217,89	30,3	31,3	2	9,5	73,1	144,79
Transmisión	793D	32,28	7,72	25,97	20,27	86,24	30,3	31,3	2	9,5	73,1	13,14
Transmisión	793D	45,63	42,38	10,87	31,57	130,45	30,3	31,3	2	9,5	73,1	57,35
Transmisión	793D	23,33	55,89	8,7	67,16	155,08	30,3	31,3	2	9,5	73,1	81,98
Transmisión	793D	60,72	55,05	34,53	64,54	214,84	30,3	31,3	2	9,5	73,1	141,74
Transmisión	793F	0	0			0	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-73,1
Transmisión	793F	15,25	0	12,66	34,08	61,99	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-11,11
Transmisión	793F	222,47	33,37	22,64	7,53	286,01	30,3	31,3	2	9,5	73,1	212,91
Transmisión	793F	33,23	29,44	7,58	15,71	85,96	30,3	31,3	2	9,5	73,1	12,86
Transmisión	793F	19,56	29,36	9,75		58,67	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-14,43
Transmisión	793F	0	50,82	10,76		61,58	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-11,52
Transmisión	793F	17,79	17,02	7,93	26,92	69,66	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-3,44
Transmisión	793F	29,27	46,9	14,05	41,85	132,07	30,3	31,3	2	9,5	73,1	58,97
Transmisión	793F	39,09	60,16		11,98	111,23	30,3	31,3	2	9,5	73,1	38,13
Transmisión	793F	38,62	67,63	11,45	31,86	149,56	30,3	31,3	2	9,5	73,1	76,46
Transmisión	793F	18,18	40,24	0,68	23,54	82,64	30,3	31,3	2	9,5	73,1	9,54
Transmisión	793F	25,49	54,83	13,07	15,18	108,57	30,3	31,3	2	9,5	73,1	35,47
Transmisión	793F	47,07	85,97	6,21	15,68	154,93	30,3	31,3	2	9,5	73,1	81,83
Transmisión	793F	68,2	88,73	2,13		159,06	30,3	31,3	2	9,5	73,1	85,96
Transmisión	793F	92,46	52,4	18,67	73,54	237,07	30,3	31,3	2	9,5	73,1	163,97
Transmisión	793F	13,2	27,54	2,65	13	56,39	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-16,71
Transmisión	793F	68,9	58,22	0,45	18,22	145,79	30,3	31,3	2	9,5	73,1	72,69
Transmisión	793F	22,05	41,54	11,97	15,41	90,97	30,3	31,3	2	9,5	73,1	17,87
Transmisión	793F	41,35	86,8	46,11	35,48	209,74	30,3	31,3	2	9,5	73,1	136,64
Transmisión	793F	54,6	40,28		11,09	105,97	30,3	31,3	2	9,5	73,1	32,87
Transmisión	793F	30,68	46,19	3,47	15,15	95,49	30,3	31,3	2	9,5	73,1	22,39
Transmisión	793F	0,07	0	2,98		3,05	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-70,05
Transmisión	793F	74,99	19,5	16,74	26,88	138,11	30,3	31,3	2	9,5	73,1	65,01
Transmisión	793F	0,02	0			0,02	30,3	31,3	2	9,5	73,1	-73,08
Transmisión	797B	0	43,73			43,73	50	41	2	10	103	-59,27
Transmisión	980L	33,91	62,13	2,08	0	98,12	30,3	31,3	2	9,5	73,1	25,02
Transmisión	988K	0	74,92	14,2		89,12	30,3	31,3	2	9,5	73,1	16,02
Transmisión	992K	81,81	52,49		17,45	151,75	30,3	26,3	2	24	82,6	69,15
Transmisión	992K	0	66,16			66,16	30,3	26,3	2	24	82,6	-16,44
Transmisión	994D	86,37	14,9	37,11	58,17	196,55	45,3	33	2	15	95,3	101,25
Transmisión	994D	68,74	50,33	15,21	52,65	186,93	45,3	33	2	15	95,3	91,63
Transmisión	994D	74,69	48,92	29,76	9,08	162,45	45,3	33	2	15	95,3	67,15
Transmisión	994D	16,58	105,62			122,2	45,3	33	2	15	95,3	26,9
Transmisión	994D	43,87	70,71	33,5	19,4	167,48	45,3	33	2	15	95,3	72,18

Continúa en la página siguiente...

Tabla D.1 – Continuación

Componente	Equipo	Arm	Des	Pint	Pru	T. Real	A-SJ	D-SJ	P-SJ	P-SJ	T. SJ	ΔT
Transmisión	994F	223,72	20,41	22,46	13,27	279,86	45,3	33	2	15	95,3	184,56
Transmisión	994F	76,26	46,9	13,73	12,17	149,06	45,3	33	2	15	95,3	53,76
Transmisión	994F	59,01	66,15	35,86	18,06	179,08	45,3	33	2	15	95,3	83,78
Transmisión	994F	42,36	45,8	11,96	9,65	109,77	45,3	33	2	15	95,3	14,47
Transmisión	994F	46,27	38,56			84,83	45,3	33	2	15	95,3	-10,47
Transmisión	994F	111,72	132,83	33,25	43,21	321,01	45,3	33	2	15	95,3	225,71
Transmisión	994H	20,39	47,31	13,25	11,72	92,67	45,3	33	2	15	95,3	-2,63
Transmisión	994H	0	33,99	21,07		55,06	45,3	33	2	15	95,3	-40,24
Transmisión	994H	123,57	41,79	23,99	60,71	250,06	45,3	33	2	15	95,3	154,76
Transmisión	994K	45,89	57,79	19,39	12,65	135,72	45,3	33	2	15	95,3	40,42
Transmisión	D10R	0	32,29			32,29	27	16,3	2	10	55,3	-23,01
Transmisión	D10R	22,66	7,45		7,73	37,84	27	16,3	2	10	55,3	-17,46
Transmisión	D10R	20,39	27,39		16,65	64,43	27	16,3	2	10	55,3	9,13
Transmisión	D10R	66,05	17,31	12,82	37,15	133,33	27	16,3	2	10	55,3	78,03
Transmisión	D10T	4,65	0			4,65	27	16,3	2	10	55,3	-50,65
Transmisión	D10T	78,89	1,48		14,75	95,12	27	16,3	2	10	55,3	39,82
Transmisión	D10T	8,02	27,55	12,79	8,45	56,81	27	16,3	2	10	55,3	1,51
Transmisión	D10T	18,11	25,99	1,9	15,39	61,39	27	16,3	2	10	55,3	6,09
Transmisión	D10T	23,93	49,74	8,02	19,59	101,28	27	16,3	2	10	55,3	45,98
Transmisión	D10T	61,53	32,6		30,36	124,49	27	16,3	2	10	55,3	69,19
Transmisión	D10T	56,16	62,93	13,45	20,37	152,91	27	16,3	2	10	55,3	97,61
Transmisión	D10T	104,55	108,33	32,13	29,87	274,88	27	16,3	2	10	55,3	219,58
Transmisión	D10T	88,98	84,61	10,28	21,52	205,39	27	16,3	2	10	55,3	150,09
Transmisión	D10T	65,31	133,42	18,94	41,8	259,47	27	16,3	2	10	55,3	204,17
Transmisión	D10T	51,87	20,64	8,43	20,01	100,95	27	16,3	2	10	55,3	45,65
Transmisión	D10T	43,63	60,87	3,78	15,9	124,18	27	16,3	2	10	55,3	68,88
Transmisión	D11	199,89	154,79	9,58	7,94	372,2	27	16,3	2	10	55,3	316,9
Transmisión	D11R	0	8,78			8,78	27	16,3	2	10	55,3	-46,52
Transmisión	D11R	85,42	72,62	15,9	48,93	222,87	27	16,3	2	10	55,3	167,57
Transmisión	D11R	41,47	48,55		7,67	97,69	27	16,3	2	10	55,3	42,39
Transmisión	D11R	0	8,4	3,67	14,16	26,23	27	16,3	2	10	55,3	-29,07
Transmisión	D11R	0	43,42	14,8		58,22	27	16,3	2	10	55,3	2,92
Transmisión	D6T	53,75	25,25		43,47	122,47	27	16,3	2	10	55,3	67,17

D.1. Cálculo de Indicadores y Variables - Diferenciales

Tabla D.2: Análisis de Varianza de Tiempos de Reparación Diferenciales

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
13,14	-1,94	3,78	62658,38
-38,45	-53,53	2865,78	62658,38
-36,93	-52,01	2705,35	62658,38
-31,71	-46,79	2189,58	62658,38

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
64,70	49,62	2461,85	62658,38
50,03	34,95	1221,29	62658,38
41,04	25,96	673,77	62658,38
-9,47	-24,55	602,85	62658,38
97,61	82,53	6810,71	62658,38
-46,38	-61,46	3777,70	62658,38
17,06	1,98	3,91	62658,38
-7,82	-22,90	524,55	62658,38
-4,64	-19,72	389,00	62658,38
12,16	-2,92	8,54	62658,38
42,74	27,66	764,91	62658,38
-29,59	-44,67	1995,68	62658,38
-22,23	-37,31	1392,26	62658,38
43,26	28,18	793,94	62658,38
14,83	-0,25	0,06	62658,38
74,84	59,76	3570,90	62658,38
4,18	-10,90	118,88	62658,38
67,13	52,05	2708,89	62658,38
75,66	60,58	3669,57	62658,38
89,03	73,95	5468,16	62658,38
39,34	24,26	588,40	62658,38
26,43	11,35	128,75	62658,38
-27,81	-42,89	1839,81	62658,38
-34,76	-49,84	2484,32	62658,38
-22,23	-37,31	1392,26	62658,38
66,00	50,92	2592,54	62658,38
28,76	13,68	187,06	62658,38
14,49	-0,59	0,35	62658,38

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
0,15	-14,93	222,99	62658,38
-2,86	-17,94	321,95	62658,38
57,20	42,12	1773,84	62658,38
-8,21	-23,29	542,56	62658,38
-46,20	-61,28	3755,61	62658,38
-21,29	-36,37	1323,00	62658,38
11,31	-3,77	14,24	62658,38
42,81	27,73	768,79	62658,38

Tabla D.3: Análisis de Rangos Móviles - Diferenciales

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
13,14	Rm1	-38,45	13,14	51,59	1553,87
-38,45	Rm2	-38,45	-36,93	1,52	1553,87
-36,93	Rm3	-36,93	-31,71	5,22	1553,87
-31,71	Rm4	-31,71	64,70	96,41	1553,87
64,70	Rm5	50,03	64,70	14,67	1553,87
50,03	Rm6	41,04	50,03	8,99	1553,87
41,04	Rm7	-9,47	41,04	50,51	1553,87
-9,47	Rm8	-9,47	97,61	107,08	1553,87
97,61	Rm9	-46,38	97,61	143,99	1553,87
-46,38	Rm10	-46,38	17,06	63,44	1553,87
17,06	Rm11	-7,82	17,06	24,88	1553,87
-7,82	Rm12	-7,82	-4,64	3,18	1553,87
-4,64	Rm13	-4,64	12,16	16,80	1553,87
12,16	Rm14	12,16	42,74	30,58	1553,87
42,74	Rm15	-29,59	42,74	72,33	1553,87

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
-29,59	Rm16	-29,59	-22,23	7,36	1553,87
-22,23	Rm17	-22,23	43,26	65,49	1553,87
43,26	Rm18	14,83	43,26	28,43	1553,87
14,83	Rm19	14,83	74,84	60,01	1553,87
74,84	Rm20	4,18	74,84	70,66	1553,87
4,18	Rm21	4,18	67,13	62,95	1553,87
67,13	Rm22	67,13	75,66	8,53	1553,87
75,66	Rm23	75,66	89,03	13,37	1553,87
89,03	Rm24	39,34	89,03	49,69	1553,87
39,34	Rm25	26,43	39,34	12,91	1553,87
26,43	Rm26	-27,81	26,43	54,24	1553,87
-27,81	Rm27	-34,76	-27,81	6,95	1553,87
-34,76	Rm28	-34,76	-22,23	12,53	1553,87
-22,23	Rm29	-22,23	66,00	88,23	1553,87
66,00	Rm30	28,76	66,00	37,24	1553,87
28,76	Rm31	14,49	28,76	14,27	1553,87
14,49	Rm32	0,15	14,49	14,34	1553,87
0,15	Rm33	-2,86	0,15	3,01	1553,87
-2,86	Rm34	-2,86	57,20	60,06	1553,87
57,20	Rm35	-8,21	57,20	65,41	1553,87
-8,21	Rm36	-46,20	-8,21	37,99	1553,87
-46,20	Rm37	-46,20	-21,29	24,91	1553,87
-21,29	Rm38	-21,29	11,31	32,60	1553,87
11,31	Rm39	11,31	42,81	31,50	1553,87
42,81	Rm40	42,81	42,81	0,00	1553,87

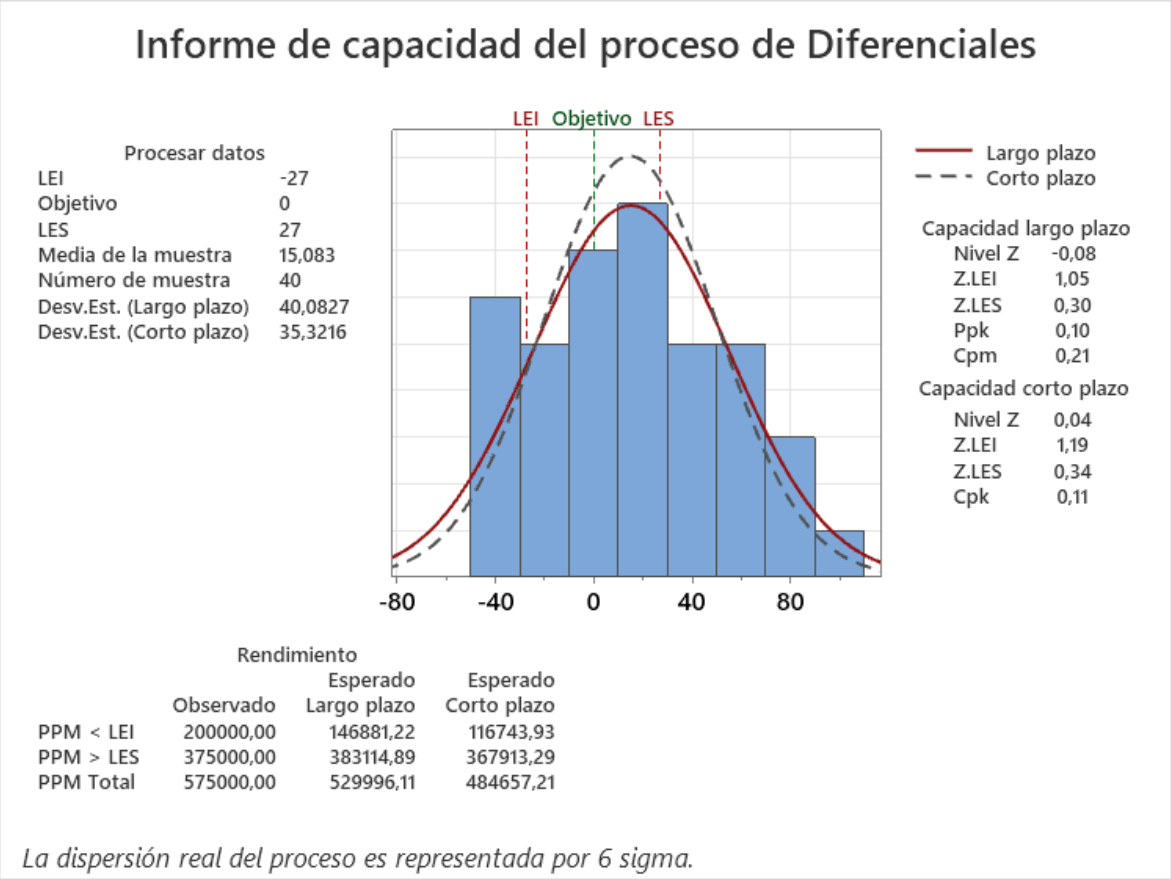

Figura D.1: Análisis de Capacidad de Proceso de Reparación de Diferenciales

Fuente: Elaboración Propia - MiniTab

D.2. Cálculo de Indicadores y Variables - Convertidores

Tabla D.4: Análisis de Varianza de Tiempos de Reparación Convertidores

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-19,39	-47,01	2209,59	206204,43
104,89	77,27	5971,24	206204,43
49,67	22,05	486,37	206204,43
-26,02	-53,64	2876,84	206204,43
-18,70	-46,32	2145,19	206204,43
-7,49	-35,11	1232,45	206204,43
6,93	-20,69	427,92	206204,43

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
24,20	-3,42	11,67	206204,43
23,99	-3,63	13,15	206204,43
107,49	79,87	6379,82	206204,43
33,06	5,44	29,63	206204,43
-34,34	-61,96	3838,57	206204,43
-41,02	-68,64	4710,93	206204,43
-40,07	-67,69	4581,43	206204,43
24,64	-2,98	8,86	206204,43
16,43	-11,19	125,13	206204,43
-41,69	-69,31	4803,35	206204,43
21,57	-6,05	36,56	206204,43
-16,24	-43,86	1923,37	206204,43
150,62	123,00	15129,93	206204,43
43,42	15,80	249,76	206204,43
20,79	-6,83	46,60	206204,43
27,00	-0,62	0,38	206204,43
80,33	52,71	2778,74	206204,43
-28,64	-56,26	3164,76	206204,43
6,88	-20,74	429,99	206204,43
-23,81	-51,43	2644,66	206204,43
66,21	38,59	1489,48	206204,43
1,00	-26,62	708,42	206204,43
4,36	-23,26	540,85	206204,43
36,19	8,57	73,51	206204,43
56,45	28,83	831,39	206204,43
-8,06	-35,68	1272,79	206204,43
37,54	9,92	98,48	206204,43
21,95	-5,67	32,11	206204,43

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-40,23	-67,85	4603,11	206204,43
76,08	48,46	2348,74	206204,43
-24,75	-52,37	2742,22	206204,43
42,07	14,45	208,91	206204,43
-37,70	-65,32	4266,21	206204,43
34,79	7,17	51,46	206204,43
8,80	-18,82	354,05	206204,43
35,18	7,56	57,21	206204,43
12,89	-14,73	216,86	206204,43
18,07	-9,55	91,13	206204,43
72,92	45,30	2052,43	206204,43
34,19	6,57	43,21	206204,43
-42,68	-70,30	4941,56	206204,43
14,86	-12,76	162,72	206204,43
50,36	22,74	517,28	206204,43
41,01	13,39	179,39	206204,43
115,60	87,98	7741,14	206204,43
68,95	41,33	1708,48	206204,43
54,92	27,30	745,50	206204,43
24,30	-3,32	11,00	206204,43
24,30	-3,32	11,00	206204,43
98,52	70,90	5027,35	206204,43
-42,67	-70,29	4940,15	206204,43
81,37	53,75	2889,47	206204,43
17,72	-9,90	97,94	206204,43
-24,15	-51,77	2679,74	206204,43
47,89	20,27	411,03	206204,43
50,60	22,98	528,25	206204,43

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
48,51	20,89	436,55	206204,43
36,29	8,67	75,23	206204,43
69,63	42,01	1765,16	206204,43
2,02	2,02	4,10	206204,43
51,97	24,35	593,11	206204,43
4,15	-23,47	550,66	206204,43
63,32	35,70	1274,76	206204,43
4,28	-23,34	544,58	206204,43
26,78	-0,84	0,70	206204,43
75,66	48,04	2308,20	206204,43
57,54	29,92	895,43	206204,43
-34,31	-61,93	3834,86	206204,43
70,81	43,19	1865,70	206204,43
43,97	16,35	267,45	206204,43
35,72	8,10	65,67	206204,43
203,96	176,34	31097,13	206204,43
-23,10	-50,72	2572,14	206204,43
-2,55	-30,17	910,00	206204,43
10,19	-17,43	303,67	206204,43
54,15	26,53	704,04	206204,43
73,58	45,96	2112,67	206204,43
99,27	71,65	5134,26	206204,43
-28,19	-55,81	3114,33	206204,43
-30,87	-58,49	3420,64	206204,43
34,27	6,65	44,27	206204,43
-32,00	-59,62	3554,09	206204,43
24,84	-2,78	7,71	206204,43
1,39	-26,23	687,81	206204,43

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
50,38	22,76	518,19	206204,43
54,84	27,22	741,13	206204,43
-26,65	-54,27	2944,82	206204,43
-30,17	-57,79	3339,25	206204,43
57,83	30,21	912,87	206204,43
78,24	50,62	2562,77	206204,43
80,49	52,87	2795,64	206204,43
54,90	27,28	744,40	206204,43
11,83	-15,79	249,20	206204,43
6,29	-21,33	454,81	206204,43
55,81	28,19	794,89	206204,43
15,67	-11,95	142,71	206204,43
0,98	-26,64	709,49	206204,43
41,17	13,55	183,70	206204,43
33,46	5,84	34,15	206204,43

Tabla D.5: Análisis de Rangos Móviles - Convertidores

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
-19,39	Rm1	-19,39	104,89	124,28	5107,81
104,89	Rm2	49,67	104,89	55,22	5107,81
49,67	Rm3	-26,02	49,67	75,69	5107,81
-26,02	Rm4	-26,02	-18,70	7,32	5107,81
-18,70	Rm5	-18,70	-7,49	11,21	5107,81
-7,49	Rm6	-7,49	6,93	14,42	5107,81
6,93	Rm7	6,93	24,20	17,27	5107,81
24,20	Rm8	23,99	24,20	0,21	5107,81

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
23,99	Rm9	23,99	107,49	83,50	5107,81
107,49	Rm10	33,06	107,49	74,43	5107,81
33,06	Rm11	-34,34	33,06	67,40	5107,81
-34,34	Rm12	-41,02	-34,34	6,68	5107,81
-41,02	Rm13	-41,02	-40,07	0,95	5107,81
-40,07	Rm14	-40,07	24,64	64,71	5107,81
24,64	Rm15	16,43	24,64	8,21	5107,81
16,43	Rm16	-41,69	16,43	58,12	5107,81
-41,69	Rm17	-41,69	21,57	63,26	5107,81
21,57	Rm18	-16,24	21,57	37,81	5107,81
-16,24	Rm19	-16,24	150,62	166,86	5107,81
150,62	Rm20	43,42	150,62	107,20	5107,81
43,42	Rm21	20,79	43,42	22,63	5107,81
20,79	Rm22	20,79	27,00	6,21	5107,81
27,00	Rm23	27,00	80,33	53,33	5107,81
80,33	Rm24	-28,64	80,33	108,97	5107,81
-28,64	Rm25	-28,64	6,88	35,52	5107,81
6,88	Rm26	-23,81	6,88	30,69	5107,81
-23,81	Rm27	-23,81	66,21	90,02	5107,81
66,21	Rm28	1,00	66,21	65,21	5107,81
1,00	Rm29	1,00	4,36	3,36	5107,81
4,36	Rm30	4,36	36,19	31,83	5107,81
36,19	Rm31	36,19	56,45	20,26	5107,81
56,45	Rm32	-8,06	56,45	64,51	5107,81
-8,06	Rm33	-8,06	37,54	45,60	5107,81
37,54	Rm34	21,95	37,54	15,59	5107,81
21,95	Rm35	-40,23	21,95	62,18	5107,81
-40,23	Rm36	-40,23	76,08	116,31	5107,81

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
76,08	Rm37	-24,75	76,08	100,83	5107,81
-24,75	Rm38	-24,75	42,07	66,82	5107,81
42,07	Rm39	-37,70	42,07	79,77	5107,81
-37,70	Rm40	-37,70	34,79	72,49	5107,81
34,79	Rm41	8,80	34,79	25,99	5107,81
8,80	Rm42	8,80	35,18	26,38	5107,81
35,18	Rm43	12,89	35,18	22,29	5107,81
12,89	Rm44	12,89	18,07	5,18	5107,81
18,07	Rm45	18,07	72,92	54,85	5107,81
72,92	Rm46	34,19	72,92	38,73	5107,81
34,19	Rm47	-42,68	34,19	76,87	5107,81
-42,68	Rm48	-42,68	14,86	57,54	5107,81
14,86	Rm49	14,86	50,36	35,50	5107,81
50,36	Rm50	41,01	50,36	9,35	5107,81
41,01	Rm51	41,01	115,60	74,59	5107,81
115,60	Rm52	68,95	115,60	46,65	5107,81
68,95	Rm53	54,92	68,95	14,03	5107,81
54,92	Rm54	24,30	54,92	30,62	5107,81
24,30	Rm55	24,30	24,30	0,00	5107,81
24,30	Rm56	24,30	98,52	74,22	5107,81
98,52	Rm57	-42,67	98,52	141,19	5107,81
-42,67	Rm58	-42,67	81,37	124,04	5107,81
81,37	Rm59	17,72	81,37	63,65	5107,81
17,72	Rm60	-24,15	17,72	41,87	5107,81
-24,15	Rm61	-24,15	47,89	72,04	5107,81
47,89	Rm62	47,89	50,60	2,71	5107,81
50,60	Rm63	48,51	50,60	2,09	5107,81
48,51	Rm64	36,29	48,51	12,22	5107,81

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
36,29	Rm65	36,29	69,63	33,34	5107,81
69,63	Rm66	29,64	69,63	39,99	5107,81
29,64	Rm67	29,64	51,97	22,33	5107,81
51,97	Rm68	4,15	51,97	47,82	5107,81
4,15	Rm69	4,15	63,32	59,17	5107,81
63,32	Rm70	4,28	63,32	59,04	5107,81
4,28	Rm71	4,28	26,78	22,50	5107,81
26,78	Rm72	26,78	75,66	48,88	5107,81
75,66	Rm73	57,54	75,66	18,12	5107,81
57,54	Rm74	-34,31	57,54	91,85	5107,81
-34,31	Rm75	-34,31	70,81	105,12	5107,81
70,81	Rm76	43,97	70,81	26,84	5107,81
43,97	Rm77	35,72	43,97	8,25	5107,81
35,72	Rm78	35,72	203,96	168,24	5107,81
203,96	Rm79	-23,10	203,96	227,06	5107,81
-23,10	Rm80	-23,10	-2,55	20,55	5107,81
-2,55	Rm81	-2,55	10,19	12,74	5107,81
10,19	Rm82	10,19	54,15	43,96	5107,81
54,15	Rm83	54,15	73,58	19,43	5107,81
73,58	Rm84	73,58	99,27	25,69	5107,81
99,27	Rm85	-28,19	99,27	127,46	5107,81
-28,19	Rm86	-30,87	-28,19	2,68	5107,81
-30,87	Rm87	-30,87	34,27	65,14	5107,81
34,27	Rm88	-32,00	34,27	66,27	5107,81
-32,00	Rm89	-32,00	24,84	56,84	5107,81
24,84	Rm90	1,39	24,84	23,45	5107,81
1,39	Rm91	1,39	50,38	48,99	5107,81
50,38	Rm92	50,38	54,84	4,46	5107,81

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
54,84	Rm93	-26,65	54,84	81,49	5107,81
-26,65	Rm94	-30,17	-26,65	3,52	5107,81
-30,17	Rm95	-30,17	57,83	88,00	5107,81
57,83	Rm96	57,83	78,24	20,41	5107,81
78,24	Rm97	78,24	80,49	2,25	5107,81
80,49	Rm98	54,90	80,49	25,59	5107,81
54,90	Rm99	11,83	54,90	43,07	5107,81
11,83	Rm100	6,29	11,83	5,54	5107,81
6,29	Rm101	6,29	55,81	49,52	5107,81
55,81	Rm102	15,67	55,81	40,14	5107,81
15,67	Rm103	0,98	15,67	14,69	5107,81
0,98	Rm104	0,98	41,17	40,19	5107,81
41,17	Rm105	33,46	41,17	7,71	5107,81
33,46	Rm106	33,46	33,46	0,00	5107,81

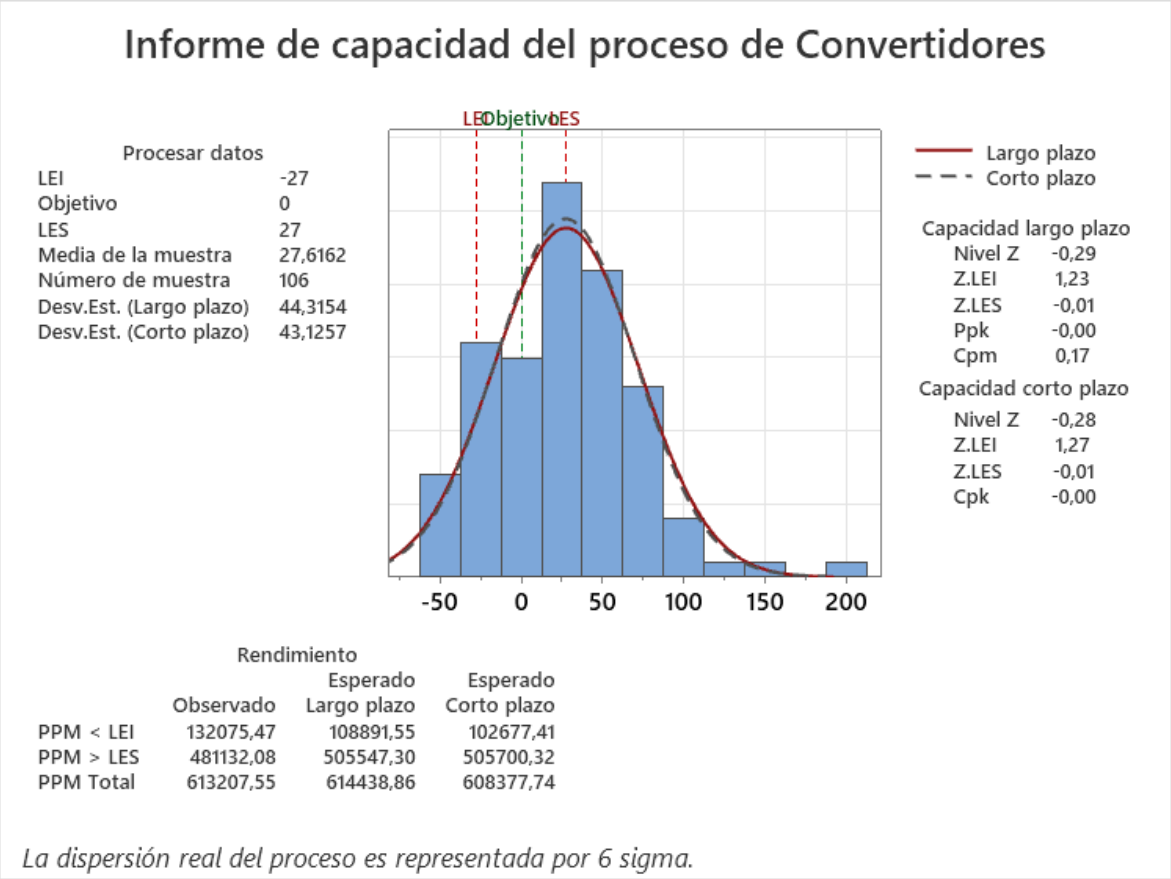

Figura D.2: Análisis de Capacidad de Proceso de Reparación de Convertidores

Fuente: Elaboración Propia - MiniTab

D.3. Cálculo de Indicadores y Variables - Transmisiones

Tabla D.6: Análisis de Varianza de Tiempos de Reparación de Transmisiones

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
79,22	35,36	1250,14	581425,61
39,85	-4,01	16,10	581425,61
99,33	55,47	3076,62	581425,61
-73,05	-116,91	13668,59	581425,61
13,96	-29,90	894,17	581425,61
57,66	13,80	190,36	581425,61
52,27	8,41	70,68	581425,61

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-11,31	-55,17	3044,03	581425,61
-25,89	-69,75	4865,45	581425,61
26,36	-17,50	306,35	581425,61
-58,65	-102,51	10508,86	581425,61
58,52	14,66	214,84	581425,61
38,08	-5,78	33,44	581425,61
82,90	39,04	1523,91	581425,61
-27,90	-71,76	5149,89	581425,61
96,56	52,70	2777,00	581425,61
-32,04	-75,90	5761,23	581425,61
45,93	2,07	4,27	581425,61
76,94	33,08	1094,10	581425,61
16,94	-26,92	724,83	581425,61
-44,48	-88,34	7804,44	581425,61
13,73	-30,13	907,98	581425,61
19,62	-24,24	587,71	581425,61
161,86	118,00	13923,35	581425,61
62,43	18,57	344,74	581425,61
-46,98	-90,84	8252,40	581425,61
-68,23	-112,09	12564,78	581425,61
-52,02	-95,88	9193,50	581425,61
70,76	26,90	723,46	581425,61
34,31	-9,55	91,25	581425,61
-13,91	-57,77	3337,69	581425,61
25,37	-18,49	341,98	581425,61
66,53	22,67	513,80	581425,61
11,08	-32,78	1074,71	581425,61
1,74	-42,12	1774,33	581425,61

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
161,96	118,10	13946,96	581425,61
34,44	-9,42	88,79	581425,61
74,48	30,62	937,42	581425,61
51,87	8,01	64,12	581425,61
-38,68	-82,54	6813,30	581425,61
22,12	-21,74	472,75	581425,61
144,79	100,93	10186,31	581425,61
13,14	-30,72	943,89	581425,61
57,35	13,49	181,91	581425,61
81,98	38,12	1452,93	581425,61
141,74	97,88	9579,96	581425,61
-73,10	-116,96	13680,28	581425,61
-11,11	-54,97	3022,00	581425,61
212,91	169,05	28576,97	581425,61
12,86	-31,00	961,17	581425,61
-14,43	-58,29	3398,04	581425,61
-11,52	-55,38	3067,25	581425,61
-3,44	-47,30	2237,55	581425,61
58,97	15,11	228,23	581425,61
38,13	-5,73	32,86	581425,61
76,46	32,60	1062,58	581425,61
9,54	-34,32	1178,05	581425,61
35,47	-8,39	70,44	581425,61
81,83	37,97	1441,51	581425,61
85,96	42,10	1772,18	581425,61
163,97	120,11	14425,75	581425,61
-16,71	-60,57	3669,06	581425,61
72,69	28,83	831,01	581425,61

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
17,87	-25,99	675,62	581425,61
136,64	92,78	8607,62	581425,61
32,87	-10,99	120,84	581425,61
22,39	-21,47	461,08	581425,61
-70,05	-113,91	12976,11	581425,61
65,01	21,15	447,21	581425,61
-73,08	-116,94	13675,61	581425,61
-59,27	-103,13	10636,36	581425,61
25,02	-18,84	355,05	581425,61
16,02	-27,84	775,22	581425,61
69,15	25,29	639,45	581425,61
-16,44	-60,30	3636,42	581425,61
101,25	57,39	3293,30	581425,61
91,63	47,77	2281,71	581425,61
67,15	23,29	542,30	581425,61
26,90	-16,96	287,73	581425,61
72,18	28,32	801,87	581425,61
184,56	140,70	19795,72	581425,61
53,76	9,90	97,96	581425,61
83,78	39,92	1593,39	581425,61
14,47	-29,39	863,93	581425,61
-10,47	-54,33	2952,05	581425,61
225,71	181,85	33068,42	581425,61
-2,63	-46,49	2161,58	581425,61
-40,24	-84,10	7073,27	581425,61
154,76	110,90	12298,20	581425,61
40,42	-3,44	11,85	581425,61
-23,01	-66,87	4471,96	581425,61

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-17,46	-61,32	3760,48	581425,61
9,13	-34,73	1206,36	581425,61
78,03	34,17	1167,40	581425,61
-50,65	-94,51	8932,66	581425,61
39,82	-4,04	16,34	581425,61
1,51	-42,35	1793,75	581425,61
6,09	-37,77	1426,78	581425,61
45,98	2,12	4,48	581425,61
69,19	25,33	641,47	581425,61
97,61	53,75	2888,77	581425,61
219,58	175,72	30876,55	581425,61
150,09	106,23	11284,23	581425,61
204,17	160,31	25698,42	581425,61
45,65	1,79	3,19	581425,61
68,88	25,02	625,86	581425,61
316,90	273,04	74549,34	581425,61
-46,52	-90,38	8169,04	581425,61
167,57	123,71	15303,49	581425,61
42,39	-1,47	2,17	581425,61
-29,07	-72,93	5319,19	581425,61
2,92	-40,94	1676,31	581425,61
67,17	23,31	543,23	581425,61

Tabla D.7: Análisis de Rangos Móviles - Transmisiones

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**$\sum$ Rmi**
79,22	Rm1	39,85	79,22	39,37	8820,83

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**$\sum$ Rmi**
39,85	Rm2	39,85	99,33	59,48	8820,83
99,33	Rm3	-73,05	99,33	172,38	8820,83
-73,05	Rm4	-73,05	13,96	87,01	8820,83
13,96	Rm5	13,96	57,66	43,70	8820,83
57,66	Rm6	52,27	57,66	5,39	8820,83
52,27	Rm7	-11,31	52,27	63,58	8820,83
-11,31	Rm8	-25,89	-11,31	14,58	8820,83
-25,89	Rm9	-25,89	26,36	52,25	8820,83
26,36	Rm10	-58,65	26,36	85,01	8820,83
-58,65	Rm11	-58,65	58,52	117,17	8820,83
58,52	Rm12	38,08	58,52	20,44	8820,83
38,08	Rm13	38,08	82,90	44,82	8820,83
82,90	Rm14	-27,90	82,90	110,80	8820,83
-27,90	Rm15	-27,90	96,56	124,46	8820,83
96,56	Rm16	-32,04	96,56	128,60	8820,83
-32,04	Rm17	-32,04	45,93	77,97	8820,83
45,93	Rm18	45,93	76,94	31,01	8820,83
76,94	Rm19	16,94	76,94	60,00	8820,83
16,94	Rm20	-44,48	16,94	61,42	8820,83
-44,48	Rm21	-44,48	13,73	58,21	8820,83
13,73	Rm22	13,73	19,62	5,89	8820,83
19,62	Rm23	19,62	161,86	142,24	8820,83
161,86	Rm24	62,43	161,86	99,43	8820,83
62,43	Rm25	-46,98	62,43	109,41	8820,83
-46,98	Rm26	-68,23	-46,98	21,25	8820,83
-68,23	Rm27	-68,23	-52,02	16,21	8820,83
-52,02	Rm28	-52,02	70,76	122,78	8820,83
70,76	Rm29	34,31	70,76	36,45	8820,83

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**$\sum$ Rmi**
34,31	Rm30	-13,91	34,31	48,22	8820,83
-13,91	Rm31	-13,91	25,37	39,28	8820,83
25,37	Rm32	25,37	66,53	41,16	8820,83
66,53	Rm33	11,08	66,53	55,45	8820,83
11,08	Rm34	1,74	11,08	9,34	8820,83
1,74	Rm35	1,74	161,96	160,22	8820,83
161,96	Rm36	34,44	161,96	127,52	8820,83
34,44	Rm37	34,44	74,48	40,04	8820,83
74,48	Rm38	51,87	74,48	22,61	8820,83
51,87	Rm39	-38,68	51,87	90,55	8820,83
-38,68	Rm40	-38,68	22,12	60,80	8820,83
22,12	Rm41	22,12	144,79	122,67	8820,83
144,79	Rm42	13,14	144,79	131,65	8820,83
13,14	Rm43	13,14	57,35	44,21	8820,83
57,35	Rm44	57,35	81,98	24,63	8820,83
81,98	Rm45	81,98	141,74	59,76	8820,83
141,74	Rm46	-73,10	141,74	214,84	8820,83
-73,10	Rm47	-73,10	-11,11	61,99	8820,83
-11,11	Rm48	-11,11	212,91	224,02	8820,83
212,91	Rm49	12,86	212,91	200,05	8820,83
12,86	Rm50	-14,43	12,86	27,29	8820,83
-14,43	Rm51	-14,43	-11,52	2,91	8820,83
-11,52	Rm52	-11,52	-3,44	8,08	8820,83
-3,44	Rm53	-3,44	58,97	62,41	8820,83
58,97	Rm54	38,13	58,97	20,84	8820,83
38,13	Rm55	38,13	76,46	38,33	8820,83
76,46	Rm56	9,54	76,46	66,92	8820,83
9,54	Rm57	9,54	35,47	25,93	8820,83

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**$\sum$ Rmi**
35,47	Rm58	35,47	81,83	46,36	8820,83
81,83	Rm59	81,83	85,96	4,13	8820,83
85,96	Rm60	85,96	163,97	78,01	8820,83
163,97	Rm61	-16,71	163,97	180,68	8820,83
-16,71	Rm62	-16,71	72,69	89,40	8820,83
72,69	Rm63	17,87	72,69	54,82	8820,83
17,87	Rm64	17,87	136,64	118,77	8820,83
136,64	Rm65	32,87	136,64	103,77	8820,83
32,87	Rm66	22,39	32,87	10,48	8820,83
22,39	Rm67	-70,05	22,39	92,44	8820,83
-70,05	Rm68	-70,05	65,01	135,06	8820,83
65,01	Rm69	-73,08	65,01	138,09	8820,83
-73,08	Rm70	-73,08	-59,27	13,81	8820,83
-59,27	Rm71	-59,27	25,02	84,29	8820,83
25,02	Rm72	16,02	25,02	9,00	8820,83
16,02	Rm73	16,02	69,15	53,13	8820,83
69,15	Rm74	-16,44	69,15	85,59	8820,83
-16,44	Rm75	-16,44	101,25	117,69	8820,83
101,25	Rm76	91,63	101,25	9,62	8820,83
91,63	Rm77	67,15	91,63	24,48	8820,83
67,15	Rm78	26,90	67,15	40,25	8820,83
26,90	Rm79	26,90	72,18	45,28	8820,83
72,18	Rm80	72,18	184,56	112,38	8820,83
184,56	Rm81	53,76	184,56	130,80	8820,83
53,76	Rm82	53,76	83,78	30,02	8820,83
83,78	Rm83	14,47	83,78	69,31	8820,83
14,47	Rm84	-10,47	14,47	24,94	8820,83
-10,47	Rm85	-10,47	225,71	236,18	8820,83

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑ Rmi**
225,71	Rm86	-2,63	225,71	228,34	8820,83
-2,63	Rm87	-40,24	-2,63	37,61	8820,83
-40,24	Rm88	-40,24	154,76	195,00	8820,83
154,76	Rm89	40,42	154,76	114,34	8820,83
40,42	Rm90	-23,01	40,42	63,43	8820,83
-23,01	Rm91	-23,01	-17,46	5,55	8820,83
-17,46	Rm92	-17,46	9,13	26,59	8820,83
9,13	Rm93	9,13	78,03	68,90	8820,83
78,03	Rm94	-50,65	78,03	128,68	8820,83
-50,65	Rm95	-50,65	39,82	90,47	8820,83
39,82	Rm96	1,51	39,82	38,31	8820,83
1,51	Rm97	1,51	6,09	4,58	8820,83
6,09	Rm98	6,09	45,98	39,89	8820,83
45,98	Rm99	45,98	69,19	23,21	8820,83
69,19	Rm100	69,19	97,61	28,42	8820,83
97,61	Rm101	97,61	219,58	121,97	8820,83
219,58	Rm102	150,09	219,58	69,49	8820,83
150,09	Rm103	150,09	204,17	54,08	8820,83
204,17	Rm104	45,65	204,17	158,52	8820,83
45,65	Rm105	45,65	68,88	23,23	8820,83
68,88	Rm106	68,88	316,90	248,02	8820,83
316,90	Rm107	-46,52	316,90	363,42	8820,83
-46,52	Rm108	-46,52	167,57	214,09	8820,83
167,57	Rm109	42,39	167,57	125,18	8820,83
42,39	Rm110	-29,07	42,39	71,46	8820,83
-29,07	Rm111	-29,07	2,92	31,99	8820,83
2,92	Rm112	2,92	67,17	64,25	8820,83
67,17	Rm113	67,17	67,17	0,00	8820,83

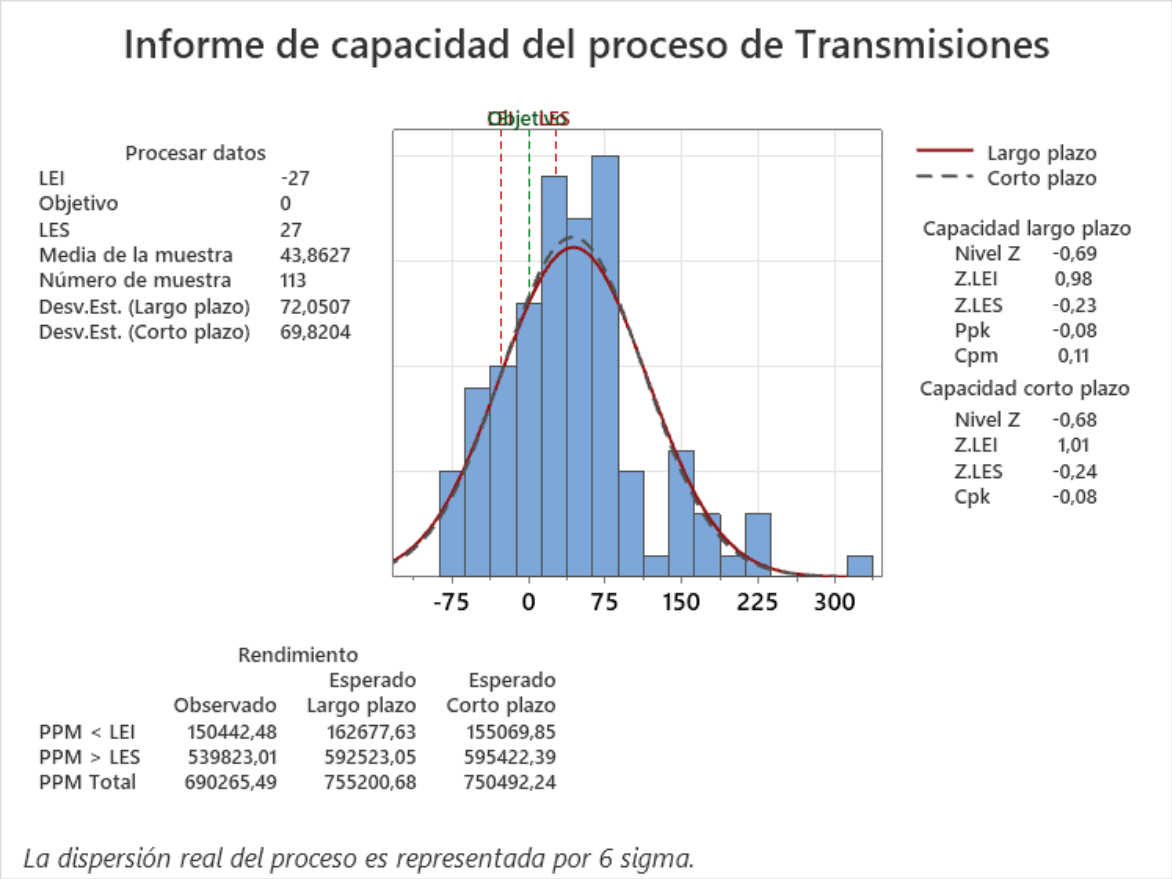

Figura D.3: Análisis de Capacidad de Proceso de Reparación de Transmisiones

Fuente: Elaboración Propia - MiniTab

D.4. Cálculo de Indicadores y Variables - Mandos Finales

Tabla D.8: Análisis de Varianza de Tiempos de Reparación de Mandos Finales

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
22,25	-8,96	80,31	1061797,71
-16,27	-47,48	2254,50	1061797,71
23,72	-7,49	56,12	1061797,71
65,42	34,21	1170,22	1061797,71
-24,12	-55,33	3061,58	1061797,71

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
20,57	-10,64	113,24	1061797,71
-20,44	-51,65	2667,88	1061797,71
-64,70	-95,91	9199,03	1061797,71
94,11	62,90	3956,21	1061797,71
21,17	-10,04	100,83	1061797,71
99,01	67,80	4596,63	1061797,71
62,87	31,66	1002,26	1061797,71
100,27	69,06	4769,07	1061797,71
-39,36	-70,57	4980,34	1061797,71
-38,23	-69,44	4822,13	1061797,71
-28,39	-59,60	3552,35	1061797,71
14,00	-17,21	296,24	1061797,71
8,90	-22,31	497,81	1061797,71
17,03	-14,18	201,12	1061797,71
52,22	21,01	441,35	1061797,71
169,40	138,19	19096,05	1061797,71
202,21	171,00	29240,47	1061797,71
-49,68	-80,89	6543,44	1061797,71
-39,79	-71,00	5041,22	1061797,71
-11,31	-42,52	1808,08	1061797,71
87,65	56,44	3185,30	1061797,71
95,53	64,32	4136,86	1061797,71
87,40	56,19	3157,14	1061797,71
72,59	41,38	1712,18	1061797,71
87,12	55,91	3125,75	1061797,71
125,98	94,77	8981,06	1061797,71
161,16	129,95	16886,60	1061797,71
261,93	230,72	53231,00	1061797,71

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-66,30	-97,51	9508,50	1061797,71
98,78	67,57	4565,49	1061797,71
83,56	52,35	2740,36	1061797,71
-66,30	-97,51	9508,50	1061797,71
24,49	-6,72	45,18	1061797,71
55,88	24,67	608,53	1061797,71
98,07	66,86	4470,05	1061797,71
83,53	52,32	2737,22	1061797,71
94,24	63,03	3972,59	1061797,71
137,20	105,99	11233,55	1061797,71
116,48	85,27	7270,71	1061797,71
-2,53	-33,74	1138,49	1061797,71
-63,50	-94,71	8970,28	1061797,71
-41,23	-72,44	5247,78	1061797,71
13,90	-17,31	299,69	1061797,71
35,84	4,63	21,42	1061797,71
-65,92	-97,13	9434,54	1061797,71
-46,70	-77,91	6070,21	1061797,71
51,26	20,05	401,94	1061797,71
48,17	16,96	287,59	1061797,71
-42,00	-73,21	5359,93	1061797,71
72,97	41,76	1743,77	1061797,71
67,89	36,68	1345,31	1061797,71
212,47	181,26	32854,62	1061797,71
134,42	103,21	10651,98	1061797,71
105,22	74,01	5477,25	1061797,71
-58,71	-89,92	8085,89	1061797,71
-44,71	-75,92	5764,08	1061797,71

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
71,13	39,92	1593,48	1061797,71
123,55	92,34	8526,39	1061797,71
119,39	88,18	7775,44	1061797,71
78,65	47,44	2250,41	1061797,71
-24,62	-55,83	3117,16	1061797,71
233,76	202,55	41025,87	1061797,71
-37,63	-68,84	4739,16	1061797,71
148,89	117,68	13848,22	1061797,71
5,05	-26,16	684,43	1061797,71
179,23	148,02	21909,46	1061797,71
-66,30	-97,51	9508,50	1061797,71
156,16	124,95	15612,11	1061797,71
19,87	-11,34	128,63	1061797,71
85,42	54,21	2938,56	1061797,71
-26,69	-57,90	3352,59	1061797,71
11,48	-19,73	389,33	1061797,71
-2,13	-33,34	1111,66	1061797,71
53,71	22,50	506,18	1061797,71
160,18	128,97	16632,86	1061797,71
45,27	14,06	197,64	1061797,71
115,64	84,43	7128,16	1061797,71
99,98	68,77	4729,10	1061797,71
113,32	82,11	6741,80	1061797,71
-1,48	-32,69	1068,74	1061797,71
161,59	130,38	16998,54	1061797,71
114,04	82,83	6860,55	1061797,71
63,41	32,20	1036,74	1061797,71
77,78	46,57	2168,62	1061797,71

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
203,92	172,71	29828,21	1061797,71
154,97	123,76	15316,15	1061797,71
188,76	157,55	24821,51	1061797,71
-27,10	-58,31	3400,24	1061797,71
264,53	233,32	54437,50	1061797,71
108,57	77,36	5984,33	1061797,71
67,99	36,78	1352,65	1061797,71
171,78	140,57	19759,49	1061797,71
150,16	118,95	14148,73	1061797,71
3,98	-27,23	741,56	1061797,71
7,71	-23,50	552,32	1061797,71
-15,98	-47,19	2227,04	1061797,71
-29,21	-60,42	3650,76	1061797,71
-21,13	-52,34	2739,64	1061797,71
-14,72	-45,93	2109,71	1061797,71
-23,85	-55,06	3031,77	1061797,71
-13,75	-44,96	2021,54	1061797,71
15,14	-16,07	258,29	1061797,71
6,60	-24,61	605,73	1061797,71
-21,00	-52,21	2726,05	1061797,71
0,75	-30,46	927,91	1061797,71
24,48	-6,73	45,31	1061797,71
18,11	-13,10	171,65	1061797,71
3,72	-27,49	755,79	1061797,71
9,20	-22,01	484,51	1061797,71
-61,83	-93,04	8656,73	1061797,71
86,33	55,12	3038,04	1061797,71
-47,46	-78,67	6189,21	1061797,71

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-63,48	-94,69	8966,49	1061797,71
-26,42	-57,63	3321,40	1061797,71
-49,40	-80,61	6498,22	1061797,71
-53,68	-84,89	7206,58	1061797,71
-21,80	-53,01	2810,22	1061797,71
-32,43	-63,64	4050,25	1061797,71
17,31	-13,90	193,25	1061797,71
-1,79	-33,00	1089,10	1061797,71
6,32	-24,89	619,59	1061797,71
41,39	10,18	103,60	1061797,71
60,65	29,44	866,62	1061797,71
-45,82	-77,03	5933,86	1061797,71
39,37	8,16	66,56	1061797,71
-43,45	-74,66	5574,35	1061797,71
9,18	-22,03	485,39	1061797,71
1,62	-29,59	875,66	1061797,71
23,15	-8,06	64,99	1061797,71
-52,50	-83,71	7007,62	1061797,71
-17,00	-48,21	2324,35	1061797,71
39,70	8,49	72,05	1061797,71
-41,63	-72,84	5305,89	1061797,71
86,54	55,33	3061,24	1061797,71
140,43	109,22	11928,67	1061797,71
119,16	87,95	7734,93	1061797,71
15,73	-15,48	239,68	1061797,71
35,72	4,51	20,33	1061797,71
103,36	72,15	5205,40	1061797,71
15,09	-16,12	259,90	1061797,71

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-46,06	-77,27	5970,89	1061797,71
-27,67	-58,88	3467,04	1061797,71
-59,90	-91,11	8301,32	1061797,71
-1,09	-32,30	1043,39	1061797,71
-53,35	-84,56	7150,66	1061797,71
-8,03	-39,24	1539,90	1061797,71
-2,13	-33,34	1111,66	1061797,71
-37,07	-68,28	4662,37	1061797,71
32,88	1,67	2,78	1061797,71
-43,48	-74,69	5578,83	1061797,71
67,26	36,05	1299,49	1061797,71
74,58	43,37	1880,82	1061797,71
-39,16	-70,37	4952,16	1061797,71
46,58	15,37	236,19	1061797,71
-36,41	-67,62	4572,67	1061797,71
4,68	-26,53	703,92	1061797,71
-52,91	-84,12	7076,44	1061797,71
-52,12	-83,33	6944,15	1061797,71
96,86	65,65	4309,72	1061797,71
-2,98	-34,19	1169,06	1061797,71
131,33	100,12	10023,70	1061797,71
-24,01	-55,22	3049,42	1061797,71
-49,82	-81,03	6566,11	1061797,71
6,51	-24,70	610,17	1061797,71
63,20	31,99	1023,26	1061797,71
-47,81	-79,02	6244,41	1061797,71
-38,45	-69,66	4852,73	1061797,71
-59,63	-90,84	8252,19	1061797,71

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-60,63	-91,84	8434,87	1061797,71
-41,33	-72,54	5262,28	1061797,71
62,96	31,75	1007,96	1061797,71
-7,06	-38,27	1464,71	1061797,71
-63,35	-94,56	8941,89	1061797,71
-64,13	-95,34	9090,01	1061797,71
127,09	95,88	9192,68	1061797,71
64,21	33,00	1088,90	1061797,71
-4,55	-35,76	1278,89	1061797,71
56,90	25,69	659,90	1061797,71
1,04	-30,17	910,32	1061797,71
15,03	-16,18	261,84	1061797,71
55,44	24,23	587,02	1061797,71
-36,22	-67,43	4547,01	1061797,71
-31,08	-62,29	3880,24	1061797,71
-42,22	-73,43	5392,19	1061797,71
-27,02	-58,23	3390,91	1061797,71
-11,35	-42,56	1811,49	1061797,71
-16,52	-47,73	2278,30	1061797,71
-3,58	-34,79	1210,45	1061797,71
29,76	-1,45	2,11	1061797,71
-15,12	-46,33	2146,61	1061797,71
4,59	-26,62	708,71	1061797,71
21,68	-9,53	90,85	1061797,71
20,09	-11,12	123,69	1061797,71
51,13	19,92	396,74	1061797,71
79,81	48,60	2361,81	1061797,71
43,32	12,11	146,61	1061797,71

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
75,97	44,76	2003,32	1061797,71
-1,31	-32,52	1057,65	1061797,71
-1,00	-32,21	1037,58	1061797,71
17,74	-13,47	181,48	1061797,71
36,16	4,95	24,49	1061797,71

Tabla D.9: Análisis de Rangos Móviles - Mandos Finales

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**$\sum$ Rmi**
22,25	Rm1	-16,27	22,25	38,52	12856,43
-16,27	Rm2	-16,27	23,72	39,99	12856,43
23,72	Rm3	23,72	65,42	41,70	12856,43
65,42	Rm4	-24,12	65,42	89,54	12856,43
-24,12	Rm5	-24,12	20,57	44,69	12856,43
20,57	Rm6	-20,44	20,57	41,01	12856,43
-20,44	Rm7	-64,70	-20,44	44,26	12856,43
-64,70	Rm8	-64,70	94,11	158,81	12856,43
94,11	Rm9	21,17	94,11	72,94	12856,43
21,17	Rm10	21,17	99,01	77,84	12856,43
99,01	Rm11	62,87	99,01	36,14	12856,43
62,87	Rm12	62,87	100,27	37,40	12856,43
100,27	Rm13	-39,36	100,27	139,63	12856,43
-39,36	Rm14	-39,36	-38,23	1,13	12856,43
-38,23	Rm15	-38,23	-28,39	9,84	12856,43
-28,39	Rm16	-28,39	14,00	42,39	12856,43
14,00	Rm17	8,90	14,00	5,10	12856,43
8,90	Rm18	8,90	17,03	8,13	12856,43

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑ Rmi**
17,03	Rm19	17,03	52,22	35,19	12856,43
52,22	Rm20	52,22	169,40	117,18	12856,43
169,40	Rm21	169,40	202,21	32,81	12856,43
202,21	Rm22	-49,68	202,21	251,89	12856,43
-49,68	Rm23	-49,68	-39,79	9,89	12856,43
-39,79	Rm24	-39,79	-11,31	28,48	12856,43
-11,31	Rm25	-11,31	87,65	98,96	12856,43
87,65	Rm26	87,65	95,53	7,88	12856,43
95,53	Rm27	87,40	95,53	8,13	12856,43
87,40	Rm28	72,59	87,40	14,81	12856,43
72,59	Rm29	72,59	87,12	14,53	12856,43
87,12	Rm30	87,12	125,98	38,86	12856,43
125,98	Rm31	125,98	161,16	35,18	12856,43
161,16	Rm32	161,16	261,93	100,77	12856,43
261,93	Rm33	-66,30	261,93	328,23	12856,43
-66,30	Rm34	-66,30	98,78	165,08	12856,43
98,78	Rm35	83,56	98,78	15,22	12856,43
83,56	Rm36	-66,30	83,56	149,86	12856,43
-66,30	Rm37	-66,30	24,49	90,79	12856,43
24,49	Rm38	24,49	55,88	31,39	12856,43
55,88	Rm39	55,88	98,07	42,19	12856,43
98,07	Rm40	83,53	98,07	14,54	12856,43
83,53	Rm41	83,53	94,24	10,71	12856,43
94,24	Rm42	94,24	137,20	42,96	12856,43
137,20	Rm43	116,48	137,20	20,72	12856,43
116,48	Rm44	-2,53	116,48	119,01	12856,43
-2,53	Rm45	-63,50	-2,53	60,97	12856,43
-63,50	Rm46	-63,50	-41,23	22,27	12856,43

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑ Rmi**
-41,23	Rm47	-41,23	13,90	55,13	12856,43
13,90	Rm48	13,90	35,84	21,94	12856,43
35,84	Rm49	-65,92	35,84	101,76	12856,43
-65,92	Rm50	-65,92	-46,70	19,22	12856,43
-46,70	Rm51	-46,70	51,26	97,96	12856,43
51,26	Rm52	48,17	51,26	3,09	12856,43
48,17	Rm53	-42,00	48,17	90,17	12856,43
-42,00	Rm54	-42,00	72,97	114,97	12856,43
72,97	Rm55	67,89	72,97	5,08	12856,43
67,89	Rm56	67,89	212,47	144,58	12856,43
212,47	Rm57	134,42	212,47	78,05	12856,43
134,42	Rm58	105,22	134,42	29,20	12856,43
105,22	Rm59	-58,71	105,22	163,93	12856,43
-58,71	Rm60	-58,71	-44,71	14,00	12856,43
-44,71	Rm61	-44,71	71,13	115,84	12856,43
71,13	Rm62	71,13	123,55	52,42	12856,43
123,55	Rm63	119,39	123,55	4,16	12856,43
119,39	Rm64	78,65	119,39	40,74	12856,43
78,65	Rm65	-24,62	78,65	103,27	12856,43
-24,62	Rm66	-24,62	233,76	258,38	12856,43
233,76	Rm67	-37,63	233,76	271,39	12856,43
-37,63	Rm68	-37,63	148,89	186,52	12856,43
148,89	Rm69	5,05	148,89	143,84	12856,43
5,05	Rm70	5,05	179,23	174,18	12856,43
179,23	Rm71	-66,30	179,23	245,53	12856,43
-66,30	Rm72	-66,30	156,16	222,46	12856,43
156,16	Rm73	19,87	156,16	136,29	12856,43
19,87	Rm74	19,87	85,42	65,55	12856,43

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑ Rmi**
85,42	Rm75	-26,69	85,42	112,11	12856,43
-26,69	Rm76	-26,69	11,48	38,17	12856,43
11,48	Rm77	-2,13	11,48	13,61	12856,43
-2,13	Rm78	-2,13	53,71	55,84	12856,43
53,71	Rm79	53,71	160,18	106,47	12856,43
160,18	Rm80	45,27	160,18	114,91	12856,43
45,27	Rm81	45,27	115,64	70,37	12856,43
115,64	Rm82	99,98	115,64	15,66	12856,43
99,98	Rm83	99,98	113,32	13,34	12856,43
113,32	Rm84	-1,48	113,32	114,80	12856,43
-1,48	Rm85	-1,48	161,59	163,07	12856,43
161,59	Rm86	114,04	161,59	47,55	12856,43
114,04	Rm87	63,41	114,04	50,63	12856,43
63,41	Rm88	63,41	77,78	14,37	12856,43
77,78	Rm89	77,78	203,92	126,14	12856,43
203,92	Rm90	154,97	203,92	48,95	12856,43
154,97	Rm91	154,97	188,76	33,79	12856,43
188,76	Rm92	-27,10	188,76	215,86	12856,43
-27,10	Rm93	-27,10	264,53	291,63	12856,43
264,53	Rm94	108,57	264,53	155,96	12856,43
108,57	Rm95	67,99	108,57	40,58	12856,43
67,99	Rm96	67,99	171,78	103,79	12856,43
171,78	Rm97	150,16	171,78	21,62	12856,43
150,16	Rm98	3,98	150,16	146,18	12856,43
3,98	Rm99	3,98	7,71	3,73	12856,43
7,71	Rm100	-15,98	7,71	23,69	12856,43
-15,98	Rm101	-29,21	-15,98	13,23	12856,43
-29,21	Rm102	-29,21	-21,13	8,08	12856,43

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑ Rmi**
-21,13	Rm103	-21,13	-14,72	6,41	12856,43
-14,72	Rm104	-23,85	-14,72	9,13	12856,43
-23,85	Rm105	-23,85	-13,75	10,10	12856,43
-13,75	Rm106	-13,75	15,14	28,89	12856,43
15,14	Rm107	6,60	15,14	8,54	12856,43
6,60	Rm108	-21,00	6,60	27,60	12856,43
-21,00	Rm109	-21,00	0,75	21,75	12856,43
0,75	Rm110	0,75	24,48	23,73	12856,43
24,48	Rm111	18,11	24,48	6,37	12856,43
18,11	Rm112	3,72	18,11	14,39	12856,43
3,72	Rm113	3,72	9,20	5,48	12856,43
9,20	Rm114	-61,83	9,20	71,03	12856,43
-61,83	Rm115	-61,83	86,33	148,16	12856,43
86,33	Rm116	-47,46	86,33	133,79	12856,43
-47,46	Rm117	-63,48	-47,46	16,02	12856,43
-63,48	Rm118	-63,48	-26,42	37,06	12856,43
-26,42	Rm119	-49,40	-26,42	22,98	12856,43
-49,40	Rm120	-53,68	-49,40	4,28	12856,43
-53,68	Rm121	-53,68	-21,80	31,88	12856,43
-21,80	Rm122	-32,43	-21,80	10,63	12856,43
-32,43	Rm123	-32,43	17,31	49,74	12856,43
17,31	Rm124	-1,79	17,31	19,10	12856,43
-1,79	Rm125	-1,79	6,32	8,11	12856,43
6,32	Rm126	6,32	41,39	35,07	12856,43
41,39	Rm127	41,39	60,65	19,26	12856,43
60,65	Rm128	-45,82	60,65	106,47	12856,43
-45,82	Rm129	-45,82	39,37	85,19	12856,43
39,37	Rm130	-43,45	39,37	82,82	12856,43

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑ Rmi**
-43,45	Rm131	-43,45	9,18	52,63	12856,43
9,18	Rm132	1,62	9,18	7,56	12856,43
1,62	Rm133	1,62	23,15	21,53	12856,43
23,15	Rm134	-52,50	23,15	75,65	12856,43
-52,50	Rm135	-52,50	-17,00	35,50	12856,43
-17,00	Rm136	-17,00	39,70	56,70	12856,43
39,70	Rm137	-41,63	39,70	81,33	12856,43
-41,63	Rm138	-41,63	86,54	128,17	12856,43
86,54	Rm139	86,54	140,43	53,89	12856,43
140,43	Rm140	119,16	140,43	21,27	12856,43
119,16	Rm141	15,73	119,16	103,43	12856,43
15,73	Rm142	15,73	35,72	19,99	12856,43
35,72	Rm143	35,72	103,36	67,64	12856,43
103,36	Rm144	15,09	103,36	88,27	12856,43
15,09	Rm145	-46,06	15,09	61,15	12856,43
-46,06	Rm146	-46,06	-27,67	18,39	12856,43
-27,67	Rm147	-59,90	-27,67	32,23	12856,43
-59,90	Rm148	-59,90	-1,09	58,81	12856,43
-1,09	Rm149	-53,35	-1,09	52,26	12856,43
-53,35	Rm150	-53,35	-8,03	45,32	12856,43
-8,03	Rm151	-8,03	-2,13	5,90	12856,43
-2,13	Rm152	-37,07	-2,13	34,94	12856,43
-37,07	Rm153	-37,07	32,88	69,95	12856,43
32,88	Rm154	-43,48	32,88	76,36	12856,43
-43,48	Rm155	-43,48	67,26	110,74	12856,43
67,26	Rm156	67,26	74,58	7,32	12856,43
74,58	Rm157	-39,16	74,58	113,74	12856,43
-39,16	Rm158	-39,16	46,58	85,74	12856,43

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑ Rmi**
46,58	Rm159	-36,41	46,58	82,99	12856,43
-36,41	Rm160	-36,41	4,68	41,09	12856,43
4,68	Rm161	-52,91	4,68	57,59	12856,43
-52,91	Rm162	-52,91	-52,12	0,79	12856,43
-52,12	Rm163	-52,12	96,86	148,98	12856,43
96,86	Rm164	-2,98	96,86	99,84	12856,43
-2,98	Rm165	-2,98	131,33	134,31	12856,43
131,33	Rm166	-24,01	131,33	155,34	12856,43
-24,01	Rm167	-49,82	-24,01	25,81	12856,43
-49,82	Rm168	-49,82	6,51	56,33	12856,43
6,51	Rm169	6,51	63,20	56,69	12856,43
63,20	Rm170	-47,81	63,20	111,01	12856,43
-47,81	Rm171	-47,81	-38,45	9,36	12856,43
-38,45	Rm172	-59,63	-38,45	21,18	12856,43
-59,63	Rm173	-60,63	-59,63	1,00	12856,43
-60,63	Rm174	-60,63	-41,33	19,30	12856,43
-41,33	Rm175	-41,33	62,96	104,29	12856,43
62,96	Rm176	-7,06	62,96	70,02	12856,43
-7,06	Rm177	-63,35	-7,06	56,29	12856,43
-63,35	Rm178	-64,13	-63,35	0,78	12856,43
-64,13	Rm179	-64,13	127,09	191,22	12856,43
127,09	Rm180	64,21	127,09	62,88	12856,43
64,21	Rm181	-4,55	64,21	68,76	12856,43
-4,55	Rm182	-4,55	56,90	61,45	12856,43
56,90	Rm183	1,04	56,90	55,86	12856,43
1,04	Rm184	1,04	15,03	13,99	12856,43
15,03	Rm185	15,03	55,44	40,41	12856,43
55,44	Rm186	-36,22	55,44	91,66	12856,43

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑ Rmi**
-36,22	Rm187	-36,22	-31,08	5,14	12856,43
-31,08	Rm188	-42,22	-31,08	11,14	12856,43
-42,22	Rm189	-42,22	-27,02	15,20	12856,43
-27,02	Rm190	-27,02	-11,35	15,67	12856,43
-11,35	Rm191	-16,52	-11,35	5,17	12856,43
-16,52	Rm192	-16,52	-3,58	12,94	12856,43
-3,58	Rm193	-3,58	29,76	33,34	12856,43
29,76	Rm194	-15,12	29,76	44,88	12856,43
-15,12	Rm195	-15,12	4,59	19,71	12856,43
4,59	Rm196	4,59	21,68	17,09	12856,43
21,68	Rm197	20,09	21,68	1,59	12856,43
20,09	Rm198	20,09	51,13	31,04	12856,43
51,13	Rm199	51,13	79,81	28,68	12856,43
79,81	Rm200	43,32	79,81	36,49	12856,43
43,32	Rm201	43,32	75,97	32,65	12856,43
75,97	Rm202	-1,31	75,97	77,28	12856,43
-1,31	Rm203	-1,31	-1,00	0,31	12856,43
-1,00	Rm204	-1,00	17,74	18,74	12856,43
17,74	Rm205	17,74	36,16	18,42	12856,43
36,16	Rm206	36,16	36,16	0,00	12856,43

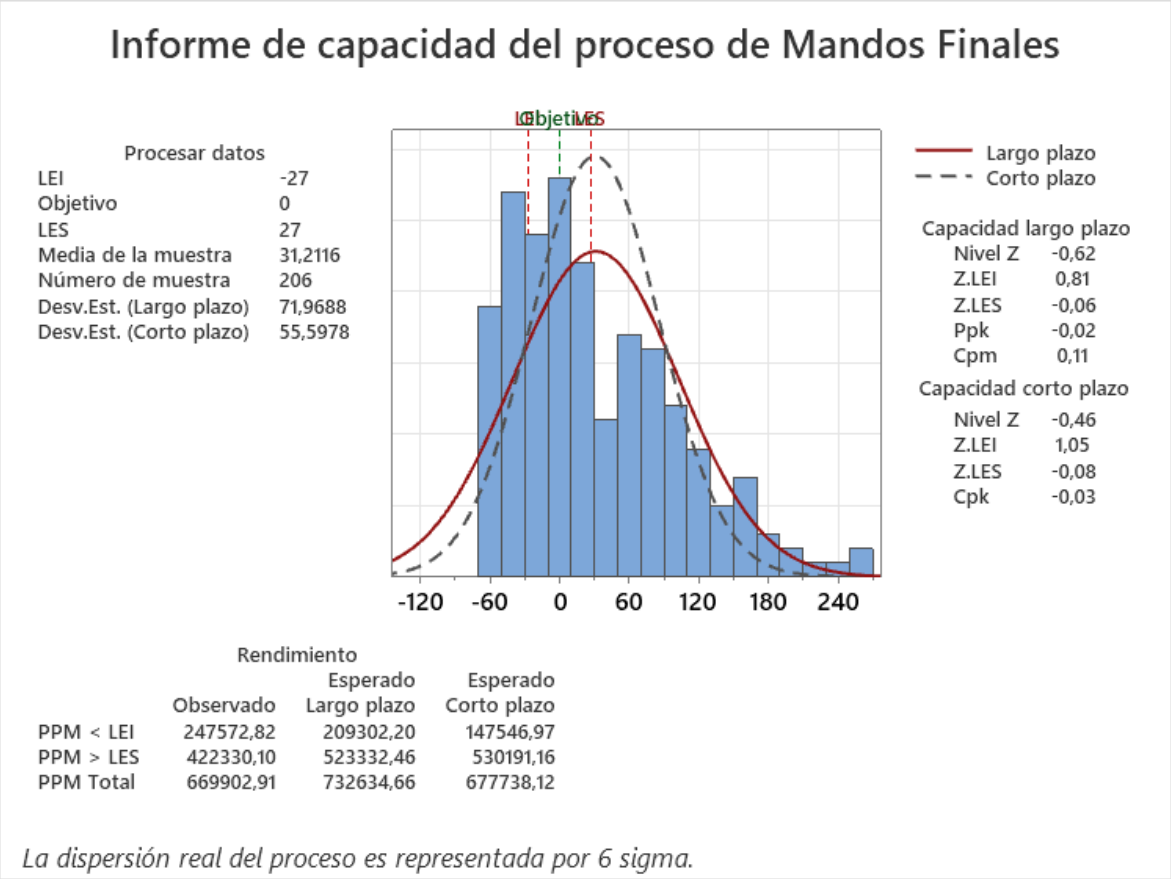

Figura D.4: Análisis de Capacidad de Proceso de Reparación de Mandos Finales

Fuente: Elaboración Propia - MiniTab

E. Análisis de Capacidad - Proceso Histórico Mandos Finales

E.1. Cálculo de Indicadores y Variables - Desarme

Tabla E.1: Análisis de Varianza de Tiempos de Desarme

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
15,76	10,18	103,57	192843,21
-20,68	-26,26	689,75	192843,21
26,23	20,65	426,29	192843,21
33,12	27,54	758,28	192843,21
14,05	8,47	71,69	192843,21

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
12,86	7,28	52,95	192843,21
-28,00	-33,58	1127,83	192843,21
-28,00	-33,58	1127,83	192843,21
-24,84	-30,42	925,57	192843,21
-1,77	-7,35	54,07	192843,21
9,59	4,01	16,05	192843,21
6,67	1,09	1,18	192843,21
19,33	13,75	188,98	192843,21
-1,06	-6,64	44,13	192843,21
0,07	-5,51	30,39	192843,21
9,91	4,33	18,72	192843,21
5,01	-0,57	0,33	192843,21
35,17	29,59	875,38	192843,21
-28,00	-33,58	1127,83	192843,21
13,65	8,07	65,07	192843,21
16,10	10,52	110,60	192843,21
28,17	22,59	510,17	192843,21
-15,30	-20,88	436,11	192843,21
-1,49	-7,07	50,03	192843,21
26,99	21,41	458,25	192843,21
0,01	-5,57	31,06	192843,21
5,45	-0,13	0,02	192843,21
4,30	-1,28	1,65	192843,21
35,10	29,52	871,24	192843,21
4,46	-1,12	1,26	192843,21
46,47	40,89	1671,73	192843,21
55,98	50,40	2539,84	192843,21
64,80	59,22	3506,63	192843,21
-28,00	-33,58	1127,83	192843,21

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
52,90	47,32	2238,88	192843,21
1,08	-4,50	20,28	192843,21
-28,00	-33,58	1127,83	192843,21
26,67	21,09	444,66	192843,21
-15,79	-21,37	456,81	192843,21
56,68	51,10	2610,89	192843,21
61,67	56,09	3145,73	192843,21
17,20	11,62	134,95	192843,21
19,10	13,52	182,71	192843,21
44,20	38,62	1491,26	192843,21
35,77	30,19	911,25	192843,21
-25,20	-30,78	947,60	192843,21
-28,00	-33,58	1127,83	192843,21
52,20	46,62	2173,13	192843,21
74,14	68,56	4700,04	192843,21
-27,62	-33,20	1102,45	192843,21
-28,00	-33,58	1127,83	192843,21
-28,00	-33,58	1127,83	192843,21
27,57	21,99	483,42	192843,21
-27,63	-33,21	1103,11	192843,21
46,49	40,91	1673,37	192843,21
33,91	28,33	802,41	192843,21
16,74	11,16	124,48	192843,21
37,79	32,21	1037,28	192843,21
26,67	21,09	444,66	192843,21
-28,00	-33,58	1127,83	192843,21
-28,00	-33,58	1127,83	192843,21
24,80	19,22	369,29	192843,21
45,30	39,72	1577,43	192843,21

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
4,46	-1,12	1,26	192843,21
35,20	29,62	877,16	192843,21
13,68	8,10	65,56	192843,21
47,35	41,77	1744,47	192843,21
-6,44	-12,02	144,56	192843,21
45,25	39,67	1573,46	192843,21
-2,63	-8,21	67,46	192843,21
16,14	10,56	111,45	192843,21
-28,00	-33,58	1127,83	192843,21
55,60	50,02	2501,68	192843,21
52,57	46,99	2207,76	192843,21
20,74	15,16	229,73	192843,21
-13,73	-19,31	373,00	192843,21
4,24	-1,34	1,80	192843,21
14,28	8,70	75,64	192843,21
71,64	66,06	4363,51	192843,21
110,34	104,76	10974,00	192843,21
26,39	20,81	432,92	192843,21
41,76	36,18	1308,76	192843,21
7,96	2,38	5,65	192843,21
67,79	62,21	3869,69	192843,21
26,44	20,86	435,01	192843,21
47,06	41,48	1720,33	192843,21
-5,88	-11,46	131,40	192843,21
20,27	14,69	215,70	192843,21
-28,00	-33,58	1127,83	192843,21
71,87	66,29	4393,95	192843,21
73,51	67,93	4614,06	192843,21
65,13	59,55	3545,83	192843,21

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-2,62	-8,20	67,29	192843,21
61,12	55,54	3084,34	192843,21
41,62	36,04	1298,65	192843,21
49,17	43,59	1899,81	192843,21
26,45	20,87	435,43	192843,21
63,46	57,88	3349,73	192843,21
-17,88	-23,46	550,52	192843,21
46,01	40,43	1634,33	192843,21
-7,28	-12,86	165,46	192843,21
-15,00	-20,58	423,67	192843,21
-2,13	-7,71	59,49	192843,21
4,28	-1,30	1,70	192843,21
-10,58	-16,16	261,25	192843,21
-0,42	-6,00	36,04	192843,21
-6,59	-12,17	148,19	192843,21
-4,39	-9,97	99,46	192843,21
-15,00	-20,58	423,67	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
-27,90	-33,48	1121,12	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
-29,77	-35,35	1249,85	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
-32,65	-38,23	1461,77	192843,21
-15,76	-21,34	455,53	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
5,28	-0,30	0,09	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
9,90	4,32	18,64	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
2,41	-3,17	10,07	192843,21
-1,01	-6,59	43,47	192843,21
0,26	-5,32	28,34	192843,21
-6,94	-12,52	156,83	192843,21
29,12	23,54	553,98	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
9,40	3,82	14,57	192843,21
-31,43	-37,01	1369,97	192843,21
-12,74	-18,32	335,74	192843,21
0,39	-5,19	26,97	192843,21
-3,03	-8,61	74,19	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
5,54	-0,04	0,00	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
63,30	57,72	3331,23	192843,21
83,94	78,36	6139,80	192843,21
0,72	-4,86	23,65	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
-6,93	-12,51	156,58	192843,21
28,97	23,39	546,94	192843,21
1,68	-3,90	15,23	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
-18,09	-23,67	560,42	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-8,30	-13,88	192,74	192843,21
11,54	5,96	35,48	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
-8,55	-14,13	199,75	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
23,69	18,11	327,86	192843,21
-9,96	-15,54	241,59	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
18,11	12,53	156,92	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
-31,20	-36,78	1353,00	192843,21
-32,53	-38,11	1452,61	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
15,51	9,93	98,54	192843,21
28,72	23,14	535,31	192843,21
43,50	37,92	1437,69	192843,21
3,57	-2,01	4,05	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
-4,57	-10,15	103,09	192843,21
36,08	30,50	930,06	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21
8,47	2,89	8,33	192843,21
24,64	19,06	363,16	192843,21
-31,65	-37,23	1386,31	192843,21
-33,00	-38,58	1488,66	192843,21

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
27,82	22,24	494,48	192843,21
-30,20	-35,78	1280,43	192843,21
27,15	21,57	465,13	192843,21
2,69	-2,89	8,37	192843,21
-17,19	-22,77	518,62	192843,21
-2,20	-7,78	60,58	192843,21
-2,35	-7,93	62,93	192843,21
-4,52	-10,10	102,07	192843,21
-5,59	-11,17	124,84	192843,21
-10,52	-16,10	259,31	192843,21
-0,09	-5,67	32,18	192843,21
2,90	-2,68	7,20	192843,21
2,48	-3,10	9,63	192843,21
1,33	-4,25	18,09	192843,21
19,84	14,26	203,26	192843,21
-15,00	-20,58	423,67	192843,21
2,83	-2,75	7,58	192843,21
7,19	1,61	2,58	192843,21
8,55	2,97	8,80	192843,21
9,65	4,07	16,54	192843,21
38,60	33,02	1090,11	192843,21
13,19	7,61	57,86	192843,21
46,18	40,60	1648,10	192843,21
13,56	7,98	63,63	192843,21
0,85	-4,73	22,40	192843,21
4,75	-0,83	0,69	192843,21
9,54	3,96	15,66	192843,21

Tabla E.2: Análisis de Rangos Móviles - Desarme

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
15,76	Rm1	-20,68	15,76	36,44	5615,28
-20,68	Rm2	-20,68	26,23	46,91	5615,28
26,23	Rm3	26,23	33,12	6,89	5615,28
33,12	Rm4	14,05	33,12	19,07	5615,28
14,05	Rm5	12,86	14,05	1,19	5615,28
12,86	Rm6	-28,00	12,86	40,86	5615,28
-28,00	Rm7	-28,00	-28,00	0,00	5615,28
-28,00	Rm8	-28,00	-24,84	3,16	5615,28
-24,84	Rm9	-24,84	-1,77	23,07	5615,28
-1,77	Rm10	-1,77	9,59	11,36	5615,28
9,59	Rm11	6,67	9,59	2,92	5615,28
6,67	Rm12	6,67	19,33	12,66	5615,28
19,33	Rm13	-1,06	19,33	20,39	5615,28
-1,06	Rm14	-1,06	0,07	1,13	5615,28
0,07	Rm15	0,07	9,91	9,84	5615,28
9,91	Rm16	5,01	9,91	4,90	5615,28
5,01	Rm17	5,01	35,17	30,16	5615,28
35,17	Rm18	-28,00	35,17	63,17	5615,28
-28,00	Rm19	-28,00	13,65	41,65	5615,28
13,65	Rm20	13,65	16,10	2,45	5615,28
16,10	Rm21	16,10	28,17	12,07	5615,28
28,17	Rm22	-15,30	28,17	43,47	5615,28
-15,30	Rm23	-15,30	-1,49	13,81	5615,28
-1,49	Rm24	-1,49	26,99	28,48	5615,28
26,99	Rm25	0,01	26,99	26,98	5615,28
0,01	Rm26	0,01	5,45	5,44	5615,28
5,45	Rm27	4,30	5,45	1,15	5615,28

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
4,30	Rm28	4,30	35,10	30,80	5615,28
35,10	Rm29	4,46	35,10	30,64	5615,28
4,46	Rm30	4,46	46,47	42,01	5615,28
46,47	Rm31	46,47	55,98	9,51	5615,28
55,98	Rm32	55,98	64,80	8,82	5615,28
64,80	Rm33	-28,00	64,80	92,80	5615,28
-28,00	Rm34	-28,00	52,90	80,90	5615,28
52,90	Rm35	1,08	52,90	51,82	5615,28
1,08	Rm36	-28,00	1,08	29,08	5615,28
-28,00	Rm37	-28,00	26,67	54,67	5615,28
26,67	Rm38	-15,79	26,67	42,46	5615,28
-15,79	Rm39	-15,79	56,68	72,47	5615,28
56,68	Rm40	56,68	61,67	4,99	5615,28
61,67	Rm41	17,20	61,67	44,47	5615,28
17,20	Rm42	17,20	19,10	1,90	5615,28
19,10	Rm43	19,10	44,20	25,10	5615,28
44,20	Rm44	35,77	44,20	8,43	5615,28
35,77	Rm45	-25,20	35,77	60,97	5615,28
-25,20	Rm46	-28,00	-25,20	2,80	5615,28
-28,00	Rm47	-28,00	52,20	80,20	5615,28
52,20	Rm48	52,20	74,14	21,94	5615,28
74,14	Rm49	-27,62	74,14	101,76	5615,28
-27,62	Rm50	-28,00	-27,62	0,38	5615,28
-28,00	Rm51	-28,00	-28,00	0,00	5615,28
-28,00	Rm52	-28,00	27,57	55,57	5615,28
27,57	Rm53	-27,63	27,57	55,20	5615,28
-27,63	Rm54	-27,63	46,49	74,12	5615,28
46,49	Rm55	33,91	46,49	12,58	5615,28
33,91	Rm56	16,74	33,91	17,17	5615,28

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	SubGrupos	MIN	MAX	Rmi	∑Rmi
16,74	Rm57	16,74	37,79	21,05	5615,28
37,79	Rm58	26,67	37,79	11,12	5615,28
26,67	Rm59	-28,00	26,67	54,67	5615,28
-28,00	Rm60	-28,00	-28,00	0,00	5615,28
-28,00	Rm61	-28,00	24,80	52,80	5615,28
24,80	Rm62	24,80	45,30	20,50	5615,28
45,30	Rm63	4,46	45,30	40,84	5615,28
4,46	Rm64	4,46	35,20	30,74	5615,28
35,20	Rm65	13,68	35,20	21,52	5615,28
13,68	Rm66	13,68	47,35	33,67	5615,28
47,35	Rm67	-6,44	47,35	53,79	5615,28
-6,44	Rm68	-6,44	45,25	51,69	5615,28
45,25	Rm69	-2,63	45,25	47,88	5615,28
-2,63	Rm70	-2,63	16,14	18,77	5615,28
16,14	Rm71	-28,00	16,14	44,14	5615,28
-28,00	Rm72	-28,00	55,60	83,60	5615,28
55,60	Rm73	52,57	55,60	3,03	5615,28
52,57	Rm74	20,74	52,57	31,83	5615,28
20,74	Rm75	-13,73	20,74	34,47	5615,28
-13,73	Rm76	-13,73	4,24	17,97	5615,28
4,24	Rm77	4,24	14,28	10,04	5615,28
14,28	Rm78	14,28	71,64	57,36	5615,28
71,64	Rm79	71,64	110,34	38,70	5615,28
110,34	Rm80	26,39	110,34	83,95	5615,28
26,39	Rm81	26,39	41,76	15,37	5615,28
41,76	Rm82	7,96	41,76	33,80	5615,28
7,96	Rm83	7,96	67,79	59,83	5615,28
67,79	Rm84	26,44	67,79	41,35	5615,28
26,44	Rm85	26,44	47,06	20,62	5615,28

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	SubGrupos	MIN	MAX	Rmi	∑Rmi
47,06	Rm86	-5,88	47,06	52,94	5615,28
-5,88	Rm87	-5,88	20,27	26,15	5615,28
20,27	Rm88	-28,00	20,27	48,27	5615,28
-28,00	Rm89	-28,00	71,87	99,87	5615,28
71,87	Rm90	71,87	73,51	1,64	5615,28
73,51	Rm91	65,13	73,51	8,38	5615,28
65,13	Rm92	-2,62	65,13	67,75	5615,28
-2,62	Rm93	-2,62	61,12	63,74	5615,28
61,12	Rm94	41,62	61,12	19,50	5615,28
41,62	Rm95	41,62	49,17	7,55	5615,28
49,17	Rm96	26,45	49,17	22,72	5615,28
26,45	Rm97	26,45	63,46	37,01	5615,28
63,46	Rm98	-17,88	63,46	81,34	5615,28
-17,88	Rm99	-17,88	46,01	63,89	5615,28
46,01	Rm100	-7,28	46,01	53,29	5615,28
-7,28	Rm101	-15,00	-7,28	7,72	5615,28
-15,00	Rm102	-15,00	-2,13	12,87	5615,28
-2,13	Rm103	-2,13	4,28	6,41	5615,28
4,28	Rm104	-10,58	4,28	14,86	5615,28
-10,58	Rm105	-10,58	-0,42	10,16	5615,28
-0,42	Rm106	-6,59	-0,42	6,17	5615,28
-6,59	Rm107	-6,59	-4,39	2,20	5615,28
-4,39	Rm108	-15,00	-4,39	10,61	5615,28
-15,00	Rm109	-33,00	-15,00	18,00	5615,28
-33,00	Rm110	-33,00	-27,90	5,10	5615,28
-27,90	Rm111	-33,00	-27,90	5,10	5615,28
-33,00	Rm112	-33,00	-33,00	0,00	5615,28
-33,00	Rm113	-33,00	-29,77	3,23	5615,28
-29,77	Rm114	-33,00	-29,77	3,23	5615,28

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	SubGrupos	MIN	MAX	Rmi	∑Rmi
-33,00	Rm115	-33,00	-32,65	0,35	5615,28
-32,65	Rm116	-32,65	-15,76	16,89	5615,28
-15,76	Rm117	-33,00	-15,76	17,24	5615,28
-33,00	Rm118	-33,00	5,28	38,28	5615,28
5,28	Rm119	-33,00	5,28	38,28	5615,28
-33,00	Rm120	-33,00	-33,00	0,00	5615,28
-33,00	Rm121	-33,00	9,90	42,90	5615,28
9,90	Rm122	-33,00	9,90	42,90	5615,28
-33,00	Rm123	-33,00	2,41	35,41	5615,28
2,41	Rm124	-1,01	2,41	3,42	5615,28
-1,01	Rm125	-1,01	0,26	1,27	5615,28
0,26	Rm126	-6,94	0,26	7,20	5615,28
-6,94	Rm127	-6,94	29,12	36,06	5615,28
29,12	Rm128	-33,00	29,12	62,12	5615,28
-33,00	Rm129	-33,00	9,40	42,40	5615,28
9,40	Rm130	-31,43	9,40	40,83	5615,28
-31,43	Rm131	-31,43	-12,74	18,69	5615,28
-12,74	Rm132	-12,74	0,39	13,13	5615,28
0,39	Rm133	-3,03	0,39	3,42	5615,28
-3,03	Rm134	-33,00	-3,03	29,97	5615,28
-33,00	Rm135	-33,00	-33,00	0,00	5615,28
-33,00	Rm136	-33,00	5,54	38,54	5615,28
5,54	Rm137	-33,00	5,54	38,54	5615,28
-33,00	Rm138	-33,00	63,30	96,30	5615,28
63,30	Rm139	63,30	83,94	20,64	5615,28
83,94	Rm140	0,72	83,94	83,22	5615,28
0,72	Rm141	-33,00	0,72	33,72	5615,28
-33,00	Rm142	-33,00	-6,93	26,07	5615,28
-6,93	Rm143	-6,93	28,97	35,90	5615,28

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	SubGrupos	MIN	MAX	Rmi	∑Rmi
28,97	Rm144	1,68	28,97	27,29	5615,28
1,68	Rm145	-33,00	1,68	34,68	5615,28
-33,00	Rm146	-33,00	-33,00	0,00	5615,28
-33,00	Rm147	-33,00	-33,00	0,00	5615,28
-33,00	Rm148	-33,00	-18,09	14,91	5615,28
-18,09	Rm149	-33,00	-18,09	14,91	5615,28
-33,00	Rm150	-33,00	-8,30	24,70	5615,28
-8,30	Rm151	-8,30	11,54	19,84	5615,28
11,54	Rm152	-33,00	11,54	44,54	5615,28
-33,00	Rm153	-33,00	-8,55	24,45	5615,28
-8,55	Rm154	-33,00	-8,55	24,45	5615,28
-33,00	Rm155	-33,00	23,69	56,69	5615,28
23,69	Rm156	-9,96	23,69	33,65	5615,28
-9,96	Rm157	-33,00	-9,96	23,04	5615,28
-33,00	Rm158	-33,00	18,11	51,11	5615,28
18,11	Rm159	-33,00	18,11	51,11	5615,28
-33,00	Rm160	-33,00	-31,20	1,80	5615,28
-31,20	Rm161	-32,53	-31,20	1,33	5615,28
-32,53	Rm162	-33,00	-32,53	0,47	5615,28
-33,00	Rm163	-33,00	15,51	48,51	5615,28
15,51	Rm164	15,51	28,72	13,21	5615,28
28,72	Rm165	28,72	43,50	14,78	5615,28
43,50	Rm166	3,57	43,50	39,93	5615,28
3,57	Rm167	-33,00	3,57	36,57	5615,28
-33,00	Rm168	-33,00	-4,57	28,43	5615,28
-4,57	Rm169	-4,57	36,08	40,65	5615,28
36,08	Rm170	-33,00	36,08	69,08	5615,28
-33,00	Rm171	-33,00	-33,00	0,00	5615,28
-33,00	Rm172	-33,00	-33,00	0,00	5615,28

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
-33,00	Rm173	-33,00	-33,00	0,00	5615,28
-33,00	Rm174	-33,00	-33,00	0,00	5615,28
-33,00	Rm175	-33,00	8,47	41,47	5615,28
8,47	Rm176	8,47	24,64	16,17	5615,28
24,64	Rm177	-31,65	24,64	56,29	5615,28
-31,65	Rm178	-33,00	-31,65	1,35	5615,28
-33,00	Rm179	-33,00	27,82	60,82	5615,28
27,82	Rm180	-30,20	27,82	58,02	5615,28
-30,20	Rm181	-30,20	27,15	57,35	5615,28
27,15	Rm182	2,69	27,15	24,46	5615,28
2,69	Rm183	-17,19	2,69	19,88	5615,28
-17,19	Rm184	-17,19	-2,20	14,99	5615,28
-2,20	Rm185	-2,35	-2,20	0,15	5615,28
-2,35	Rm186	-4,52	-2,35	2,17	5615,28
-4,52	Rm187	-5,59	-4,52	1,07	5615,28
-5,59	Rm188	-10,52	-5,59	4,93	5615,28
-10,52	Rm189	-10,52	-0,09	10,43	5615,28
-0,09	Rm190	-0,09	2,90	2,99	5615,28
2,90	Rm191	2,48	2,90	0,42	5615,28
2,48	Rm192	1,33	2,48	1,15	5615,28
1,33	Rm193	1,33	19,84	18,51	5615,28
19,84	Rm194	-15,00	19,84	34,84	5615,28
-15,00	Rm195	-15,00	2,83	17,83	5615,28
2,83	Rm196	2,83	7,19	4,36	5615,28
7,19	Rm197	7,19	8,55	1,36	5615,28
8,55	Rm198	8,55	9,65	1,10	5615,28
9,65	Rm199	9,65	38,60	28,95	5615,28
38,60	Rm200	13,19	38,60	25,41	5615,28
13,19	Rm201	13,19	46,18	32,99	5615,28

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	SubGrupos	MIN	MAX	Rmi	∑Rmi
46,18	Rm202	13,56	46,18	32,62	5615,28
13,56	Rm203	0,85	13,56	12,71	5615,28
0,85	Rm204	0,85	4,75	3,90	5615,28
4,75	Rm205	4,75	9,54	4,79	5615,28
9,54	Rm206	9,54	9,54	0,00	5615,28

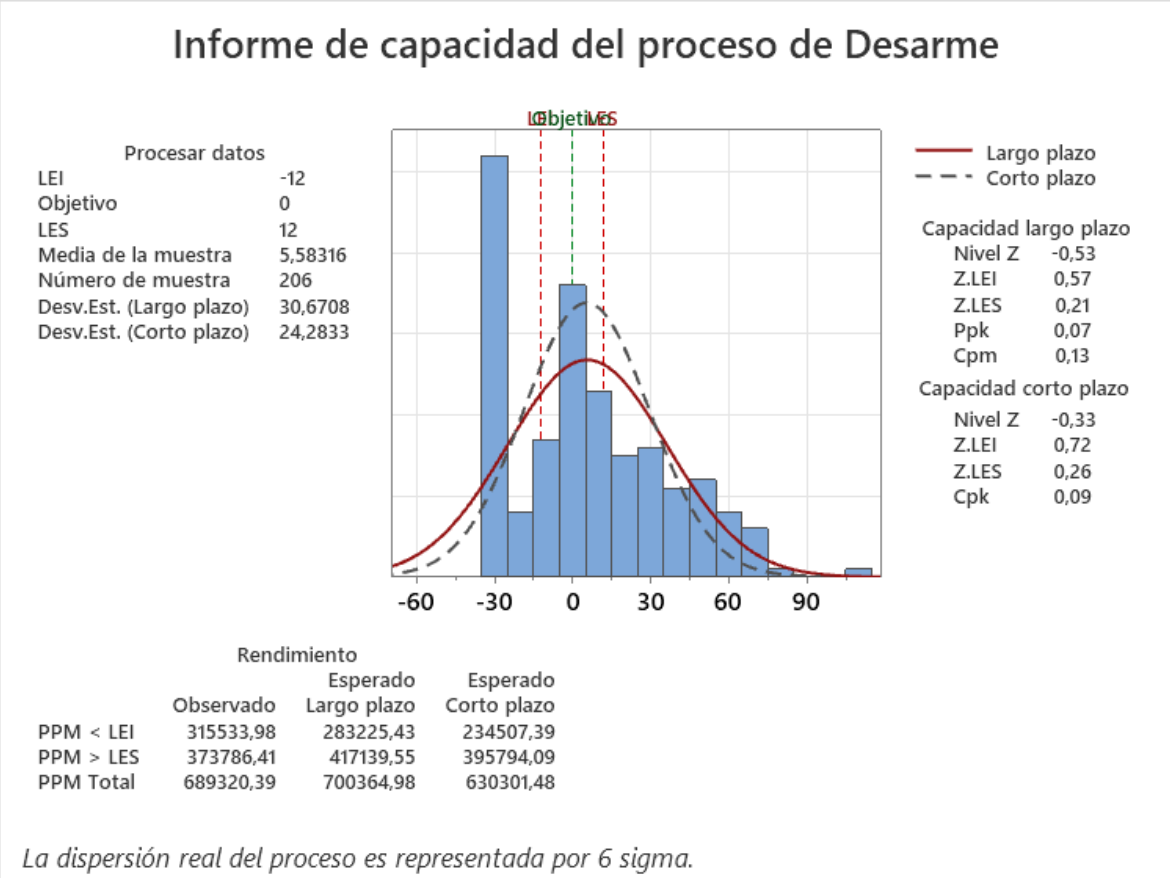

Figura E.1: Análisis de Capacidad de Proceso de Desarme Mandos Finales

Fuente: Elaboración Propia

E.2. Cálculo de Indicadores y Variables - Armado

Tabla E.3: Análisis de Varianza de Tiempos de Armado

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-1,71	-23,99	575,36	594930,70
-9,63	-31,91	1018,04	594930,70
-9,65	-31,93	1019,31	594930,70
20,10	-2,18	4,74	594930,70
-33,17	-55,45	3074,34	594930,70
10,09	-12,19	148,52	594930,70
8,74	-13,54	183,24	594930,70
-33,70	-55,98	3133,39	594930,70
96,81	74,53	5555,21	594930,70
16,07	-6,21	38,52	594930,70
83,41	61,13	3737,28	594930,70
41,63	19,35	374,55	594930,70
65,07	42,79	1831,27	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
-1,93	-24,21	585,96	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
46,91	24,63	606,80	594930,70
41,57	19,29	372,23	594930,70
154,53	132,25	17490,94	594930,70
175,47	153,19	23468,19	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
87,59	65,31	4265,83	594930,70
87,68	65,40	4277,59	594930,70

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
74,22	51,94	2698,11	594930,70
32,95	10,67	113,92	594930,70
75,28	53,00	2809,35	594930,70
78,68	56,40	3181,33	594930,70
93,49	71,21	5071,33	594930,70
200,13	177,85	31631,80	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
35,82	13,54	183,42	594930,70
78,65	56,37	3177,95	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
-1,96	-24,24	587,42	594930,70
74,67	52,39	2745,06	594930,70
42,87	20,59	424,08	594930,70
23,19	0,91	0,83	594930,70
68,66	46,38	2151,41	594930,70
121,10	98,82	9766,04	594930,70
73,40	51,12	2613,59	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
-10,23	-32,51	1056,69	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
-15,70	-37,98	1442,23	594930,70
80,28	58,00	3364,38	594930,70
17,17	-5,11	26,08	594930,70
-11,37	-33,65	1132,10	594930,70
29,48	7,20	51,89	594930,70
34,41	12,13	147,22	594930,70

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
187,61	165,33	27335,10	594930,70
95,38	73,10	5344,09	594930,70
70,11	47,83	2288,02	594930,70
-27,71	-49,99	2498,67	594930,70
-13,71	-35,99	1295,04	594930,70
47,80	25,52	651,44	594930,70
71,75	49,47	2447,61	594930,70
106,32	84,04	7063,28	594930,70
42,63	20,35	414,26	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
175,27	152,99	23406,95	594930,70
-28,19	-50,47	2546,89	594930,70
97,87	75,59	5714,35	594930,70
10,50	-11,78	138,69	594930,70
157,09	134,81	18174,63	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
92,63	70,35	4949,59	594930,70
-29,70	-51,98	2701,58	594930,70
53,97	31,69	1004,47	594930,70
-13,80	-36,08	1301,53	594930,70
-6,63	-28,91	835,60	594930,70
-20,14	-42,42	1799,18	594930,70
-19,70	-41,98	1762,04	594930,70
52,31	30,03	902,00	594930,70
17,83	-4,45	19,77	594930,70
69,56	47,28	2235,71	594930,70
92,26	69,98	4897,66	594930,70
45,19	22,91	525,02	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
117,53	95,25	9073,19	594930,70
112,98	90,70	8227,09	594930,70
44,06	21,78	474,51	594930,70
108,78	86,50	7482,82	594930,70
132,95	110,67	12248,58	594930,70
82,51	60,23	3628,05	594930,70
126,63	104,35	10889,61	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
202,29	180,01	32404,79	594930,70
69,95	47,67	2272,74	594930,70
21,49	-0,79	0,62	594930,70
148,33	126,05	15889,43	594930,70
89,70	67,42	4545,90	594930,70
24,86	2,58	6,67	594930,70
-35,30	-57,58	3315,08	594930,70
-6,70	-28,98	839,65	594930,70
-12,21	-34,49	1189,33	594930,70
-17,00	-39,28	1542,66	594930,70
-17,00	-39,28	1542,66	594930,70
-11,27	-33,55	1125,38	594930,70
-11,33	-33,61	1129,41	594930,70
23,73	1,45	2,11	594930,70
8,99	-13,29	176,54	594930,70
-4,00	-26,28	690,46	594930,70
22,93	0,65	0,43	594930,70
47,66	25,38	644,31	594930,70
53,28	31,00	961,20	594930,70
38,32	16,04	257,39	594930,70
37,97	15,69	246,28	594930,70

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-25,83	-48,11	2314,25	594930,70
98,12	75,84	5752,21	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
11,92	-10,36	107,26	594930,70
2,22	-20,06	402,27	594930,70
9,06	-13,22	174,68	594930,70
47,41	25,13	631,68	594930,70
29,56	7,28	53,05	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
28,22	5,94	35,32	594930,70
-21,13	-43,41	1884,14	594930,70
16,06	-6,22	38,65	594930,70
1,38	-20,90	436,67	594930,70
0,35	-21,93	480,78	594930,70
-28,07	-50,35	2534,79	594930,70
-11,45	-33,73	1137,49	594930,70
33,59	11,31	127,99	594930,70
-24,47	-46,75	2185,25	594930,70
24,56	2,28	5,21	594930,70
54,79	32,51	1057,11	594930,70
105,37	83,09	6904,50	594930,70
-18,64	-40,92	1674,18	594930,70
31,98	9,70	94,15	594930,70

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
60,89	38,61	1490,99	594930,70
16,41	-5,87	34,42	594930,70
-16,68	-38,96	1517,62	594930,70
-13,36	-35,64	1269,97	594930,70
-27,02	-49,30	2430,16	594930,70
19,77	-2,51	6,28	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
3,27	-19,01	361,25	594930,70
-10,67	-32,95	1085,48	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
43,83	21,55	464,54	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
44,07	21,79	474,95	594930,70
80,40	58,12	3378,32	594930,70
-27,87	-50,15	2514,69	594930,70
20,00	-2,28	5,18	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
-16,60	-38,88	1511,40	594930,70
-25,95	-48,23	2325,81	594930,70
-16,12	-38,40	1474,31	594930,70
76,62	54,34	2953,19	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
83,38	61,10	3733,61	594930,70
-24,58	-46,86	2195,55	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
10,87	-11,41	130,11	594930,70
29,22	6,94	48,21	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
-14,23	-36,51	1332,74	594930,70

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
-27,58	-49,86	2485,69	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
54,36	32,08	1029,34	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
102,27	79,99	6398,93	594930,70
80,13	57,85	3347,00	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
55,04	32,76	1073,43	594930,70
21,23	-1,05	1,10	594930,70
16,53	-5,75	33,02	594930,70
57,67	35,39	1252,69	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
-22,49	-44,77	2004,06	594930,70
-28,70	-50,98	2598,62	594930,70
-23,93	-46,21	2135,06	594930,70
-12,25	-34,53	1192,09	594930,70
-17,00	-39,28	1542,66	594930,70
-2,91	-25,19	634,37	594930,70
9,72	-12,56	157,67	594930,70
-4,72	-27,00	728,82	594930,70
3,76	-18,52	342,87	594930,70
0,69	-21,59	465,99	594930,70
11,19	-11,09	122,91	594930,70
35,99	13,71	188,05	594930,70
35,74	13,46	181,26	594930,70
30,91	8,63	74,53	594930,70

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
31,79	9,51	90,50	594930,70
-12,87	-35,15	1235,29	594930,70
-3,53	-25,81	665,99	594930,70
10,91	-11,37	129,20	594930,70
25,50	3,22	10,39	594930,70

Tabla E.4: Análisis de Rangos Móviles - Armado

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
-1,71	Rm1	-9,63	-1,71	7,92	9799,39
-9,63	Rm2	-9,65	-9,63	0,02	9799,39
-9,65	Rm3	-9,65	20,10	29,75	9799,39
20,10	Rm4	-33,17	20,10	53,27	9799,39
-33,17	Rm5	-33,17	10,09	43,26	9799,39
10,09	Rm6	8,74	10,09	1,35	9799,39
8,74	Rm7	-33,70	8,74	42,44	9799,39
-33,70	Rm8	-33,70	96,81	130,51	9799,39
96,81	Rm9	16,07	96,81	80,74	9799,39
16,07	Rm10	16,07	83,41	67,34	9799,39
83,41	Rm11	41,63	83,41	41,78	9799,39
41,63	Rm12	41,63	65,07	23,44	9799,39
65,07	Rm13	-35,30	65,07	100,37	9799,39
-35,30	Rm14	-35,30	-35,30	0,00	9799,39
-35,30	Rm15	-35,30	-35,30	0,00	9799,39
-35,30	Rm16	-35,30	-1,93	33,37	9799,39
-1,93	Rm17	-35,30	-1,93	33,37	9799,39
-35,30	Rm18	-35,30	46,91	82,21	9799,39
46,91	Rm19	41,57	46,91	5,34	9799,39

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
41,57	Rm20	41,57	154,53	112,96	9799,39
154,53	Rm21	154,53	175,47	20,94	9799,39
175,47	Rm22	-35,30	175,47	210,77	9799,39
-35,30	Rm23	-35,30	-35,30	0,00	9799,39
-35,30	Rm24	-35,30	-35,30	0,00	9799,39
-35,30	Rm25	-35,30	87,59	122,89	9799,39
87,59	Rm26	87,59	87,68	0,09	9799,39
87,68	Rm27	74,22	87,68	13,46	9799,39
74,22	Rm28	32,95	74,22	41,27	9799,39
32,95	Rm29	32,95	75,28	42,33	9799,39
75,28	Rm30	75,28	78,68	3,40	9799,39
78,68	Rm31	78,68	93,49	14,81	9799,39
93,49	Rm32	93,49	200,13	106,64	9799,39
200,13	Rm33	-35,30	200,13	235,43	9799,39
-35,30	Rm34	-35,30	35,82	71,12	9799,39
35,82	Rm35	35,82	78,65	42,83	9799,39
78,65	Rm36	-35,30	78,65	113,95	9799,39
-35,30	Rm37	-35,30	-1,96	33,34	9799,39
-1,96	Rm38	-1,96	74,67	76,63	9799,39
74,67	Rm39	42,87	74,67	31,80	9799,39
42,87	Rm40	23,19	42,87	19,68	9799,39
23,19	Rm41	23,19	68,66	45,47	9799,39
68,66	Rm42	68,66	121,10	52,44	9799,39
121,10	Rm43	73,40	121,10	47,70	9799,39
73,40	Rm44	-35,30	73,40	108,70	9799,39
-35,30	Rm45	-35,30	-35,30	0,00	9799,39
-35,30	Rm46	-35,30	-10,23	25,07	9799,39
-10,23	Rm47	-35,30	-10,23	25,07	9799,39
-35,30	Rm48	-35,30	-35,30	0,00	9799,39

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
-35,30	Rm49	-35,30	-35,30	0,00	9799,39
-35,30	Rm50	-35,30	-15,70	19,60	9799,39
-15,70	Rm51	-15,70	80,28	95,98	9799,39
80,28	Rm52	17,17	80,28	63,11	9799,39
17,17	Rm53	-11,37	17,17	28,54	9799,39
-11,37	Rm54	-11,37	29,48	40,85	9799,39
29,48	Rm55	29,48	34,41	4,93	9799,39
34,41	Rm56	34,41	187,61	153,20	9799,39
187,61	Rm57	95,38	187,61	92,23	9799,39
95,38	Rm58	70,11	95,38	25,27	9799,39
70,11	Rm59	-27,71	70,11	97,82	9799,39
-27,71	Rm60	-27,71	-13,71	14,00	9799,39
-13,71	Rm61	-13,71	47,80	61,51	9799,39
47,80	Rm62	47,80	71,75	23,95	9799,39
71,75	Rm63	71,75	106,32	34,57	9799,39
106,32	Rm64	42,63	106,32	63,69	9799,39
42,63	Rm65	-35,30	42,63	77,93	9799,39
-35,30	Rm66	-35,30	175,27	210,57	9799,39
175,27	Rm67	-28,19	175,27	203,46	9799,39
-28,19	Rm68	-28,19	97,87	126,06	9799,39
97,87	Rm69	10,50	97,87	87,37	9799,39
10,50	Rm70	10,50	157,09	146,59	9799,39
157,09	Rm71	-35,30	157,09	192,39	9799,39
-35,30	Rm72	-35,30	92,63	127,93	9799,39
92,63	Rm73	-29,70	92,63	122,33	9799,39
-29,70	Rm74	-29,70	53,97	83,67	9799,39
53,97	Rm75	-13,80	53,97	67,77	9799,39
-13,80	Rm76	-13,80	-6,63	7,17	9799,39
-6,63	Rm77	-20,14	-6,63	13,51	9799,39

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
-20,14	Rm78	-20,14	-19,70	0,44	9799,39
-19,70	Rm79	-19,70	52,31	72,01	9799,39
52,31	Rm80	17,83	52,31	34,48	9799,39
17,83	Rm81	17,83	69,56	51,73	9799,39
69,56	Rm82	69,56	92,26	22,70	9799,39
92,26	Rm83	45,19	92,26	47,07	9799,39
45,19	Rm84	-35,30	45,19	80,49	9799,39
-35,30	Rm85	-35,30	117,53	152,83	9799,39
117,53	Rm86	112,98	117,53	4,55	9799,39
112,98	Rm87	44,06	112,98	68,92	9799,39
44,06	Rm88	44,06	108,78	64,72	9799,39
108,78	Rm89	108,78	132,95	24,17	9799,39
132,95	Rm90	82,51	132,95	50,44	9799,39
82,51	Rm91	82,51	126,63	44,12	9799,39
126,63	Rm92	-35,30	126,63	161,93	9799,39
-35,30	Rm93	-35,30	202,29	237,59	9799,39
202,29	Rm94	69,95	202,29	132,34	9799,39
69,95	Rm95	21,49	69,95	48,46	9799,39
21,49	Rm96	21,49	148,33	126,84	9799,39
148,33	Rm97	89,70	148,33	58,63	9799,39
89,70	Rm98	24,86	89,70	64,84	9799,39
24,86	Rm99	-35,30	24,86	60,16	9799,39
-35,30	Rm100	-35,30	-6,70	28,60	9799,39
-6,70	Rm101	-12,21	-6,70	5,51	9799,39
-12,21	Rm102	-17,00	-12,21	4,79	9799,39
-17,00	Rm103	-17,00	-17,00	0,00	9799,39
-17,00	Rm104	-17,00	-11,27	5,73	9799,39
-11,27	Rm105	-11,33	-11,27	0,06	9799,39
-11,33	Rm106	-11,33	23,73	35,06	9799,39

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	SubGrupos	MIN	MAX	Rmi	∑Rmi
23,73	Rm107	8,99	23,73	14,74	9799,39
8,99	Rm108	-4,00	8,99	12,99	9799,39
-4,00	Rm109	-4,00	22,93	26,93	9799,39
22,93	Rm110	22,93	47,66	24,73	9799,39
47,66	Rm111	47,66	53,28	5,62	9799,39
53,28	Rm112	38,32	53,28	14,96	9799,39
38,32	Rm113	37,97	38,32	0,35	9799,39
37,97	Rm114	-25,83	37,97	63,80	9799,39
-25,83	Rm115	-25,83	98,12	123,95	9799,39
98,12	Rm116	-28,70	98,12	126,82	9799,39
-28,70	Rm117	-28,70	-28,70	0,00	9799,39
-28,70	Rm118	-28,70	-28,70	0,00	9799,39
-28,70	Rm119	-28,70	-28,70	0,00	9799,39
-28,70	Rm120	-28,70	-28,70	0,00	9799,39
-28,70	Rm121	-28,70	-28,70	0,00	9799,39
-28,70	Rm122	-28,70	-28,70	0,00	9799,39
-28,70	Rm123	-28,70	11,92	40,62	9799,39
11,92	Rm124	2,22	11,92	9,70	9799,39
2,22	Rm125	2,22	9,06	6,84	9799,39
9,06	Rm126	9,06	47,41	38,35	9799,39
47,41	Rm127	29,56	47,41	17,85	9799,39
29,56	Rm128	-28,70	29,56	58,26	9799,39
-28,70	Rm129	-28,70	28,22	56,92	9799,39
28,22	Rm130	-21,13	28,22	49,35	9799,39
-21,13	Rm131	-21,13	16,06	37,19	9799,39
16,06	Rm132	1,38	16,06	14,68	9799,39
1,38	Rm133	0,35	1,38	1,03	9799,39
0,35	Rm134	-28,07	0,35	28,42	9799,39
-28,07	Rm135	-28,07	-11,45	16,62	9799,39

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	SubGrupos	MIN	MAX	Rmi	∑Rmi
-11,45	Rm136	-11,45	33,59	45,04	9799,39
33,59	Rm137	-24,47	33,59	58,06	9799,39
-24,47	Rm138	-24,47	24,56	49,03	9799,39
24,56	Rm139	24,56	54,79	30,23	9799,39
54,79	Rm140	54,79	105,37	50,58	9799,39
105,37	Rm141	-18,64	105,37	124,01	9799,39
-18,64	Rm142	-18,64	31,98	50,62	9799,39
31,98	Rm143	31,98	60,89	28,91	9799,39
60,89	Rm144	16,41	60,89	44,48	9799,39
16,41	Rm145	-16,68	16,41	33,09	9799,39
-16,68	Rm146	-16,68	-13,36	3,32	9799,39
-13,36	Rm147	-27,02	-13,36	13,66	9799,39
-27,02	Rm148	-27,02	19,77	46,79	9799,39
19,77	Rm149	-28,70	19,77	48,47	9799,39
-28,70	Rm150	-28,70	3,27	31,97	9799,39
3,27	Rm151	-10,67	3,27	13,94	9799,39
-10,67	Rm152	-28,70	-10,67	18,03	9799,39
-28,70	Rm153	-28,70	43,83	72,53	9799,39
43,83	Rm154	-28,70	43,83	72,53	9799,39
-28,70	Rm155	-28,70	44,07	72,77	9799,39
44,07	Rm156	44,07	80,40	36,33	9799,39
80,40	Rm157	-27,87	80,40	108,27	9799,39
-27,87	Rm158	-27,87	20,00	47,87	9799,39
20,00	Rm159	-28,70	20,00	48,70	9799,39
-28,70	Rm160	-28,70	-16,60	12,10	9799,39
-16,60	Rm161	-25,95	-16,60	9,35	9799,39
-25,95	Rm162	-25,95	-16,12	9,83	9799,39
-16,12	Rm163	-16,12	76,62	92,74	9799,39
76,62	Rm164	-28,70	76,62	105,32	9799,39

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	SubGrupos	MIN	MAX	Rmi	∑Rmi
-28,70	Rm165	-28,70	83,38	112,08	9799,39
83,38	Rm166	-24,58	83,38	107,96	9799,39
-24,58	Rm167	-28,70	-24,58	4,12	9799,39
-28,70	Rm168	-28,70	10,87	39,57	9799,39
10,87	Rm169	10,87	29,22	18,35	9799,39
29,22	Rm170	-28,70	29,22	57,92	9799,39
-28,70	Rm171	-28,70	-14,23	14,47	9799,39
-14,23	Rm172	-28,70	-14,23	14,47	9799,39
-28,70	Rm173	-28,70	-27,58	1,12	9799,39
-27,58	Rm174	-28,70	-27,58	1,12	9799,39
-28,70	Rm175	-28,70	54,36	83,06	9799,39
54,36	Rm176	-28,70	54,36	83,06	9799,39
-28,70	Rm177	-28,70	-28,70	0,00	9799,39
-28,70	Rm178	-28,70	-28,70	0,00	9799,39
-28,70	Rm179	-28,70	102,27	130,97	9799,39
102,27	Rm180	80,13	102,27	22,14	9799,39
80,13	Rm181	-28,70	80,13	108,83	9799,39
-28,70	Rm182	-28,70	55,04	83,74	9799,39
55,04	Rm183	21,23	55,04	33,81	9799,39
21,23	Rm184	16,53	21,23	4,70	9799,39
16,53	Rm185	16,53	57,67	41,14	9799,39
57,67	Rm186	-28,70	57,67	86,37	9799,39
-28,70	Rm187	-28,70	-22,49	6,21	9799,39
-22,49	Rm188	-28,70	-22,49	6,21	9799,39
-28,70	Rm189	-28,70	-23,93	4,77	9799,39
-23,93	Rm190	-23,93	-12,25	11,68	9799,39
-12,25	Rm191	-17,00	-12,25	4,75	9799,39
-17,00	Rm192	-17,00	-2,91	14,09	9799,39
-2,91	Rm193	-2,91	9,72	12,63	9799,39

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
9,72	Rm194	-4,72	9,72	14,44	9799,39
-4,72	Rm195	-4,72	3,76	8,48	9799,39
3,76	Rm196	0,69	3,76	3,07	9799,39
0,69	Rm197	0,69	11,19	10,50	9799,39
11,19	Rm198	11,19	35,99	24,80	9799,39
35,99	Rm199	35,74	35,99	0,25	9799,39
35,74	Rm200	30,91	35,74	4,83	9799,39
30,91	Rm201	30,91	31,79	0,88	9799,39
31,79	Rm202	-12,87	31,79	44,66	9799,39
-12,87	Rm203	-12,87	-3,53	9,34	9799,39
-3,53	Rm204	-3,53	10,91	14,44	9799,39
10,91	Rm205	10,91	25,50	14,59	9799,39
25,50	Rm206	25,50	25,50	0,00	9799,39

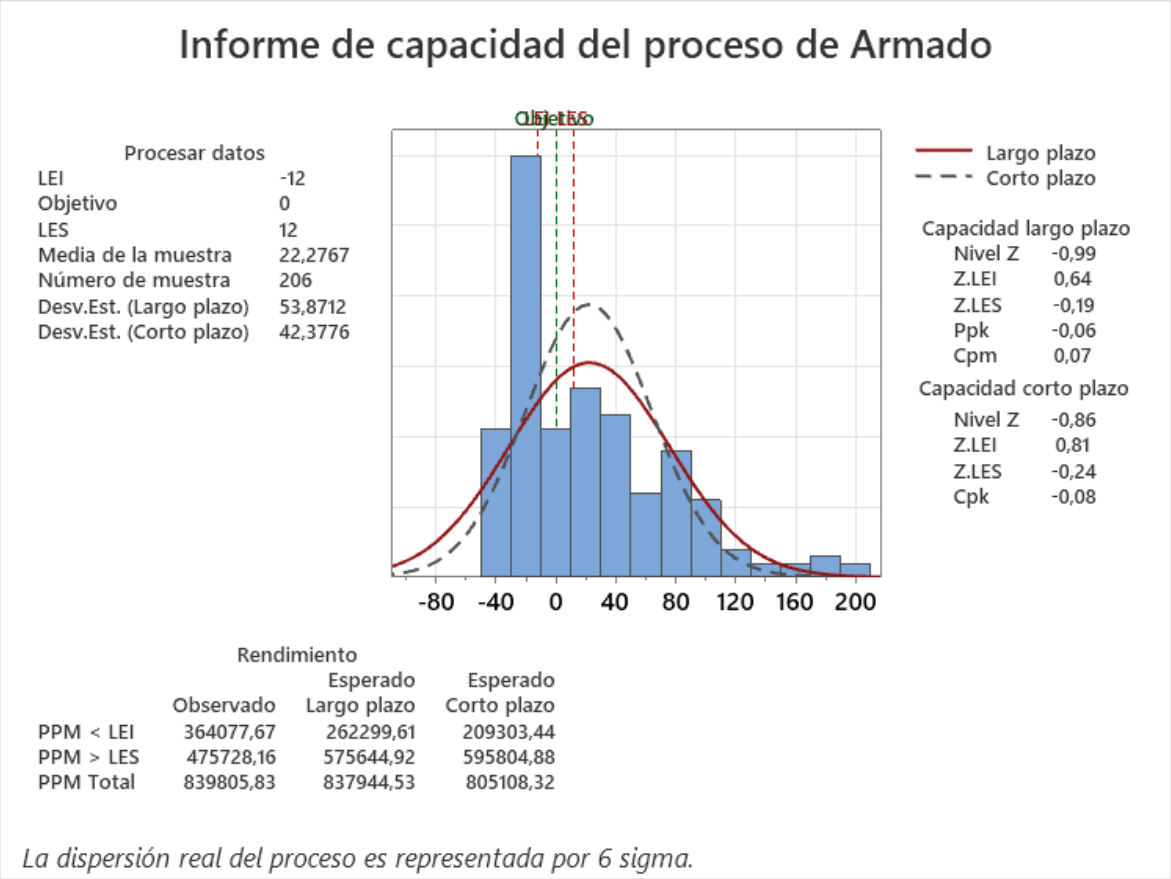

Figura E.2: Análisis de Capacidad de Proceso de Armado Mandos Finales

Fuente: Elaboración Propia

E.3. Cálculo de Indicadores y Variables - Pintura

Tabla E.5: Análisis de Varianza de Tiempos de Pintura

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
10,20	9,77	95,54	5049,27
5,09	4,66	21,76	5049,27
3,64	3,21	10,33	5049,27
14,20	13,77	189,73	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-0,38	-0,81	0,65	5049,27
-1,18	-1,61	2,58	5049,27

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
17,77	17,34	300,83	5049,27
6,87	6,44	41,53	5049,27
6,01	5,58	31,18	5049,27
14,57	14,14	200,06	5049,27
15,87	15,44	238,53	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
10,92	10,49	110,13	5049,27
9,03	8,60	74,03	5049,27
-1,88	-2,31	5,32	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-1,23	-1,66	2,74	5049,27
-1,43	-1,86	3,44	5049,27
0,92	0,49	0,24	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
0,05	-0,38	0,14	5049,27
2,40	1,97	3,90	5049,27
8,88	8,45	71,48	5049,27
4,54	4,11	16,93	5049,27
0,52	0,09	0,01	5049,27
0,83	0,40	0,16	5049,27
11,69	11,26	126,88	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
10,06	9,63	92,82	5049,27
3,83	3,40	11,59	5049,27

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-0,22	-0,65	0,42	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-1,48	-1,91	3,63	5049,27
-1,33	-1,76	3,08	5049,27
8,38	7,95	63,27	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-1,02	-1,45	2,09	5049,27
3,43	3,00	9,03	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-0,43	-0,86	0,73	5049,27
8,12	7,69	59,20	5049,27
1,25	0,82	0,68	5049,27
8,44	8,01	64,23	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-1,47	-1,90	3,59	5049,27
6,50	6,07	36,90	5049,27
8,61	8,18	66,98	5049,27
0,82	0,39	0,16	5049,27

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
10,67	10,24	104,95	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
5,77	5,34	28,56	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
6,00	5,57	31,07	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
7,93	7,50	56,31	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
10,71	10,28	105,77	5049,27
-0,08	-0,51	0,26	5049,27
8,40	7,97	63,59	5049,27
-1,50	-1,93	3,71	5049,27
1,77	1,34	1,81	5049,27
-2,47	-2,90	8,38	5049,27
1,05	0,62	0,39	5049,27
4,32	3,89	15,17	5049,27
-0,24	-0,67	0,44	5049,27
0,34	-0,09	0,01	5049,27
7,38	6,95	48,36	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
0,32	-0,11	0,01	5049,27
-0,92	-1,35	1,81	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-0,90	-1,33	1,76	5049,27
-1,05	-1,48	2,18	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
1,12	0,69	0,48	5049,27

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-2,67	-3,10	9,58	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-2,00	-2,43	5,88	5049,27
-2,00	-2,43	5,88	5049,27
-2,00	-2,43	5,88	5049,27
-2,00	-2,43	5,88	5049,27
-2,00	-2,43	5,88	5049,27
-2,00	-2,43	5,88	5049,27
-2,00	-2,43	5,88	5049,27
2,00	1,57	2,48	5049,27
-2,00	-2,43	5,88	5049,27
10,82	10,39	108,04	5049,27
4,72	4,29	18,44	5049,27
-2,17	-2,60	6,74	5049,27
-1,60	-2,03	4,10	5049,27
1,00	0,57	0,33	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
20,86	20,43	417,56	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-0,65	-1,08	1,16	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
0,92	0,49	0,24	5049,27
1,97	1,54	2,38	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
1,75	1,32	1,75	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
5,86	5,43	29,53	5049,27
-0,15	-0,58	0,33	5049,27
16,26	15,83	250,73	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
0,57	0,14	0,02	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-1,32	-1,75	3,05	5049,27
1,70	1,27	1,62	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-1,00	-1,43	2,03	5049,27
-0,90	-1,33	1,76	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-2,40	-2,83	7,98	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-0,50	-0,93	0,86	5049,27
4,14	3,71	13,80	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
8,47	8,04	64,71	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
5,57	5,14	26,46	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
4,34	3,91	15,32	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-1,97	-2,40	5,74	5049,27
-2,10	-2,53	6,38	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
7,18	6,75	45,62	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
0,13	-0,30	0,09	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-2,43	-2,86	8,15	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
14,28	13,85	191,94	5049,27

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-0,83	-1,26	1,58	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
0,70	0,27	0,08	5049,27
0,12	-0,31	0,09	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-3,00	-3,43	11,74	5049,27
-2,00	-2,43	5,88	5049,27
-2,00	-2,43	5,88	5049,27
-2,00	-2,43	5,88	5049,27
0,20	-0,23	0,05	5049,27
4,60	4,17	17,42	5049,27
-2,00	-2,43	5,88	5049,27
13,80	13,37	178,87	5049,27
0,35	-0,08	0,01	5049,27
5,49	5,06	25,65	5049,27
5,47	5,04	25,45	5049,27
-0,78	-1,21	1,45	5049,27
-2,00	-2,43	5,88	5049,27
-2,00	-2,43	5,88	5049,27
1,68	1,25	1,57	5049,27
2,08	1,65	2,74	5049,27
1,12	0,69	0,48	5049,27

Tabla E.6: Análisis de Rangos Móviles - Pintura

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
10,20	Rm1	5,09	10,20	5,11	886,96
5,09	Rm2	3,64	5,09	1,45	886,96
3,64	Rm3	3,64	14,20	10,56	886,96
14,20	Rm4	-3,00	14,20	17,20	886,96
-3,00	Rm5	-3,00	-0,38	2,62	886,96
-0,38	Rm6	-1,18	-0,38	0,80	886,96
-1,18	Rm7	-3,00	-1,18	1,82	886,96
-3,00	Rm8	-3,00	17,77	20,77	886,96
17,77	Rm9	6,87	17,77	10,90	886,96
6,87	Rm10	6,01	6,87	0,86	886,96
6,01	Rm11	6,01	14,57	8,56	886,96
14,57	Rm12	14,57	15,87	1,30	886,96
15,87	Rm13	-3,00	15,87	18,87	886,96
-3,00	Rm14	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm15	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm16	-3,00	10,92	13,92	886,96
10,92	Rm17	9,03	10,92	1,89	886,96
9,03	Rm18	-1,88	9,03	10,91	886,96
-1,88	Rm19	-3,00	-1,88	1,12	886,96
-3,00	Rm20	-3,00	-1,23	1,77	886,96
-1,23	Rm21	-1,43	-1,23	0,20	886,96
-1,43	Rm22	-1,43	0,92	2,35	886,96
0,92	Rm23	-3,00	0,92	3,92	886,96
-3,00	Rm24	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm25	-3,00	0,05	3,05	886,96
0,05	Rm26	0,05	2,40	2,35	886,96
2,40	Rm27	2,40	8,88	6,48	886,96

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
8,88	Rm28	4,54	8,88	4,34	886,96
4,54	Rm29	0,52	4,54	4,02	886,96
0,52	Rm30	0,52	0,83	0,31	886,96
0,83	Rm31	0,83	11,69	10,86	886,96
11,69	Rm32	-3,00	11,69	14,69	886,96
-3,00	Rm33	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm34	-3,00	10,06	13,06	886,96
10,06	Rm35	3,83	10,06	6,23	886,96
3,83	Rm36	-3,00	3,83	6,83	886,96
-3,00	Rm37	-3,00	-0,22	2,78	886,96
-0,22	Rm38	-3,00	-0,22	2,78	886,96
-3,00	Rm39	-3,00	-1,48	1,52	886,96
-1,48	Rm40	-1,48	-1,33	0,15	886,96
-1,33	Rm41	-1,33	8,38	9,71	886,96
8,38	Rm42	-3,00	8,38	11,38	886,96
-3,00	Rm43	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm44	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm45	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm46	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm47	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm48	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm49	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm50	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm51	-3,00	-1,02	1,98	886,96
-1,02	Rm52	-1,02	3,43	4,45	886,96
3,43	Rm53	-3,00	3,43	6,43	886,96
-3,00	Rm54	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm55	-3,00	-0,43	2,57	886,96
-0,43	Rm56	-0,43	8,12	8,55	886,96

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
8,12	Rm57	1,25	8,12	6,87	886,96
1,25	Rm58	1,25	8,44	7,19	886,96
8,44	Rm59	-3,00	8,44	11,44	886,96
-3,00	Rm60	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm61	-3,00	-1,47	1,53	886,96
-1,47	Rm62	-1,47	6,50	7,97	886,96
6,50	Rm63	6,50	8,61	2,11	886,96
8,61	Rm64	0,82	8,61	7,79	886,96
0,82	Rm65	-3,00	0,82	3,82	886,96
-3,00	Rm66	-3,00	10,67	13,67	886,96
10,67	Rm67	-3,00	10,67	13,67	886,96
-3,00	Rm68	-3,00	5,77	8,77	886,96
5,77	Rm69	-3,00	5,77	8,77	886,96
-3,00	Rm70	-3,00	6,00	9,00	886,96
6,00	Rm71	-3,00	6,00	9,00	886,96
-3,00	Rm72	-3,00	7,93	10,93	886,96
7,93	Rm73	-3,00	7,93	10,93	886,96
-3,00	Rm74	-3,00	10,71	13,71	886,96
10,71	Rm75	-0,08	10,71	10,79	886,96
-0,08	Rm76	-0,08	8,40	8,48	886,96
8,40	Rm77	-1,50	8,40	9,90	886,96
-1,50	Rm78	-1,50	1,77	3,27	886,96
1,77	Rm79	-2,47	1,77	4,24	886,96
-2,47	Rm80	-2,47	1,05	3,52	886,96
1,05	Rm81	1,05	4,32	3,27	886,96
4,32	Rm82	-0,24	4,32	4,56	886,96
-0,24	Rm83	-0,24	0,34	0,58	886,96
0,34	Rm84	0,34	7,38	7,04	886,96
7,38	Rm85	-3,00	7,38	10,38	886,96

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
-3,00	Rm86	-3,00	0,32	3,32	886,96
0,32	Rm87	-0,92	0,32	1,24	886,96
-0,92	Rm88	-3,00	-0,92	2,08	886,96
-3,00	Rm89	-3,00	-0,90	2,10	886,96
-0,90	Rm90	-1,05	-0,90	0,15	886,96
-1,05	Rm91	-3,00	-1,05	1,95	886,96
-3,00	Rm92	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm93	-3,00	1,12	4,12	886,96
1,12	Rm94	-3,00	1,12	4,12	886,96
-3,00	Rm95	-3,00	-2,67	0,33	886,96
-2,67	Rm96	-3,00	-2,67	0,33	886,96
-3,00	Rm97	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm98	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm99	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm100	-3,00	-2,00	1,00	886,96
-2,00	Rm101	-2,00	-2,00	0,00	886,96
-2,00	Rm102	-2,00	-2,00	0,00	886,96
-2,00	Rm103	-2,00	-2,00	0,00	886,96
-2,00	Rm104	-2,00	-2,00	0,00	886,96
-2,00	Rm105	-2,00	-2,00	0,00	886,96
-2,00	Rm106	-2,00	-2,00	0,00	886,96
-2,00	Rm107	-2,00	2,00	4,00	886,96
2,00	Rm108	-2,00	2,00	4,00	886,96
-2,00	Rm109	-2,00	10,82	12,82	886,96
10,82	Rm110	4,72	10,82	6,10	886,96
4,72	Rm111	-2,17	4,72	6,89	886,96
-2,17	Rm112	-2,17	-1,60	0,57	886,96
-1,60	Rm113	-1,60	1,00	2,60	886,96
1,00	Rm114	-3,00	1,00	4,00	886,96

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
-3,00	Rm115	-3,00	20,86	23,86	886,96
20,86	Rm116	-3,00	20,86	23,86	886,96
-3,00	Rm117	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm118	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm119	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm120	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm121	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm122	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm123	-3,00	-0,65	2,35	886,96
-0,65	Rm124	-3,00	-0,65	2,35	886,96
-3,00	Rm125	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm126	-3,00	0,92	3,92	886,96
0,92	Rm127	0,92	1,97	1,05	886,96
1,97	Rm128	-3,00	1,97	4,97	886,96
-3,00	Rm129	-3,00	1,75	4,75	886,96
1,75	Rm130	-3,00	1,75	4,75	886,96
-3,00	Rm131	-3,00	5,86	8,86	886,96
5,86	Rm132	-0,15	5,86	6,01	886,96
-0,15	Rm133	-0,15	16,26	16,41	886,96
16,26	Rm134	-3,00	16,26	19,26	886,96
-3,00	Rm135	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm136	-3,00	0,57	3,57	886,96
0,57	Rm137	-3,00	0,57	3,57	886,96
-3,00	Rm138	-3,00	-1,32	1,68	886,96
-1,32	Rm139	-1,32	1,70	3,02	886,96
1,70	Rm140	-3,00	1,70	4,70	886,96
-3,00	Rm141	-3,00	-1,00	2,00	886,96
-1,00	Rm142	-1,00	-0,90	0,10	886,96
-0,90	Rm143	-3,00	-0,90	2,10	886,96

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
-3,00	Rm144	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm145	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm146	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm147	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm148	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm149	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm150	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm151	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm152	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm153	-3,00	-2,40	0,60	886,96
-2,40	Rm154	-3,00	-2,40	0,60	886,96
-3,00	Rm155	-3,00	-0,50	2,50	886,96
-0,50	Rm156	-0,50	4,14	4,64	886,96
4,14	Rm157	-3,00	4,14	7,14	886,96
-3,00	Rm158	-3,00	8,47	11,47	886,96
8,47	Rm159	-3,00	8,47	11,47	886,96
-3,00	Rm160	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm161	-3,00	5,57	8,57	886,96
5,57	Rm162	-3,00	5,57	8,57	886,96
-3,00	Rm163	-3,00	4,34	7,34	886,96
4,34	Rm164	-3,00	4,34	7,34	886,96
-3,00	Rm165	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm166	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm167	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm168	-3,00	-1,97	1,03	886,96
-1,97	Rm169	-2,10	-1,97	0,13	886,96
-2,10	Rm170	-3,00	-2,10	0,90	886,96
-3,00	Rm171	-3,00	7,18	10,18	886,96
7,18	Rm172	-3,00	7,18	10,18	886,96

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
-3,00	Rm173	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm174	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm175	-3,00	0,13	3,13	886,96
0,13	Rm176	-3,00	0,13	3,13	886,96
-3,00	Rm177	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm178	-3,00	-2,43	0,57	886,96
-2,43	Rm179	-3,00	-2,43	0,57	886,96
-3,00	Rm180	-3,00	14,28	17,28	886,96
14,28	Rm181	-3,00	14,28	17,28	886,96
-3,00	Rm182	-3,00	-0,83	2,17	886,96
-0,83	Rm183	-3,00	-0,83	2,17	886,96
-3,00	Rm184	-3,00	0,70	3,70	886,96
0,70	Rm185	0,12	0,70	0,58	886,96
0,12	Rm186	-3,00	0,12	3,12	886,96
-3,00	Rm187	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm188	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm189	-3,00	-3,00	0,00	886,96
-3,00	Rm190	-3,00	-2,00	1,00	886,96
-2,00	Rm191	-2,00	-2,00	0,00	886,96
-2,00	Rm192	-2,00	-2,00	0,00	886,96
-2,00	Rm193	-2,00	0,20	2,20	886,96
0,20	Rm194	0,20	4,60	4,40	886,96
4,60	Rm195	-2,00	4,60	6,60	886,96
-2,00	Rm196	-2,00	13,80	15,80	886,96
13,80	Rm197	0,35	13,80	13,45	886,96
0,35	Rm198	0,35	5,49	5,14	886,96
5,49	Rm199	5,47	5,49	0,02	886,96
5,47	Rm200	-0,78	5,47	6,25	886,96
-0,78	Rm201	-2,00	-0,78	1,22	886,96

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	SubGrupos	MIN	MAX	Rmi	∑Rmi
-2,00	Rm202	-2,00	-2,00	0,00	886,96
-2,00	Rm203	-2,00	1,68	3,68	886,96
1,68	Rm204	1,68	2,08	0,40	886,96
2,08	Rm205	1,12	2,08	0,96	886,96
1,12	Rm206	1,12	1,12	0,00	886,96

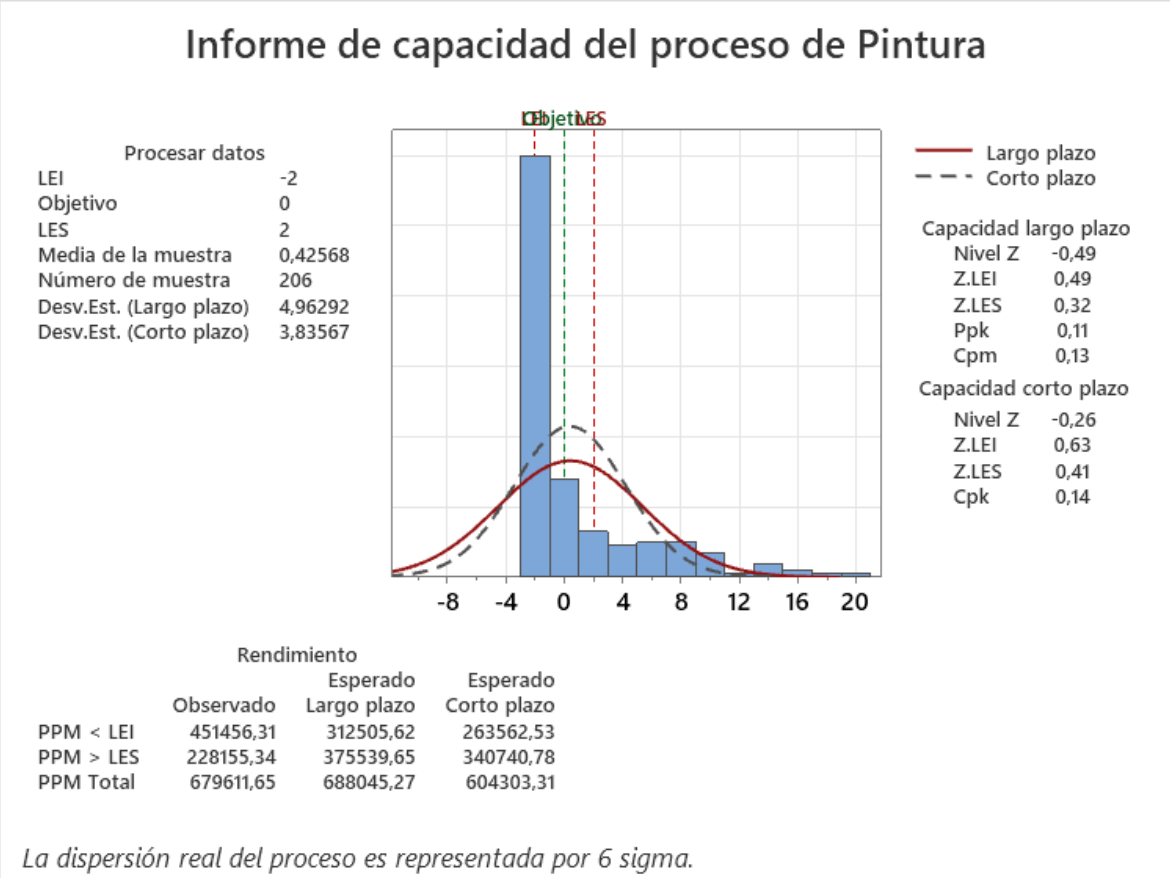

Figura E.3: Análisis de Capacidad de Proceso de Pintura Mandos Finales

Fuente: Elaboración Propia

E.4. Cálculo de Indicadores y Variables - Pruebas

Tabla E.7: Análisis de Varianza de Tiempos de Pruebas

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-2,00	-4,93	24,27	14974,37
8,95	6,02	36,29	14974,37
3,50	0,57	0,33	14974,37
-2,00	-4,93	24,27	14974,37
-2,00	-4,93	24,27	14974,37
-2,00	-4,93	24,27	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
4,37	1,44	2,09	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
6,86	3,93	15,48	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
1,88	-1,05	1,09	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,47	-2,46	6,03	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,18	-2,75	7,54	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,92	-2,01	4,02	14974,37
5,47	2,54	6,47	14974,37
5,23	2,30	5,31	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
0,00	-2,93	8,56	14974,37
6,62	3,69	13,65	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
13,82	10,89	118,68	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
1,22	-1,71	2,91	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
15,30	12,37	153,12	14974,37
11,02	8,09	65,51	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
32,27	29,34	861,07	14974,37
3,63	0,70	0,50	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
18,88	15,95	254,53	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
12,11	9,18	84,35	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
9,57	6,64	44,14	14974,37
11,57	8,64	74,72	14974,37
30,45	27,52	757,57	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
18,84	15,91	253,25	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
16,07	13,14	172,76	14974,37
68,37	65,44	4282,91	14974,37
11,57	8,64	74,72	14974,37

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
16,50	13,57	184,25	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
6,62	3,69	13,65	14974,37
21,69	18,76	352,09	14974,37
3,12	0,19	0,04	14974,37
0,23	-2,70	7,27	14974,37
11,35	8,42	70,96	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
27,63	24,70	610,29	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
21,22	18,29	334,67	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
24,71	21,78	474,54	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
28,29	25,36	643,33	14974,37
55,48	52,55	2761,92	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,39	-2,54	6,43	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
7,45	4,52	20,47	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
14,88	11,95	142,90	14974,37
2,18	-0,75	0,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
16,89	13,96	194,99	14974,37
1,60	-1,33	1,76	14974,37

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
5,07	2,14	4,60	14974,37
2,95	0,02	0,00	14974,37
23,37	20,44	417,96	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37

Continúa en la siguiente página...

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37
0,00	-2,93	8,56	14974,37

Tabla E.8: Análisis de Rangos Móviles - Pruebas

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
-2,00	Rm1	-2,00	8,95	10,95	958,68
8,95	Rm2	3,50	8,95	5,45	958,68
3,50	Rm3	-2,00	3,50	5,50	958,68
-2,00	Rm4	-2,00	-2,00	0,00	958,68
-2,00	Rm5	-2,00	-2,00	0,00	958,68
-2,00	Rm6	-2,00	0,00	2,00	958,68
0,00	Rm7	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm8	0,00	4,37	4,37	958,68
4,37	Rm9	0,00	4,37	4,37	958,68
0,00	Rm10	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm11	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm12	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm13	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm14	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm15	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm16	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm17	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm18	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm19	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm20	0,00	0,00	0,00	958,68

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
0,00	Rm21	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm22	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm23	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm24	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm25	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm26	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm27	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm28	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm29	0,00	6,86	6,86	958,68
6,86	Rm30	0,00	6,86	6,86	958,68
0,00	Rm31	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm32	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm33	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm34	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm35	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm36	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm37	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm38	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm39	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm40	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm41	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm42	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm43	0,00	1,88	1,88	958,68
1,88	Rm44	0,00	1,88	1,88	958,68
0,00	Rm45	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm46	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm47	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm48	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm49	0,00	0,00	0,00	958,68

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
0,00	Rm50	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm51	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm52	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm53	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm54	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm55	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm56	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm57	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm58	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm59	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm60	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm61	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm62	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm63	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm64	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm65	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm66	0,00	0,47	0,47	958,68
0,47	Rm67	0,00	0,47	0,47	958,68
0,00	Rm68	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm69	0,00	0,18	0,18	958,68
0,18	Rm70	0,00	0,18	0,18	958,68
0,00	Rm71	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm72	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm73	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm74	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm75	0,00	0,92	0,92	958,68
0,92	Rm76	0,92	5,47	4,55	958,68
5,47	Rm77	5,23	5,47	0,24	958,68
5,23	Rm78	0,00	5,23	5,23	958,68

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	SubGrupos	MIN	MAX	Rmi	∑Rmi
0,00	Rm79	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm80	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm81	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm82	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm83	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm84	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm85	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm86	0,00	6,62	6,62	958,68
6,62	Rm87	0,00	6,62	6,62	958,68
0,00	Rm88	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm89	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm90	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm91	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm92	0,00	13,82	13,82	958,68
13,82	Rm93	0,00	13,82	13,82	958,68
0,00	Rm94	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm95	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm96	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm97	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm98	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm99	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm100	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm101	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm102	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm103	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm104	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm105	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm106	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm107	0,00	0,00	0,00	958,68

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
0,00	Rm108	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm109	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm110	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm111	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm112	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm113	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm114	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm115	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm116	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm117	0,00	1,22	1,22	958,68
1,22	Rm118	0,00	1,22	1,22	958,68
0,00	Rm119	0,00	15,30	15,30	958,68
15,30	Rm120	11,02	15,30	4,28	958,68
11,02	Rm121	0,00	11,02	11,02	958,68
0,00	Rm122	0,00	32,27	32,27	958,68
32,27	Rm123	3,63	32,27	28,64	958,68
3,63	Rm124	0,00	3,63	3,63	958,68
0,00	Rm125	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm126	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm127	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm128	0,00	18,88	18,88	958,68
18,88	Rm129	0,00	18,88	18,88	958,68
0,00	Rm130	0,00	12,11	12,11	958,68
12,11	Rm131	0,00	12,11	12,11	958,68
0,00	Rm132	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm133	0,00	9,57	9,57	958,68
9,57	Rm134	9,57	11,57	2,00	958,68
11,57	Rm135	11,57	30,45	18,88	958,68
30,45	Rm136	0,00	30,45	30,45	958,68

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
0,00	Rm137	0,00	18,84	18,84	958,68
18,84	Rm138	0,00	18,84	18,84	958,68
0,00	Rm139	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm140	0,00	16,07	16,07	958,68
16,07	Rm141	16,07	68,37	52,30	958,68
68,37	Rm142	11,57	68,37	56,80	958,68
11,57	Rm143	11,57	16,50	4,93	958,68
16,50	Rm144	0,00	16,50	16,50	958,68
0,00	Rm145	0,00	6,62	6,62	958,68
6,62	Rm146	6,62	21,69	15,07	958,68
21,69	Rm147	3,12	21,69	18,57	958,68
3,12	Rm148	0,23	3,12	2,89	958,68
0,23	Rm149	0,23	11,35	11,12	958,68
11,35	Rm150	0,00	11,35	11,35	958,68
0,00	Rm151	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm152	0,00	27,63	27,63	958,68
27,63	Rm153	0,00	27,63	27,63	958,68
0,00	Rm154	0,00	21,22	21,22	958,68
21,22	Rm155	0,00	21,22	21,22	958,68
0,00	Rm156	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm157	0,00	24,71	24,71	958,68
24,71	Rm158	0,00	24,71	24,71	958,68
0,00	Rm159	0,00	28,29	28,29	958,68
28,29	Rm160	28,29	55,48	27,19	958,68
55,48	Rm161	0,00	55,48	55,48	958,68
0,00	Rm162	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm163	0,00	0,39	0,39	958,68
0,39	Rm164	0,00	0,39	0,39	958,68
0,00	Rm165	0,00	7,45	7,45	958,68

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**∑Rmi**
7,45	Rm166	0,00	7,45	7,45	958,68
0,00	Rm167	0,00	14,88	14,88	958,68
14,88	Rm168	2,18	14,88	12,70	958,68
2,18	Rm169	0,00	2,18	2,18	958,68
0,00	Rm170	0,00	16,89	16,89	958,68
16,89	Rm171	1,60	16,89	15,29	958,68
1,60	Rm172	1,60	5,07	3,47	958,68
5,07	Rm173	2,95	5,07	2,12	958,68
2,95	Rm174	2,95	23,37	20,42	958,68
23,37	Rm175	0,00	23,37	23,37	958,68
0,00	Rm176	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm177	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm178	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm179	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm180	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm181	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm182	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm183	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm184	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm185	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm186	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm187	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm188	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm189	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm190	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm191	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm192	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm193	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm194	0,00	0,00	0,00	958,68

Continúa en la página siguiente...

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**$\sum$Rmi**
0,00	Rm195	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm196	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm197	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm198	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm199	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm200	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm201	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm202	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm203	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm204	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm205	0,00	0,00	0,00	958,68
0,00	Rm206	0,00	0,00	0,00	958,68

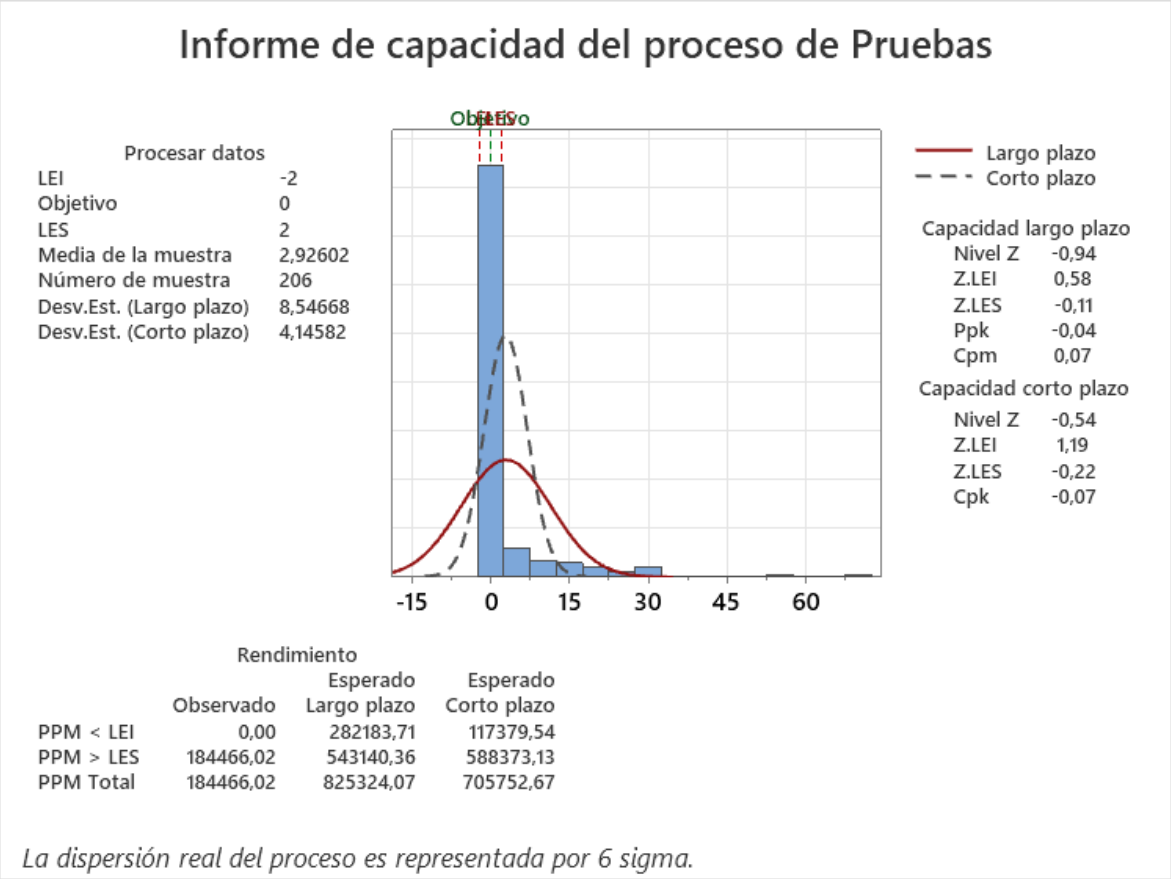

Figura E.4: Análisis de Capacidad de Proceso de Pruebas Mandos Finales

Fuente: Elaboración Propia

F. PFMEA

Tabla F.1: Análisis de Modos y Efectos de Falla del Proceso (PFMEA) - Mando Final

Causas Primarias	Modo de Falla Potencial	Efectos de Falla Potencial	S	Causas o Mecanismos de Falla	Controles Preventivos Actuales	O	Controles de Detección Actuales	D	NPR
Disponibilidad de puente grúa	Imposibilidad de ejecutar maniobras de izaje y posicionamiento del componente durante montaje o desmontaje por falta de disponibilidad	Aumento del tiempo de ciclo del proceso, acumulación de trabajo en espera, desviación del programa de reparación y riesgo de incumplimiento del plazo comprometido con el cliente interno o externo	5	Único puente grúa disponible para cuatro áreas operativas, utilizado sin criterios definidos de asignación ni priorización según la criticidad del proceso	No existen controles preventivos formalizados para este punto	7	No existen mecanismos formales de detección; la identificación ocurre solo cuando el trabajador observa la condición durante la ejecución	4	140
Ausencia de Puntos de Control de Calidad en hitos críticos del armado	Armado de componentes sin verificación técnica de los parámetros críticos definidos para cada etapa (ajustes, torque y tolerancias, otros)	Aumento de reprocesos y variabilidad en la calidad del armado, con extensión no controlada de los tiempos de reparación y riesgo de incumplimiento de los plazos comprometidos con el cliente	8	Inexistencia de listas de verificación y puntos de control de calidad formalizados por tipo de componente y etapa de armado	No existen controles preventivos formalizados durante el armado; las verificaciones técnicas no se realizan por etapa, dado que no hay puntos de control definidos ni listas de verificación asociadas al proceso	7	La detección de desviaciones depende exclusivamente de que el técnico informe problemas observados durante el armado, sin protocolos ni puntos de control definidos que permitan identificar las no conformidades de manera sistemática	8	**448**
Disponibilidad de herramientas	Imposibilidad de ejecutar correctamente operaciones críticas de desarme o armado debido a herramientas no disponibles, fuera de especificación o en condición no operativa	Retrasos operacionales, aumento de tiempos de ciclo, riesgo de armado incorrecto y potencial generación de reprocesos	5	Ausencia de control formal del inventario de herramientas, sin reposición oportuna ni mantenimiento preventivo o calibración de herramientas críticas	La gestión de herramientas es completamente reactiva, sin control de stock mínimo ni verificación sistemática de calibración en equipos de medición	5	La falta, falla o descalibración de las herramientas se detecta únicamente cuando el técnico intenta utilizarlas y constata en ese momento que no están disponibles, no operan correctamente o no poseen calibración vigente	8	200
Demora en tiempos de llegada de nuevos repuestos	Imposibilidad de continuar con el armado o cierre técnico del componente por falta de repuestos esenciales requeridos para la etapa siguiente del proceso	Detención total del proceso de reparación, incumplimiento de plazos comprometidos, generación de tiempos improductivos de mano de obra y equipos, y reprogramación forzada de trabajos en curso	9	Demoras en la entrega de repuestos por parte del proveedor y falta de stock crítico para componentes de alta rotación	No existe verificación sistemática previa de stock ni programación de repuestos; la disponibilidad se revisa solo cuando el trabajo ya está en curso	8	La falta de repuestos se detecta únicamente cuando el técnico intenta avanzar de etapa y comprueba que el repuesto requerido no está disponible	7	**504**

Continúa en la siguiente página...

Causas Primarias	Modo de Falla Potencial	Efectos de Falla Potencial	S	Causas o Mecanismos de Falla	Controles Preventivos Actuales	O	Controles de Detección Actuales	D	NPR
Piezas mal evaluadas y/o reparadas	Componente armado con piezas internas recuperadas que no cumplen especificaciones funcionales o dimensionales tras los procesos de NDT y maestranza	Rechazo del componente en pruebas funcionales, con necesidad de desarme y armado no planificados, aumento significativo del tiempo de reparación y riesgo de falla prematura en servicio	10	Interpretación incorrecta o ejecución deficiente de ensayos no destructivos y procesos de maestranza fuera de tolerancia, que llevan a aceptar componentes internos con daños o geometría no conforme	Existen protocolos de medición y tolerancias definidas, pero su efectividad depende de la correcta ejecución e interpretación del técnico	6	Las desviaciones se detectan solo durante el ensamblaje o la prueba funcional, cuando el técnico identifica que la pieza no ajusta o está fuera de tolerancia	8	**480**
Exceso de especializa-ción de los trabajadores	Reparaciones ejecutadas por personal cuyo fuerte técnico está concentrado en un tipo específico de componente, producto de una hiperespecializa-ción que reduce su experiencia práctica en otros componentes	Aumento del tiempo de ciclo y generación de cuellos de botella, con mayor riesgo de errores de calidad al reasignar trabajos fuera del ámbito de mayor dominio de cada técnico	6	Dotación diseñada con especialización profunda y baja polivalencia, sin formación cruzada que permita cubrir equilibradamente las etapas del proceso de reparación	No hay un plan formal de polivalencia; la asignación de trabajos se realiza según la especialidad habitual de cada técnico, sin gestión estructurada de competencias cruzadas	3	No existen mecanismos formales de detección; la falta de polivalencia es conocida, pero no se registra, monitorea ni genera alertas cuando limita la reasignación de trabajos	4	72
Traslados internos excesivos	Desplazamientos frecuentes y no programados dentro del taller para acceder a herramientas, insumos o puntos de control ubicados fuera del flujo natural de trabajo	Aumento de tiempos improductivos y extensión del ciclo de reparación por interrupciones constantes del flujo operacional, Impacta directamente en actividades sin valor agregado	4	Preparación insuficiente de las actividades, sin provisión previa de repuestos, insumos y trabajos de maestranza en el área, lo que obliga al técnico a desplazarse constantemente dentro del taller	No se prepara previamente un kit completo de repuestos, insumos y herramientas por trabajo; el abastecimiento se realiza de forma reactiva durante la reparación	8	Los traslados excesivos se detectan únicamente cuando el técnico debe interrumpir reiteradamente su labor para buscar herramientas, insumos o apoyo en otras áreas del taller	5	160
Disponibilidad de grúa horquilla	Imposibilidad o retraso en el traslado de componentes y piezas porque no hay grúa horquilla disponible en el momento requerido.	Tiempos de espera y pérdida de productividad en las operaciones de armado	7	Grúas horquilla compartidas entre distintas áreas, operadas sin criterios definidos de prioridad para los movimientos que exige el proceso de reparación de componentes	No existe programación ni priorización formal del uso de las grúas horquilla; su utilización se define en el momento según la disponibilidad inmediata del equipo	5	La falta de grúa horquilla se detecta solo cuando se requiere realizar el traslado y el técnico constata que el equipo está ocupado, fuera del sector o no disponible	4	140
Área de armado compartida con otros procesos	Coincidencia simultánea de operaciones de armado, desarme y preparación en un mismo espacio, generando interferencias entre procesos	Aumento de tiempos de ciclo, interrupciones constantes del flujo de trabajo y mayor riesgo de errores por congestión y cruces operativos en el área compartida	4	Acumulación de trabajos de alto volumen o múltiples reparaciones en paralelo, sin criterios de secuenciación ni control de la carga operativa del área de armado	No hay planificación ni límites claros de carga para el área de armado; los trabajos se asignan en paralelo según la necesidad del momento, sin control de ocupación	4	Las interferencias entre procesos se detectan únicamente cuando varias tareas coinciden físicamente en el área y se genera congestión o cruces operativos visibles	3	48

Continúa en la siguiente página...

Causas Primarias	Modo de Falla Potencial	Efectos de Falla Potencial	S	Causas o Mecanismos de Falla	Controles Preventivos Actuales	O	Controles de Detección Actuales	D	NPR
Inexistencia de alertas tempranas por desvío en tiempos de reparación	Desviaciones en los tiempos de reparación que no generan avisos ni alertas al supervisor o a Planificación	Prolongación inadvertida de los tiempos de reparación, con trabajos fuera de estándar, incumplimiento de plazos y aumento de sobrecostos operativos	7	Ausencia de KPIs de tiempo de reparación con límites de control y sistemas de aviso (alertas o reportes) cuando se superan los valores definidos	No existen tiempos estándar ni KPIs de reparación definidos por tipo de componente, por lo que el avance no se monitorea de manera sistemática durante el proceso	10	Las desviaciones de tiempo se detectan solo cuando se aproxima o vence la fecha comprometida y se constata que el componente aún no está terminado	6	**420**

G. Matriz de Riesgo de Calidad

Matriz de Riesgos de Calidad

Datos del componente		Control del documento	
Familia del Componente:	MANDO FINAL 994K	Revisión N°:	1
Vida útil esperada del componente:	18.000 HORAS	Fecha emisión / Actualización:	dd-mm-aaaa

N° Etapa del Proceso de Reparación del Componente	Descripción de la Etapa	N° Actividad	Descripción Actividad	Documentos de Referencia de la Actividad: Nombre y Codificación (Planos, Procedimientos, Instructivos, entre otros)	Riesgos de Calidad Asociado a la Actividad	Controles Actuales Asociado a los Riesgos	Criterios de Aceptación (FMEA)					Analisis de Conformidad		Registros del Control	Nuevos Controles a Implementar Asociados a los Riesgos	Responsable de Liberación	Etapa y ejecutor de Control de Calidad / Inspección							Observaciones
																	Etapa QI/QC				Ejecuter QC			
							S	O	D	RPN	Riesgo del Proceso	Cumple	No Cumple				Inicio	Intermedio	Final	Hot Points	Interno	Externo		
1	RECEPCIÓN DEL COMPONENTE	1.1	Control de ingreso técnico y verificación de conformidad	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	1.- CONDICIÓN SEGURIDAD																			
				* Instructivo de Ingreso de Mercadería **ICSI-BODI-006** * Instructivo de Creación de una Solicitud de Orden de Trabajo **ICSI-ADMP-004** * Recepción de Componentes **RCSI-CR-001** * Reporte de No Conformidad **RCSI-SGI-010**	a) Golpes o deformaciones por embalaje sin protección estructural suficiente	Checklist de embalaje aprobado / Inspección visual	3	2	2	12	Crítico			* Checklists y Validaciones Documentales **(Guías de Despacho)** * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Controles en Zona * Reporte de No Conformidad **RCSI-SGI-010** * Recepción de Componentes **RCSI-CR-001**		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios	X				X			
					b) Desplazamientos internos por falta de puntos de sujeción firmes durante el transporte	Revisión técnica contra procedimiento de transporte	3	1	2	6	Moderado													
					c) Inestabilidad del componente por ausencia de bases o soportes capaces de resistir vibración	Validación de estabilidad en zona de carga (check visual + prueba de movimiento)	3	1	1	3	Bajo													
					d) Daños mecánicos causados por dispositivos de fijación mal tensionados o insuficientes	Checklist de fijación / Verificación en recepción	3	1	2	6	Moderado													
					e) Compromiso estructural por transporte inadecuado al peso y dimensiones del componente.	Validación contra ficha técnica de transporte / revisión de guía de despacho	3	1	1	3	Bajo													
					f) Riesgo de daño por elementos sueltos no asegurados dentro o alrededor de la carga	Inspección visual durante la recepción	2	2	1	4	Moderado													
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	2.- CONDICIÓN AMBIENTAL																			
				* Guía de cumplimiento de especificaciones de **CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSBJ0002-05**	a) Contaminación por aceite derramado debido a sellos deficientes o golpeados	Inspección visual / revisión de empaques y sellos	2	1	1	2	Bajo			* Checklists y Validaciones Documentales **(Guías de Despacho)** * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Controles en Zona * Reporte de No Conformidad **RCSI-SGI-010** * Recepción de Componentes **RCSI-CR-001**		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios	X				X			
					b) Riesgo de fuga por falta de sellado adecuado que permita contener fluidos	Validación de sellado con formato estándar / checklist	2	2	1	4	Moderado													
					c) Ingreso de residuos sólidos que afectan la limpieza inicial del componente	Inspección visual y limpieza previa al ingreso a bodega	2	2	2	8	Crítico													
					d) Propagación de contaminación por ausencia de barreras o contención ambiental	Validación de embalaje + zonas delimitadas en área de recepción	3	2	1	6	Moderado													
					3.- CONDICIÓN COMPONENTE																			
					a) No conformidad inicial por discrepancia entre el componente recibido y la especificación del cliente	Validación contra Guía de Despacho	2	1	1	2	Bajo			* Checklists y Validaciones Documentales **(Guías de Despacho)** * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Controles en Zona * Reporte de No Conformidad **RCSI-SGI-010** * Recepción de Componentes **RCSI-CR-001**		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios								
					b) Riesgos en la inspección por recibir el componente completamente ensamblado, limitando la verificación visual	Checklist de piezas y subcomponentes (apoyo Guía de Despacho)	1	3	1	3	Bajo													
					c) Hallazgo de piezas defectuosas que exigen notificación temprana al cliente	Inspección visual / funcional y registro de NC (no conformidad)	2	2	2	8	Crítico													
					d) Retrasos por piezas faltantes que afectan la secuencia normal del proceso	Validación con lista de empaque / informe a cliente	3	2	2	12	Crítico													
					e) Fallas de control por llegada de cajones, pallets o bultos no declarados	Registro fotográfico y documentación de bultos / adjunto a informe de recepción	2	2	1	4	Moderado													
					f) Trazabilidad limitada por ausencia de la placa de identificación de reparación	Validación contra checklist de ingreso / solicitud de corrección	3	1	1	3	Bajo													
					g) No conformidad por daños visibles atribuibles a manipulación o traslado previo	Registro fotográfico, informe a Cliente, retención preventiva	3	2	2	12	Crítico													
					h) Riesgo operativo por bases inadecuadas que comprometen estabilidad del componente	Validación en zona de descarga / apoyo de ficha técnica de recepción	3	2	1	6	Moderado													
2	LAVADO	2.1	Retiro de residuos internos y lavado con estándares técnicos	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	1.- LAVADO GRUESO											* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable.								
				* Procedimiento de Sala de Lavado **PCSI-LAV-001** * Recepción de Componentes **RCSI-CR-001** * Inspección de Lavado de Componentes **RCSI-CR-00X** * Cartilla de Inspección operativa de Hidrolavadora	a) Subestimación del nivel de suciedad que deriva en lavado insuficiente o tratamiento inadecuado	Checklist de evaluación inicial de suciedad con clasificación por nivel (bajo/medio/alto)	3	2	1	6	Moderado			* Recepción de Componentes **RCSI-CR-001** * Inspección de Lavado de Componentes * Inspección operativa de Hidrolavadora * Guía de cumplimiento de especificaciones de **CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSBJ0002-05**										
					b) Contaminación cruzada por no retirar etiquetas, empaques, residuos sueltos o material extraño adherido al componente	Inspección visual y retiro de elementos sueltos. Contenedor para residuos	2	2	1	4	Moderado													
					c) Limpieza ineficiente por selección incorrecta del producto, tiempo de acción insuficiente o aplicación no controlada	Ficha de selección de productos con tabla de residuos vs. químico recomendado y tiempos validados	3	2	2	12	Crítico													
					d) Remoción deficiente de residuos por uso inadecuado de hidrolavadora o presión mal dirigida	Hidrolavadora calibrada. Aplicación en zonas críticas con EPP	3	2	1	6	Moderado													
					e) Ingreso de contaminantes por reinspección deficiente y/o drenaje incorrecto	Reinspección visual. Drenaje en zona controlada. Separación de residuos	3	2	2	12	Crítico													
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	2.- LAVADO FINO																			
				* Guía de cumplimiento de especificaciones de **CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSBJ0002-05**	a) Residuos remanentes no detectados por inspección visual deficiente tras el lavado grueso	Inspección con luz directa. Registro de hallazgos	2	2	1	4	Moderado			* Recepción de Componentes **RCSI-CR-001** * Inspección de Lavado de Componentes * Inspección operativa de Hidrolavadora * Guía de cumplimiento de especificaciones de **CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSBJ0002-05**										
					b) Suciedad retenida en cavidades o superficies complejas por aplicación insuficiente de agua a presión	Aplicación dirigida de agua y cepillado controlado	3	1	1	3	Bajo													
					c) Contaminación interna por soplado con aire húmedo, sin filtración adecuada o con presión incorrecta	Aire comprimido filtrado. Registro de uso	3	1	1	3	Bajo													
					d) Fallo en criterios de limpieza por verificación inexacta o no conforme a la Guía de Control de Contaminantes	Verificación con checklist Caterpillar. Firma del inspector	3	2	2	12	Crítico													
					e) Contaminación posterior por aplicación deficiente de protector	Aplicación de protector. Registro de condición final. Aprobación de Supervisor	3	2	1	6	Moderado													
3	DESARME Y EVALUACION	3.1	Desarme progresivo del conjunto de mando final según procedimiento técnico, separando engranajes, ejes y rodamientos de forma controlada para evitar daños y contaminación	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Fisuración o deformación en carcasa portante por aplicación incorrecta de torque en pernos de tapa.	Afloje cruzado de pernos con torquímetro calibrado.	3	1	2	6	Moderado			* Criterio de evaluación **(GRPTS)** * Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003** * **SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS)** * Mando Final (Planetario) - Desarmar **(M0071310)** * Freno de Servicio - Quitar e instalar **(M0071310)** * Mando Final Planetario - Quitar e Instalar **(M0071310)** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable							X	
					b) Contaminación de superficies internas (engranajes, rodamientos cónicos) por ingreso de partículas metálicas, polvo o residuos de aceite.	Drenaje de aceite en bandeja filtrante con retención magnética de partículas.	3	2	2	12	Crítico													
					c) Daños en flancos de dientes de engranajes planetarios y corona por uso de herramientas inadecuadas en la extracción.	Uso de extractores y gatos hidráulicos homologados por Caterpillar.	3	1	1	3	Bajo													
					d) Deformación en alojamientos de rodamientos por aplicación excesiva de presión o calor.	Control de presión aplicada en extractores (<5 ton).	3	2	1	6	Moderado													
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	e) Pérdida de precarga y daño en rodillos de rodamientos cónicos al ser retirados sin extractor homologado.	Manipulación con grúa puente y eslingas certificadas para ejes y corona.	3	1	2	6	Moderado													
				* **SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS)** * Mando Final (Planetario) - Desarmar **(M0071310)** * Freno de Servicio - Quitar e instalar **(M0071310)** * Mando Final Planetario - Quitar e Instalar **(M0071310)** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**	f) Marcas, golpes o melladuras en superficies de contacto por manipulación manual sin protección.	Almacenaje temporal en bandejas metálicas con separadores.	3	1	1	3	Bajo													
					g) Desalineación en el retiro de ejes y engranajes, provocando rayado en pistas y alojamientos.	Marcaje de piezas (OTO/DER, secuencia) con punzón o pintura de impacto.	3	3	2	18	Crítico													
					h) Confusión en la secuencia de desmontaje de componentes (engranajes, espaciadores, arandelas de ajuste).	Registro fotográfico del proceso paso a paso.	3	1	1	3	Bajo													
					i) Falta de registro documental del proceso de desarme.	Checklist de desarme firmado por mecánico responsable.	3	1	2	6	Moderado													
		3.2	Inspección técnica inicial de carcasa, engranajes, ejes y cojinetes para identificar desgaste, fisuras, picaduras de contacto o deformaciones visibles	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Omisión en la detección de fisuras superficiales en carcasa o engranajes por inspección visual deficiente.	Inspección visual sistemática bajo norma Caterpillar, con iluminación dirigida y apoyo óptico (lupa/lámpara).	3	2	1	6	Moderado			* Criterio de evaluación **(GRPTS)** * Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003** * **SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS)** * Mando Final (Planetario) - Desarmar **(M0071310)** * Freno de Servicio - Quitar e instalar **(M0071310)** * Mando Final Planetario - Quitar e Instalar **(M0071310)** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable	X							
					b) Desgaste irregular en flancos de dientes no identificado, generando fallas prematuras en transmisión de torque.	Aplicación de líquidos penetrantes en carcasa, engranajes y ejes para detectar microfisuras.	3	1	1	3	Bajo													
					c) Picaduras de contacto (pitting) en rodamientos o engranajes no registradas, reduciendo la vida útil del conjunto.	Medición de perfil y desgaste de dientes con plantilla Caterpillar y calibradores.	3	2	1	6	Moderado													
					d) Deformaciones en alojamientos de rodamientos y ejes no detectadas, provocando desalineaciones.	Revisión de picaduras de contacto con lupa 10x y criterio de severidad en checklist.	3	1	2	6	Moderado													
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	e) Inclusión de contaminantes durante la inspección (polvo, grasa, partículas metálicas).	Uso de galgas y comparadores para juegos axiales y radiales en rodamientos.	3	2	2	12	Crítico													
				* **SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS)** * Mando Final (Planetario) - Desarmar **(M0071310)** * Freno de Servicio - Quitar e instalar **(M0071310)** * Mando Final Planetario - Quitar e Instalar **(M0071310)** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**	f) Evaluación incompleta de juegos axiales y radiales en rodamientos.	Ejecución de inspección en área limpia, con cubiertas protectoras en componentes no evaluados.	3	1	2	6	Moderado													
					g) Identificación incorrecta de la severidad del daño (clasificación errónea leve/moderado/crítico).	Registro fotográfico detallado de cada componente inspeccionado.	3	2	2	12	Crítico													
					h) Pérdida de trazabilidad por ausencia de registro fotográfico y checklist.	Clasificación de daños según criterios técnicos (desgaste normal, crítico o fuera de servicio).	3	2	2	12	Crítico													
					i) Daños adicionales en superficies críticas por manipulación sin protección.	Checklist firmado por inspector de calidad y validado por supervisor.	3	2	1	6	Moderado													
		3.3	Verificación funcional en seco de engranajes y rodamientos, evaluando marcas de contacto, juego entre dientes y condición de pistas de rodadura respecto a tolerancias Caterpillar	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Omisión en la detección de juego excesivo entre dientes, provocando vibraciones y fallas en transmisión de torque.	Uso de compuestos de contraste (azul de Prusia o pasta de contacto) para visualizar marcas entre dientes.	3	1	1	3	Bajo			* Criterio de evaluación **(GRPTS)** * Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003** * **SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS)** * Mando Final (Planetario) - Desarmar **(M0071310)** * Freno de Servicio - Quitar e instalar **(M0071310)** * Mando Final Planetario - Quitar e Instalar **(M0071310)** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable	X							
					b) Marcas de contacto desalineadas no registradas, derivando en desgaste irregular de engranajes.	Medición de juego axial y radial con comparadores calibrados.	3	2	1	6	Moderado													
					c) Pistas de rodadura con picaduras o deformaciones no identificadas durante la verificación.	Verificación de contacto con plantilla Caterpillar y criterio técnico establecido en manual RENR.	3	2	1	6	Moderado													
					d) Interpretación incorrecta de tolerancias Caterpillar respecto al juego axial y radial.	Inspección visual detallada con apoyo óptico en pistas de rodadura.	3	2	2	12	Crítico													
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	e) Daños en engranajes o rodamientos por manipulación sin herramientas adecuadas.	Manipulación controlada con herramientas homologadas y banco limpio de inspección.	3	2	2	12	Crítico													
				* **SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS)** * Mando Final (Planetario) - Desarmar **(M0071310)** * Freno de Servicio - Quitar e instalar **(M0071310)** * Mando Final Planetario - Quitar e Instalar **(M0071310)** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**	f) Contaminación de superficies de contacto durante la evaluación (polvo, partículas metálicas).	Registro fotográfico obligatorio de marcas de contacto y condición de rodaduras.	3	2	1	6	Moderado													
					g) Pérdida de evidencia técnica por falta de registro fotográfico de marcas de contacto.	Checklist de verificación funcional firmado por inspector y validado por supervisor de calidad.	3	2	1	6	Moderado													
					h) Evaluación incompleta por omisión de parámetros críticos (par de contacto, condición superficial).	Clasificación del estado de engranajes y rodamientos según tolerancias Caterpillar (dentro de norma / fuera de servicio).	3	2	2	12	Crítico													
					i) Clasificación errónea de severidad de desgaste (aceptable vs fuera de norma).	Inspección cruzada por doble verificación en casos límite de desgaste.	3	2	2	12	Crítico													
		3.4	Aplicación de control metrológico y ensayos no destructivos en dientes, alojamientos y rodamientos para validar dimensiones críticas, concentricidad y posibles microfisuras	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.										* Solicitud de Reparación **RCSI-ADMP-004** * Informe de análisis No Destructivo **RCSI-CC-006** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003** * Instructivo Control de EIME **ICSI-CC-002** * Instructivo NDT Líquidos penetrantes **ICSI-CC-003** * Instructivo NDT Partículas magnéticas **ICSI-CC-004** * Instructivo NDT Método de ultrasonido **ICSI-CC-005** * Instructivo NDT Partículas fluorescentes **ICSI-CC-006** * Instructivo Control metrológico **ICSI-CC-007**		* Supervisor de Unidad Técnica * Supervisor de Control de Calidad	X							
				* Solicitud de Reparación **RCSI-ADMP-004** * Informe de análisis No Destructivo **RCSI-CC-006** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003** * Instructivo Control de EIME **ICSI-CC-002** * Instructivo NDT Líquidos penetrantes **ICSI-CC-003** * Instructivo NDT Partículas magnéticas **ICSI-CC-004** * Instructivo NDT Método de ultrasonido **ICSI-CC-005** * Instructivo NDT Partículas fluorescentes **ICSI-CC-006** * Instructivo Control metrológico **ICSI-CC-007**	**a) Defectos estructurales no identificados** **Descripción:** Grietas finas o deformaciones leves en carcasa, tapas o superficies de apoyo que pueden pasar desapercibidas si no se aplican verificaciones complementarias en zonas críticas del mando final.	**a) Defectos estructurales no identificados** **Control:** Inspección visual detallada de carcasa y tapas con apoyo de líquidos penetrantes y registro fotográfico de las zonas críticas.	3	2	2	12	Crítico													
					b) Tolerancias fuera de norma no detectadas **Descripción:** Desviaciones en concentricidad, paralelismo o diámetros de alojamientos y engranajes que afectan el engrane correcto y la vida útil del conjunto si no se controlan con instrumentos certificados.	**b) Tolerancias fuera de norma no detectadas** **Control:** Medición con micrómetros, comparadores y relojes calibrados, contrastando valores con tolerancias Caterpillar.	3	2	2	12	Crítico													
					c) Microfisuras en superficies de carga **Descripción:** Grietas superficiales o subsuperficiales en dientes de engranajes, pistas de rodamientos o ejes, invisibles a simple vista y detectables solo mediante ensayos NDT (líquidos penetrantes o partículas magnéticas).	**c) Microfisuras en superficies de carga** **Control:** Ensayos NDT en engranajes, pistas de rodamiento y ejes utilizando líquidos penetrantes o partículas magnéticas.	3	2	2	12	Crítico													
					d) Juegos axiales o radiales fuera de rango no verificados **Descripción:** Variaciones en rodamientos, bujes o cojinetes que generan desgaste prematuro, ruido o pérdida de alineación, si no se miden con precisión durante la verificación.	**d) Juegos axiales o radiales fuera de rango no verificados** **Control:** Medición de juegos con comparadores y micrómetros, registrando resultados en planilla técnica del mando final.	3	1	2	6	Moderado													
					e) Errores por calibración deficiente de instrumentos **Descripción:** Mediciones incorrectas en parámetros críticos debido a equipos de control fuera de calibración o sin trazabilidad metrológica, comprometiendo la aceptación de piezas.	**e) Errores por calibración deficiente de instrumentos** **Control:** Verificación periódica de calibración de todos los instrumentos de medición con patrones certificados y registro en bitácora metrológica.	3	1	3	9	Crítico													
		3.5	Almacenaje controlado de componentes inspeccionados, aplicando protección anticorrosiva, segregación por condición y trazabilidad en sistema de control	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	1.- APLICA PARA COMPONENTES																			
				* Procedimiento de Reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Registro de preservación temporal **RCSI-UT-010**	a) Identificación deficiente o pérdida de trazabilidad del mando final.	Rotulación reforzada con placas o etiquetas resistentes, registrada en sistema de trazabilidad.	2	2	1	4	Moderado			* Registro de preservación temporal **RCSI-UT-010** * Predicción mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados (3100,3150,4059) **(SEPD0495)-07-04-2011**		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica								
					b) Ubicación incorrecta o sin registro claro en bodega.	Señalización de área exclusiva para mandos y codificación en plano de bodega.	2	2	2	8	Crítico													
					c) Exposición del mando final a lluvia, polvo o contaminación ambiental.	Protección con techumbre, piso nivelado y acceso restringido.	3	2	1	6	Moderado													
					d) Daños estructurales por apoyo directo en el suelo o soportes inadecuados.	Uso de pallets metálicos o bastidores certificados con anclajes de seguridad.	3	1	1	3	Bajo													
					e) Corrosión o deterioro en superficies críticas (retenes, alojamientos, bridas).	Aplicación de tapas metálicas, recubrimientos anticorrosivos y empaques herméticos.	2	1	2	4	Moderado													
					f) Mezcla o confusión de mandos en distinto estado (listos, en reparación, rechazados).	Separación física por estado del mando, con tarjetas de condición o códigos de color.	3	2	1	6	Moderado													
					g) Presencia de humedad, condensación o vapores corrosivos en la zona de almacenaje.	Monitoreo ambiental periódico y uso de desecantes en embalajes.	3	1	2	6	Moderado													
					h) Daños por calor directo, golpes o manipulación con equipos no certificados.	Restricción de áreas cercanas a calor/soldadura; maniobras solo con grúa puente y eslingas certificadas.	3	1	2	6	Moderado													
					i) Deterioro progresivo por falta de inspecciones periódicas durante el almacenamiento.	Inspecciones visuales y metrológicas programadas, verificando sellado, protección y estado del bastidor.	3	2	2	12	Crítico													
					j) Deformaciones o daños por apilamiento inadecuado de bastidores o pallets.	Prohibición de apilamiento directo; uso de bastidores con topes de seguridad y control de carga por estiba.	3	1	2	6	Moderado													
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	2.- APLICA PARA PIEZAS																			
				* Protección mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados (3100,3150,4059) **(SEPD0495)**	a) Pérdida de identificación o trazabilidad de la pieza (sin Nº parte, OT, fecha o estado).	Rotulación individual con etiquetas resistentes, legibles y sistema digital de inventario.	3	2	1	6	Moderado			* Registro de preservación temporal **RCSI-UT-010** * Predicción mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados (3100,3150,4059) **(SEPD0495)-07-04-2011**										
					b) Ubicación incorrecta o sin registro en estantería, caja, pallet o contenedor.	Registro de ubicación en plano de bodega y marcado físico de posición.	3	2	2	12	Crítico													
					c) Uso de embalajes inadecuados que no protegen contra contaminación o golpes.	Uso de cajas plásticas, bolsas anticorrosivas o contenedores técnicos adecuados.	3	2	1	6	Moderado													
					d) Mezcla de piezas con contaminantes o incompatibles en la misma zona.	Zonificación en bodega y almacenamiento segregado por tipo o compatibilidad.	3	1	2	6	Moderado													
					e) Exposición de piezas a polvo, humedad o agentes externos por falla de sellado.	Aplicación de tapas, películas protectoras o empaques anticorrosivos según material.	3	2	1	6	Moderado													
					f) Deformaciones por mal soporte, estiba deficiente o caída de estantería.	Revisión de estabilidad de pallets y estanterías reforzadas.	3	1	2	6	Moderado													
					g) Condensación, humedad o salpicaduras que generan corrosión o deterioro.	Monitoreo ambiental con control de humedad y temperatura en bodega.	3	2	1	6	Moderado													
					h) Rotulación ilegible, incompleta o ausente en el contenedor o embalaje.	Verificación de etiquetas y control de calidad en el ingreso.	3	1	2	6	Moderado													
					i) Daños por aplastamiento, deformaciones visibles o manipulación incorrecta.	Inspección visual rutinaria y checklist de almacenaje seguro.	3	1	1	3	Bajo													
					j) Ausencia de control visual o revisión periódica, aumentando riesgo de deterioro.	Programación de controles periódicos según criticidad de la pieza en sistema de gestión.	3	2	2	12	Crítico													
4	ARMADO	4.1	4.1 Montaje de Carcasa Base: Instalar carcasa en bastidor, verificando nivelación, paralelismo y concentricidad de alojamientos.	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Fisuras o deformaciones en la carcasa no detectadas antes del montaje.	Inspección visual detallada y aplicación de ensayos NDT en zonas críticas previo al montaje.	3	2	2	12	Crítico			* Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Ficha Técnica de Mando Final 994K **RCSI-CRC-169** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003** * **SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS)** * Mando Final (Planetario) - Armar **(M0071310)** * Freno de Servicio - Quitar e instalar **(M0071310)** * Mando Final Planetario - Quitar e Instalar **(M0071310)** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable	X	X	X	X	X	X	
				* Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Ficha Técnica de Mando Final 994K **RCSI-CRC-169** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003**	b) Error en la nivelación de la carcasa respecto al bastidor.	Verificación de nivelación con equipos de precisión y plantillas patrón para referencia geométrica.	3	2	2	12	Crítico													
					c) Alineación incorrecta entre carcasa y eje de transmisión.	Medición de concentricidad y paralelismo con reloj comparador y calibradores certificados.	3	2	2	12	Crítico													
					d) Uso de pernos o fijaciones fuera de especificación.	Validación de torque y tipo de fijación de pernos según especificaciones Caterpillar.	3	2	2	12	Crítico													
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	e) Daños en superficies de apoyo por manipulación inadecuada.	Uso de grúa puente, eslingas certificadas y protecciones de superficie durante la maniobra.	3	2	2	12	Crítico													
				* **SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS)** * Mando Final (Planetario) - Armar **(M0071310)** * Freno de Servicio - Quitar e instalar **(M0071310)** * Mando Final Planetario - Quitar e Instalar **(M0071310)** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**	f) Contaminación interna por ingreso de polvo o partículas durante el montaje.	Ejecución del montaje en área controlada, con limpieza previa de superficies.	3	2	2	12	Crítico													
					g) Omisión de control dimensional en diámetros y alojamientos de la carcasa.	Control metrológico de diámetros, planicidad y alineación con instrumentos certificados.	3	2	2	12	Crítico													
					h) Registro documental incompleto de la instalación.	Registro fotográfico, checklist de montaje y trazabilidad en planilla técnica.	3	2	2	12	Crítico													
		4.2	Instalación de Engranajes Primarios: Montar engranajes de ataque y piñón, aplicando lubricación y controlando juego entre dientes y patrón de contacto.	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Juego entre dientes fuera de especificación por montaje incorrecto.	Medición del juego entre dientes con comparadores y galgas según tolerancias Caterpillar.	3

Matriz de Riesgos de Calidad

Reparables & Garantías MECoE

Datos del componente		Control del documento	
Familia del Componente:	MANDO FINAL 994F	Revisión N°:	1
Vida útil esperada del componente:	18.000 HORAS	Fecha emisión / Actualización:	dd-mm-aaaa

N° Etapa del Proceso de Reparación del Componente	Descripción de la Etapa	N° Actividad	Descripción Actividad	Documentos de Referencia de la Actividad: Nombre y Codificación (Planos, Procedimientos, Instructivos, entre otros)	Riesgos de Calidad Asociado a la Actividad	Controles Actuales Asociado a los Riesgos	Criterios de Aceptación (FMEA)					Analisis de Conformidad		Registros del Control	Nuevos Controles a Implementar Asociados a los Riesgos	Responsable de Liberación	Etapa y ejecutor de Control de Calidad / Inspección						Observaciones
																	Etapa QI/QC				Ejecutor QC		
							S	O	D	RPN	Riesgo del Proceso	Cumple	No Cumple				Inicio	Intermedio	Final	Hot Points	Interno	Externo	
1	RECEPCIÓN DEL COMPONENTE	1.1	Control de ingreso técnico y verificación de conformidad	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I. * Instructivo de Ingreso de Mercadería **ICSI-BOD-006** * Instructivo de Creación de una Solicitud de Orden de Trabajo **ICSI-ADMP-004** * Recepción de Componentes **RCSI-CR-001** * Reporte de No Conformidad **RCSI-SGI-010**	1.- CONDICIÓN SEGURIDAD a) Golpes o deformaciones por embalaje sin protección estructural suficiente b) Desplazamientos internos por falta de puntos de sujeción firmes durante el transporte c) Inestabilidad del componente por ausencia de bases o soportes capaces de resistir vibración d) Daños mecánicos causados por dispositivos de fijación mal tensionados o insuficientes e) Compromiso estructural por transporte inadecuado al peso y dimensiones del componente. f) Riesgo de daño por elementos sueltos no asegurados dentro o alrededor de la carga	Checklist de embalaje aprobado / Inspección visual Revisión técnica contra procedimiento de transporte Validación de estabilidad en zona de carga (check visual + prueba de movimiento) Checklist de fijación / Verificación en recepción Validación contra ficha técnica de transporte / revisión de guía de despacho Inspección visual durante la recepción	3 3 3 3 3 2	2 1 1 1 1 2	2 2 1 2 1 1	12 6 3 6 3 4	Crítico Moderado Bajo Moderado Bajo Moderado			* Checklists y Validaciones Documentales (**Guías de Despacho**) * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Contrastes en Zona * Reporte de No Conformidad **RCSI-SGI-010** * Recepción de Componentes **RCSI-CR-001**		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios	X				X		
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE * Guía de cumplimiento de especificaciones de **CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSBJ0002-05**	2.- CONDICIÓN AMBIENTAL a) Contaminación por aceite derramado debido a sellos deficientes o golpeados b) Riesgo de fuga por falta de sellado adecuado que permita contener fluidos c) Ingreso de residuos sólidos que afectan la limpieza inicial del componente d) Propagación de contaminación por ausencia de barreras o contención ambiental	Inspección visual / revisión de empaques y sellos Validación de sellado con formato estándar / checklist Inspección visual y limpieza previa al ingreso a bodega Validación de embalaje + zonas delimitadas en área de recepción	2 2 2 3	1 2 2 2	1 1 2 1	2 4 8 6	Bajo Moderado Crítico Moderado			* Checklists y Validaciones Documentales (**Guías de Despacho**) * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Contrastes en Zona * Reporte de No Conformidad **RCSI-SGI-010** * Recepción de Componentes **RCSI-CR-001**		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios	X				X		
					3.- CONDICIÓN COMPONENTE a) No conformidad inicial por discrepancia entre el componente recibido y la especificación del cliente b) Riesgos en la inspección por recibir el componente completamente ensamblado, limitando la verificación visual c) Hallazgo de piezas defectuosas que exigen notificación temprana al cliente d) Retrasos por piezas faltantes que afectan la secuencia normal del proceso e) Fallas de control por llegada de cajones, pallets o bultos no declarados f) Trazabilidad limitada por ausencia de la placa de identificación de reparación g) No conformidad por daños visibles atribuibles a manipulación o traslado previo h) Riesgo operativo por bases inadecuadas que comprometen estabilidad del componente	Validación contra Guía de Despacho Checklist de piezas y subcomponentes (apoyo Guía de Despacho) Inspección visual / funcional y registro de NC (no conformidad) Validación con lista de empaque / informe a cliente Registro fotográfico y documentación de bultos / adjunto a informe de recepción Validación contra checklist de ingreso / solicitud de corrección Registro fotográfico, informe a Cliente, retención preventiva Validación en zona de descarga / apoyo de ficha técnica de recepción	2 1 2 3 2 3 3	1 3 2 2 1 1 2	1 1 2 2 1 1 1	2 3 8 12 4 3 6	Bajo Bajo Crítico Crítico Moderado Bajo Moderado			* Checklists y Validaciones Documentales (**Guías de Despacho**) * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Contrastes en Zona * Reporte de No Conformidad **RCSI-SGI-010** * Recepción de Componentes **RCSI-CR-001**		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios	X				X		
2	LAVADO	2.1	Retiro de residuos internos y lavado con estándares técnicos	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I. * Procedimiento de Sala de Lavado **PCSI-LAV-001** * Recepción de Componentes **RCSI-CR-001** * Inspección de Lavado de Componentes **RCSI-CR-00X** * Cartilla de Inspección operativa de Hidrolavadora	1.- LAVADO GRUESO a) Subestimación del nivel de suciedad que dorlva en lavado insuficiente o tratamiento inadecuado b) Contaminación cruzada por no retirar etiquetas, empaques, residuos sueltos o material extraño adherido al componente c) Impieza ineficiteva por selección incorrecta del producto, tiempo de acción insuficiente o aplicación no controlada d) Remoción deficiente de residuos por uso inadecuado de hidrolavadora o presión mal dirigida e) Ingreso de contaminantes por reinspección deficiente y/o drenaje incorrecto	Checklist de evaluación inicial de suciedad con clasificación por nivel (bajo/moderado) Inspección visual y retiro de elementos sueltos. Contenedor para residuos Ficha de selección de productos con tabla de residuos vs. químico recomendado y tiempos validados Hidrolavadora calibrada. Aplicación en zonas críticas con EPP Reinspección visual. Drenaje en zona controlada. Separación de residuos	3 3 3 3 3	2 2 1 2 2	1 1 2 1 2	6 4 12 6 12	Moderado Moderado Crítico Moderado Crítico			* Recepción de Componentes **RCSI-CR-001** * Inspección de Lavado de Componentes * Inspección operativa de Hidrolavadora * Guía de cumplimiento de especificaciones de **CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSBJ0002-05**		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable.							
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE * Guía de cumplimiento de especificaciones de **CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSBJ0002-05**	2.- LAVADO FINO a) Residuos remanentes no detectados por inspección visual deficiente tras el lavado grueso b) Suciedad retenida en cavidades o superficies complejas por aplicación insuficiente de agua a presión c) Contaminación interna por soplado con aire húmedo, sin filtración adecuada o con presión incorrecta d) Fallo en criterios de limpieza por verificación inexacta o no conforme a la Guía de Control de Contaminantes e) Contaminación posterior por aplicación deficiente de protector	Inspección con luz directa. Registro de hallazgos Aplicación dirigida de agua y copilladO controlado Aire comprimido filtrado. Registro de uso Verificación con checklist Caterpillar. Firma del inspector Aplicación de protector. Registro de condición final. Aprobación de Supervisor	2 3 3 3 3	2 1 1 2 2	1 1 1 2 1	4 3 3 12 6	Moderado Bajo Bajo Crítico Moderado			* Recepción de Componentes **RCSI-CR-001** * Inspección de Lavado de Componentes * Inspección operativa de Hidrolavadora * Guía de cumplimiento de especificaciones de **CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSBJ0002-05**								
3	DESARME Y EVALUACION	3.1	Desarme progresivo del conjunto de mando final según procedimiento técnico, separando engranajes, ejes y rodamientos de forma controlada para evitar daños y contaminación	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I. * Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003**	a) Fisuración o deformación en carcasa portante por aplicación incorrecta de torque en pernos de tapa b) Contaminación de superficies internas (engranajes, rodamientos cónicos) por ingreso de partículas metálicas, polvo o residuos de aceite. c) Daños en flancos de dientes de engranajes planetarios y corona por uso de herramientas inadecuadas en la extracción. d) Deformación en alojamientos de rodamientos por aplicación excesiva de presión o calor	Afloje cruzado de pernos con torquímetro calibrado. Drenaje de aceite en bandeja filtrante con retención magnética de partículas. Uso de extractores y gatos hidráulicos homologados por Caterpillar. Control de presión aplicada en extractores (>5 ton).	3 3 3 3	1 2 1 2	2 2 1 1	6 12 3 6	Moderado Crítico Bajo Moderado			* Criterio de evaluación (**GRPTS**) * Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Programa de calibración o verificación de **EIME RCSI-CC-003** * **SIS WEB** - Guías de reutilización de partes y piezas (**GRPTS**) * Mando final, freno y rueda - Desarmar (**REMR8308**) - 04-04-2007 * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable						X	
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE * **SIS WEB** - Guías de reutilización de partes y piezas (**GRPTS**) * Mando final, freno y rueda - Desarmar (**REMR8308**) - 04-04-2007 * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**	e) Pérdida de precarga y daño en rodillos de rodamientos cónicos al ser retirados sin extractor homologado. f) Marcas, golpes o melladuras en superficies de contacto por manipulación manual sin protección. g) Desalineación en el retiro de ejes y engranajes, provocando rayado en pistas y alojamientos. h) Confusión en la secuencia de desmontaje de componentes (engranajes, espaciadores, arandelas de ajuste). i) Falta de registro documental del proceso de desarme.	Manipulación con grúa puente y eslingas certificadas para ejes y corona. Almacenaje temporal en bandejas metálicas con separadores. Marcaje de piezas (IZQ/DER, secuencia) con punzón o pintura de impacto. Registro fotográfico del proceso paso a paso. Checklist de desarme firmado por mecánico responsable.	3 3 3 3 3	2 1 3 1 1	1 1 2 1 2	6 3 18 3 6	Moderado Bajo Crítico Bajo Moderado											
		3.2	Inspección técnica inicial de carcasas, engranajes, ejes y cojinetes para identificar desgaste, fisuras, picaduras de contacto o deformaciones visibles	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I. * Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003**	a) Omisión en la detección de fisuras superficiales en carcasa o engranajes por inspección visual deficiente. b) Desgaste irregular en flancos de dientes no identificado, generando fallas prematuras en transmisión de torque. c) Picaduras de contacto (pitting) en rodamientos o engranajes no registradas, reduciendo la vida útil del conjunto. d) Deformaciones en alojamientos de rodamientos y ejes no detectadas, provocando desalineaciones.	Inspección visual sistemática bajo norma Caterpillar, con iluminación dirigida y apoyo óptico (lupa/linpara). Aplicación de líquidos penetrantes en carcasa, engranajes y ejes para detectar microfisuras. Medición de perfil y desgaste de dientes con plantilla Caterpillar y calibradores. Revisión de picaduras de contacto con lupa 10x y criterio de severidad en checklist.	3 3 3 3	2 1 2 1	1 1 1 2	6 3 6 6	Moderado Bajo Moderado Moderado			* Criterio de evaluación (**GRPTS**) * Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Programa de calibración o verificación de **EIME RCSI-CC-003** * **SIS WEB** - Guías de reutilización de partes y piezas (**GRPTS**) * Mando final, freno y rueda - Desarmar (**REMR8308**) - 04-04-2007 * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable	X						
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE * **SIS WEB** - Guías de reutilización de partes y piezas (**GRPTS**) * Mando final, freno y rueda - Desarmar (**REMR8308**) - 04-04-2007 * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**	e) Inclusión de contaminantes durante la inspección (polvo, grasa, partículas metálicas). f) Evaluación incompleta de juegos axiales y radiales en rodamientos. g) Identificación incorrecta de la severidad del daño (clasificación errónea leve/moderado/crítico). h) Pérdida de trazabilidad por ausencia de registro fotográfico y checklist. i) Daños adicionales en superficies críticas por manipulación sin protección.	Uso de galgas y comparadores para juegos axiales y radiales en rodamientos. Ejecución de inspección en área limpia, con cubiertas protectoras en componentes no evaluados. Registro fotográfico detallado de cada componente inspeccionado. Clasificación de daños según criterios técnicos (desgaste normal, crítico o fuera de servicio). Checklist firmado por inspector de calidad y validado por supervisor.	3 3 3 3 3	2 1 2 2 2	2 2 1 1 1	12 6 12 12 6	Crítico Moderado Crítico Crítico Moderado											
		3.3	Verificación funcional en seco de engranajes y rodamientos, evaluando marcas de contacto, juego entre dientes y condición de pistas de rodadura respecto a tolerancias Caterpillar	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I. * Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003**	a) Omisión en la detección de juego excesivo entre dientes, provocando vibraciones y fallas en transmisión de torque. b) Marcas de contacto desalineadas no registradas, derivando en desgaste irregular de engranajes. c) Pistas de rodadura con picaduras o deformaciones no identificadas durante la verificación. d) Interpretación incorrecta de tolerancias Caterpillar respecto al juego axial y radial.	Uso de comparadores de contraste (azul de Prussia o pasta de contacto) para visualizar marcas entre dientes. Medición de juego axial y radial con comparadores calibrados. Verificación de contacto con plantilla Caterpillar y criterio técnico establecido en manual REMR. Inspección visual detallada con apoyo óptico en pistas de rodadura.	3 3 3 3	1 2 2 2	1 2 1 2	3 6 6 12	Bajo Moderado Moderado Crítico			* Criterio de evaluación (**GRPTS**) * Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Programa de calibración o verificación de **EIME RCSI-CC-003** * **SIS WEB** - Guías de reutilización de partes y piezas (**GRPTS**) * Mando final, freno y rueda - Armar (**REMR8308**) - 23-04-2007 * Sellos Duo-Cono - Instalar (**USNR3262**) - 27-10-2021 * Sellos de labios - Instalar (**USNR3263**) - 23-05-2012 * Sellos anulares - Instalar - APLICACIONES DE SELLOS ANULARES RADIALES EN CONJUNTO DE CONEXIÓN Y OTRAS APLICACIONES DE SELLOS ANULARES (**USNR3263**) - 23-05-2012		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable	X						
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE * **SIS WEB** - Guías de reutilización de partes y piezas (**GRPTS**) * Mando final, freno y rueda - Armar (**REMR8308**) - 23-04-2007 * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**	e) Daños en engranajes o rodamientos por manipulación sin herramientas adecuadas. f) Contaminación de superficies de contacto durante la evaluación (polvo, partículas metálicas). g) Pérdida de evidencia técnica por falta de registro fotográfico de marcas de contacto. h) Evaluación incompleta por omisión de parámetros críticos (par de contacto, condición superficial). i) Clasificación errónea de severidad de desgaste (aceptable vs fuera de norma).	Manipulación controlada con herramientas homologadas y banco limpio de inspección. Registro fotográfico obligatorio de marcas de contacto y condición de rodaduras. Checklist de verificación funcional firmado por inspector y validado por supervisor de calidad. Clasificación del estado de engranajes y rodamientos según tolerancias Caterpillar (dentro de norma / fuera de servicio). Inspección cruzada por doble verificación en casos límite de desgaste.	3 3 3 3 3	2 1 1 2 2	2 2 3 2 2	12 6 9 12 12	Crítico Moderado Crítico Crítico Crítico											
		3.4	Aplicación de control metrológico y ensayos no destructivos en dientes, alojamientos y rodamientos para validar dimensiones críticas, concentricidad y posibles microfisuras	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I. * Solicitud de Reparación **RCSI-ADMP-004** * Informe de análisis No Destructivo **RCSI-CC-006** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003** * Instructivo Control de EIME **ICSI-CC-002** * Instructivo NDT Líquidos penetrantes **ICSI-CC-003** * Instructivo NDT Partículas magnéticas **ICSI-CC-004** * Instructivo NDT Método de ultrasonido **ICSI-CC-005** * Instructivo NDT Partículas fluorescentes **ICSI-CC-006** * Instructivo Control metrológico **ICSI-CC-007**	**a) Defectos estructurales no identificados** **Descripción:** Grietas finas o deformaciones leves en carcasa, tapas o superficies de apoyo que pueden pasar desapercibidas si no se aplican verificaciones complementarias en zonas críticas del mando final. **b) Tolerancias fuera de norma no detectadas** **Descripción:** Desviaciones en concentricidad, paralelismo o diámetros de alojamientos y engranajes que afectan el engrane correcto y la vida útil del conjunto si no se controlan con instrumentos certificados. **c) Microfisuras en superficies de carga** **Descripción:** Grietas superficiales o subsuperficiales en dientes de engranajes, pistas de rodamientos o ejes, invisibles a simple vista y detectables solo mediante ensayos NDT (líquidos penetrantes o partículas magnéticas). **d) Juegos axiales o radiales fuera de rango no verificados** **Descripción:** Variaciones en rodamientos, bujes o cojinetes que generan desgaste prematuro, ruido o pérdida de alineación, si no se miden con precisión durante la verificación. **e) Errores por calibración deficiente de instrumentos** **Descripción:** Mediciones incorrectas en parámetros críticos debido a equipos de control fuera de calibración o sin trazabilidad metrológica, comprometiendo la aceptación de piezas.	**a) Defectos estructurales no identificados** **Control:** Inspección visual detallada de carcasa y tapas con apoyo de líquidos penetrantes y registro fotográfico de las zonas críticas. **b) Tolerancias fuera de norma no detectadas** **Control:** Medición con micrómetros, comparadores y relojes calibrados, contrastando valores con tolerancias Caterpillar. **c) Microfisuras en superficies de carga** **Control:** Ensayos NDT en engranajes, pistas de rodamiento y ejes utilizando líquidos penetrantes o partículas magnéticas. **d) Juegos axiales o radiales fuera de rango no verificados** **Control:** Medición de juegos con comparadores y micrómetros, registrando resultados en planilla técnica del mando final. **e) Errores por calibración deficiente de instrumentos** **Control:** Verificación periódica de calibración de todos los instrumentos de medición con patrones certificados y registro en bitácora metrológica.	3 3 3 3	2 2 2 1	2 2 2 3	12 12 12 9	Crítico Crítico Crítico Crítico			* Solicitud de Reparación **RCSI-ADMP-004** * Informe de análisis No Destructivo **RCSI-CC-006** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003** * Instructivo Control de EIME **ICSI-CC-002** * Instructivo NDT Líquidos penetrantes **ICSI-CC-003** * Instructivo NDT Partículas magnéticas **ICSI-CC-004** * Instructivo NDT Método de ultrasonido **ICSI-CC-005** * Instructivo NDT Partículas fluorescentes **ICSI-CC-006** * Instructivo Control metrológico **ICSI-CC-007** * **SIS WEB** - Guías de reutilización de partes y piezas (**GRPTS**) * Specifications for Inspection of Drive-line Fasteners (2030, 3101, 3159, 3253, 3258, 3278, 4050) Número de medio - (**SEBF8728-25**) - 18-06-2021 * Reuse and Salvage of Planetary Final Drives for Certain Wheeled Models (6679, 4011, 4050, 4051, 4201, 4205, 4215) Número de medio - (**SEBF8093-17**) - 15-07-2021 * Procedures to Salvage Thrust Faces on Planetary Carriers (6679, 3160, 4050, 4051, 4093) Número de medio - (**SEBF8143-18**) - 07-07-2021 * Repair Procedures of Wheel Bolt Holes for Certain Wheel Loaders (6676, 1117, 4001, 4201) Número de medio - (**SEBF8958-06**) - 29-01-2021 * Thermal Spray Procedures for Brake Piston Housing (6679, 4251) Número de medio - (**SEBF2136-09**) - 06-07-2021 * Procedure to Salvage Tang Slots on Transmission and Brake Pistons (6679, 3160, 4011, 4251) Número de medio - (**SEBF8178-09**) - 05-05-2021 * Discos de freno de servicio - Comprobar (**REMR8326**)- 10-03-2005 * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**		* Supervisor de Unidad Técnica * Supervisor de Control de Calidad	X						
		3.5	Almacenaje controlado de componentes inspeccionados, aplicando protección anticorrosiva, segregación por condición y trazabilidad en sistema de control	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I. * Procedimiento de Reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Procedimiento de trabajo de Area de Banco de Prueba **PCSI-BIP-001** * Informe de Prueba Dinamométrica **RCSI-BIP-01** * Programa de Mantención de Equipos Críticos **RCSI-SGI-023** * Programa de Inspección de Equipos Críticos **RCSI-SGI-024** * Pauta de Mantención Banco de Prueba AJCCO 900-K **RCSI-BIP-004**	1.- APLICA PARA COMPONENTES a) Identificación deficiente o pérdida de trazabilidad del mando final. b) Ubicación incorrecta o sin registro claro en bodega. c) Exposición del mando final a lluvia, polvo o contaminación ambiental. d) Daños estructurales por apoyo directo en el suelo o soportes inadecuados. e) Corrosión o deterioro en superficies críticas (retenes, alojamientos, bridas). f) Mezcla o confusión de mandos en distinto estado (listos, en reparación, rechazados). g) Presencia de humedad, condensación o vapores corrosivos en la zona de almacenaje. h) Daños por calor directo, golpes o manipulación con equipos no certificados. i) Deterioro progresivo por falta de inspecciones periódicas durante el almacenamiento. j) Deformaciones o daños por apilamiento inadecuado de basti	Rotulación reforzada con placas o etiquetas resistentes, registrada en sistema de trazabilidad. Señalización de área exclusiva para mandos y codificación en plano de bodega. Protección con techumbre, piso nivelado y acceso restringido. Uso de pallets metálicos o bastidores certificados con anclajes de seguridad. Aplicación de tapas metálicas, recubrimientos anticorrosivos y empaques herméticos. Separación física por estado del mando, con tarjetas de condición o códigos de color. Monitoreo ambiental periódico y uso de desecantes en embalajes. Restricción de áreas cercanas a calderas/ductos; manóbras solo con grúa puente y eslingas certificadas. Inspecciones visuales y metrológicas programadas, verificando sellado, protección y estado del bastidor. Prohibición de apilamiento directo; uso de bastidores con topes de seguridad y control de carga por estiba.	3 3 2 3 2 3 3 3 3 3	2 2 1 1 2 2 2 1 2 1	1 2 2 2 2 1 2 2 2 2	6 12 4 6 4 6 6 6 12 6	Moderado Crítico Moderado Moderado Moderado Moderado Moderado Moderado Crítico Moderado			* Registro de preservación temporal **RCSI-UT-010** * Protección mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados (3100,3150,4059) (**SEPD0495**)-07-04-2011		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica							
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE * Protección mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados. (3100,3150,4059) (**SEPD0495**)	2.- APLICA PARA PIEZAS a) Pérdida de identificación o trazabilidad de la pieza (sin N° parte, OT, lecha o estado). b) Ubicación incorrecta o sin registro en estantería, caja, pallet o contenedor. c) Uso de embalajes inadecuados que no protegen contra contaminación o golpes. d) Mezcla de piezas con contaminantes o incompatibles en la misma zona. e) Exposición de piezas a polvo, humedad o agentes externos por falta de sellado. f) Deformaciones por mal soporte, estiba deficiente o caída de estantería. g) Condensación, humedad o salpicaduras que generan corrosión o deterioro. h) Rotulación ilegible, incompleta o ausente en el contenedor o embalaje. i) Daños por aplastamiento, deformaciones visibles o manipulación incorrecta. j) Ausencia de control visual o revisión periódica, aumentando riesgo de deterioro.	Rotulación individual con etiquetas resistentes, legibles y sistema digital de inventario. Registro de ubicación en plano de bodega y marcado físico de posición. Uso de cajas plásticas, bolsas anticorrosivas o contenedores técnicos adecuados. Zonificación en bodega y almacenamiento segregado por tipo o compatibilidad. Aplicación de tapas, películas protectoras o empaques anticorrosivos según material. Revisión de estabilidad de pallets y estanterías reforzadas. Monitoreo ambiental con control de humedad y temperatura en bodega. Verificación de etiquetas y control de calidad en el ingreso. Inspección visual rutinaria y checklist de almacenaje seguro. Programación de controles periódicos según criticidad de la pieza en sistema de gestión.	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	2 1 2 1 2 2 2 1 1 2	1 2 1 2 1 2 2 2 1 2	6 12 6 6 6 12 12 6 3 12	Moderado Crítico Moderado Moderado Moderado Crítico Crítico Moderado Bajo Crítico			* Registro de preservación temporal **RCSI-UT-010** * Protección mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados (3100,3150,4059) (**SEPD0495**)-07-04-2011								
4	ARMADO	4.1	4.1 Montaje de Carcasa Base: Instalar carcasa en bastidor, verificando nivelación, paralelismo y concentricidad de alojamientos.	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I. * Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Ficha Técnica de Mando Final 994F **RCSI-CRC-232** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Programa de calibración o verificación de **EIME RCSI-CC-003**	a) Inspección o deformación en carcasa portante por aplicación incorrecta de torque en pernos de tapa. b) Error en la nivelación de la carcasa respecto al bastidor. c) Alineación incorrecta entre carcasa y eje de transmisión. d) Uso de pernos o fijaciones fuera de especificación. e) Daños en superficies de apoyo por manipulación inadecuada. f) Contaminación interna por ingreso de polvo o partículas durante el montaje. g) Omisión de control dimensional en diámetros y alojamientos de la carcasa. h) Registro documental incompleto de la instalación.	Verificación de nivelación con equipos de precisión y plantillas patrón para referencia geométrica. Medición de concentricidad y paralelismo con reloj comparador y calibradores certificados. Validación de torque y tipo de fijación de pernos según especificaciones Caterpillar. Uso de grúa puente, eslingas certificadas y protecciones de superficie durante la maniobra. Ejecución del montaje en área controlada, con limpieza previa de superficies. Control metrológico de diámetros, planicidad y alineación con instrumentos certificados. Registro fotográfico, checklist de montaje y trazabilidad en planilla técnica.	3 3 3 3 3 3 3	2 2 2 2 2 2 2	2 2 2 2 2 2 2	12 12 12 12 12 12 12	Crítico Crítico Crítico Crítico Crítico Crítico Crítico			* Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Ficha Técnica de Mando Final 994F **RCSI-CRC-232** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003** * Mando final, freno y rueda - Armar (**REMR8308**) - 23-04-2007 * Sellos Duo-Cono - Instalar (**USNR3262**) - 27-10-2021 * Sellos de labios - Instalar (**USNR3263**) - 23-05-2012 * Sellos anulares - Instalar - APLICACIONES DE SELLOS ANULARES RADIALES EN CONJUNTO DE CONEXIÓN Y OTRAS APLICACIONES DE SELLOS ANULARES (**USNR3263**) - 23-05-2012		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable	X	X	X	X	X	X	
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE *Mando final, freno y rueda - Armar (**REMR8308**) - 23-04-2007 *Sellos Duo-Cono - Instalar (**USNR3262**) - 27-10-2021 *Sellos de labios - Instalar (**USNR3263**) - 23-05-2012 *Sellos anulares - Instalar - APLICACIONES DE SELLOS ANULARES RADIALES EN CONJUNTO DE CONEXIÓN Y OTRAS APLICACIONES DE SELLOS ANULARES (**USNR3262**) - 23-05-2012	b) Uso de pernos, arandelas o componentes de fijación fuera de especificación Caterpillar. c) Omisión de control dimensional en alojamientos de satélites y ejes planetarios. d) Registro incompleto de valores de torque, concentricidad y condición final de montaje.	Validación de códigos y especificaciones de rodamientos contra manual del fabricante. Control metrológico de diámetros y concentricidad con instrumentos certificados. Checklist técnico con registro fotográfico y trazabilidad de los valores de montaje.	3 3 3	2 2 2	2 2 2	12 12 12	Crítico Crítico Crítico											
		4.3	Ensamble de Ejes y Cojinetes: Colocar ejes y rodamientos, ajustando precarga y verificando holguras axiales y radiales con comparadores.	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I. * Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Ficha Técnica de Mando Final 994F **RCSI-CRC-232** *

Matriz de Riesgos de Calidad

Reparables & Garantías MECoE

Datos del componente

Familia del Componente: MANDO FINAL 980H
Vida útil esperada del componente: 18.000 HORAS

Control del documento

Revisión Nº: 1
Fecha emisión / Actualización: 00-mm-aaaa

Nº Etapa del Proceso de Reparación del Componente	Descripción de la Etapa	Nº Actividad	Descripción Actividad	Documentos de Referencia de la Actividad: Nombre y Codificación (Planos, Procedimientos, Instructivos, entre otros)	Riesgos de Calidad Asociado a la Actividad	Controles Actuales Asociado a los Riesgos	Criterios de Aceptación (FMEA) S	O	D	RPN	Riesgo del Proceso	Analisis de Conformidad Cumple	No Cumple	Registros del Control	Nuevos Controles a Implementar Asociados a los Riesgos	Responsable de Liberación	Etapa y ejecutor de Control de Calidad / Inspección: Etapa QI/QC Inicio	Intermedio	Final	Hot Points	Ejecutor QC Interno	Externo	Observaciones
1	RECEPCIÓN DEL COMPONENTE	1.1	Control de ingreso técnico y verificación de conformidad	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	1.- CONDICIÓN SEGURIDAD																		
				* Instructivo de Ingreso de Mercadería **ICSI-BOD-006** * Instructivo de Creación de una Solicitud de Orden de Trabajo **ICSI-ADMP-004** * Recepción de Componentes **RCSI-CR-001** * Reporte de No Conformidad **RCSI-SGI-010**	a) Golpes o deformaciones por embalaje sin protección estructural suficiente	Checklist de embalaje aprobado / Inspección visual	3	2	2	12	Crítico			* Checklists y Validaciones Documentales **(Guías de Despacho)** * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Controles en Zona * Reporte de No Conformidad **RCSI-SGI-010** * Recepción de Componentes **RCSI-CR-001**		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios	X				X		
					b) Desplazamientos internos por falta de puntos de sujeción firmes durante el transporte	Revisión técnica contra procedimiento de transporte	3	1	2	6	Moderado												
					c) Inestabilidad del componente por ausencia de bases o soportes capaces de resistir vibración	Validación de estabilidad en zona de carga (check visual + prueba de movimiento)	3	1	1	3	Bajo												
					d) Daños mecánicos causados por dispositivos de fijación mal tensionados o insuficientes	Checklist de fijación / Verificación en recepción	3	1	2	6	Moderado												
					e) Compromiso estructural por transporte inadecuado al peso y dimensiones del componente.	Validación contra ficha técnica de transporte / revisión de guía de despacho	3	1	1	3	Bajo												
					f) Riesgo de daño por elementos sueltos no asegurados dentro o alrededor de la carga	Inspección visual durante la recepción	2	2	1	4	Moderado												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	2.- CONDICIÓN AMBIENTAL																		
				* Guía de cumplimiento de especificaciones de **CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSILI0002-05**	a) Contaminación por aceite derramado debido a sellos deficientes o golpeados	Inspección visual / revisión de empaques y sellos	2	1	1	2	Bajo			* Checklists y Validaciones Documentales **(Guías de Despacho)** * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Controles en Zona * Reporte de No Conformidad **RCSI-SGI-010** * Recepción de Componentes **RCSI-CR-001**		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios	X				X		
					b) Riesgo de fuga por falta de sellado adecuado que permita contener fluidos	Validación de sellado con formato estándar / checklist	2	2	1	4	Moderado												
					c) Ingreso de residuos sólidos que afectan la limpieza inicial del componente	Inspección visual y limpieza previa al ingreso a bodega	2	2	2	8	Crítico												
					d) Propagación de contaminación por ausencia de barreras o contención ambiental	Validación de embalaje + zonas delimitadas en área de recepción	3	2	1	6	Moderado												
					3.- CONDICIÓN COMPONENTE																		
					a) No conformidad inicial por discrepancia entre el componente recibido y la especificación del cliente	Validación contra Guía de Despacho	2	1	1	2	Bajo			* Checklists y Validaciones Documentales **(Guías de Despacho)** * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Controles en Zona * Reporte de No Conformidad **RCSI-SGI-010** * Recepción de Componentes **RCSI-CR-001**		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios							
					b) Riesgos en la inspección por recibir el componente completamente ensamblado, limitando la verificación visual	Checklist de piezas y subcomponentes (apoyo Guía de Despacho)	1	3	1	3	Bajo												
					c) Hallazgo de piezas defectuosas que exigen notificación temprana al cliente	Inspección visual / funcional y registro de NC (no conformidad)	2	2	2	8	Crítico												
					d) Retrasos por piezas faltantes que afectan la secuencia normal del proceso	Validación con lista de empaque / informe a cliente	3	2	2	12	Crítico												
					e) Fallas de control por llegada de cajones, pallets o bultos no declarados	Registro fotográfico y documentación de bultos / adjunto a informe de recepción	2	2	1	4	Moderado												
					f) Trazabilidad limitada por ausencia de la placa de identificación de reparación	Validación contra checklist de ingreso / solicitud de corrección	3	1	1	3	Bajo												
					g) No conformidad por daños visibles atribuibles a manipulación o traslado previo	Registro fotográfico, informe a Cliente, retención preventiva	3	2	2	12	Crítico												
					h) Riesgo operativo por bases inadecuadas que comprometen estabilidad del componente	Validación en zona de descarga / apoyo de ficha técnica de recepción	3	2	1	6	Moderado												
2	LAVADO	2.1	Retiro de residuos internos y lavado con estándares técnicos	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	1.- LAVADO GRUESO																		
				* Procedimiento de Sala de Lavado **PCSI-LAV-001** * Recepción de Componentes **RCSI-CR-001** * Inspección de Lavado de Componentes **RCSI-CR-00X** * Cartilla de Inspección operativa de Hidrolavadora	a) Subestimación del nivel de suciedad que deriva en lavado insuficiente o tratamiento inadecuado	Checklist de evaluación inicial de suciedad con clasificación por nivel (bajo/medio/alto)	3	2	1	6	Moderado			* Recepción de Componentes **RCSI-CR-001** * Inspección de Lavado de Componentes * Inspección operativa de Hidrolavadoras * Guía de cumplimiento de especificaciones de **CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSILI0002-05**		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico Técnico Responsable.							
					b) Contaminación cruzada por no retirar etiquetas, empaques, residuos sueltos o material extraño adherido al componente	Inspección visual y retiro de elementos sueltos. Contenedor para residuos	2	2	1	4	Moderado												
					c) Limpieza ineffectiva por selección incorrecta del producto, tiempo de acción insuficiente o aplicación no controlada	Ficha de selección de productos con tabla de residuos vs. químico recomendado y tiempos validados	3	2	2	12	Crítico												
					d) Remoción deficiente de residuos por uso inadecuado de hidrolavadora o presión mal dirigida	Hidrolavadora calibrada. Aplicación en zonas críticas con EPP	3	2	1	6	Moderado												
					e) Ingreso de contaminantes por reinspección deficiente y/o drenaje incorrecto	Reinspección visual. Drenaje en zona controlada. Separación de residuos	3	2	2	12	Crítico												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	2.- LAVADO FINO																		
				* Guía de cumplimiento de especificaciones de **CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSILI0002-05**	a) Residuos remanentes no detectados por inspección visual deficiente tras el lavado grueso	Inspección con luz directa. Registro de hallazgos	2	2	1	4	Moderado			* Recepción de Componentes **RCSI-CR-001** * Inspección de Lavado de Componentes * Inspección operativa de Hidrolavadoras * Guía de cumplimiento de especificaciones de **CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSILI0002-05**								
					b) Suciedad retenida en cavidades o superficies complejas por aplicación insuficiente de agua a presión	Aplicación dirigida de agua y cepillado controlado	3	1	1	3	Bajo												
					c) Contaminación interna por soplado con aire húmedo, sin filtración adecuada o con presión incorrecta	Aire comprimido filtrado. Registro de uso	3	1	1	3	Bajo												
					d) Fallo en criterios de limpieza por verificación inexacta o no conforme a la Guía de Control de Contaminantes	Verificación con checklist Caterpillar. Firma del inspector	3	2	2	12	Crítico												
					e) Contaminación posterior por aplicación deficiente de protector	Aplicación de protector. Registro de condición final. Aprobación de Supervisor	3	2	1	6	Moderado												
3	DESARME Y EVALUACION	3.1	Desarme progresivo del conjunto de mando final según procedimiento técnico, separando engranajes, ejes y rodamientos de forma controlada para evitar daños y contaminación	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Fisuración o deformación en carcasa portante por aplicación incorrecta de torque en pernos de tapa	Afloje cruzado de pernos con torquímetro calibrado.	3	1	2	6	Moderado			* Criterio de evaluación **(GRPTS)** * Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003** * **SIS WEB** - Guías de reutilización de partes y piezas **(GRPTS)** final y rueda - Desarmar **(REINR0667)** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**	* Mando	* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico Técnico Responsable							X
					b) Contaminación de superficies internas (engranajes, rodamientos cónicos) por ingreso de partículas metálicas, polvo o residuos de aceite.	Drenaje de aceite en bandeja filtrante con retención magnética de partículas.	3	2	2	12	Crítico												
				* Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003**	c) Daños en flancos de dientes de engranajes planetarios y corona por uso de herramientas inadecuadas en la extracción.	Uso de extractores y gatos hidráulicos homologados por Caterpillar.	3	1	1	3	Bajo												
					d) Deformación en alojamientos de rodamientos por aplicación excesiva de presión o calor.	Control de presión aplicada en extractores (<5 ton).	3	2	1	6	Moderado												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	e) Pérdida de precarga y daño en rodillos de rodamientos cónicos al ser retirados sin extractor homologado.	Manipulación con grúa puente y eslingas certificadas para ejes y corona.	3	1	2	6	Moderado												
				* **SIS WEB** - Guías de reutilización de partes y piezas **(GRPTS)** * Mando final y rueda - Desarmar **(REINR0667)** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**	f) Marcas, golpes o melladuras en superficies de contacto por manipulación manual sin protección.	Almacenaje temporal en bandejas metálicas con separadores.	3	1	1	3	Bajo												
					g) Desalineación en el retiro de ejes y engranajes, provocando rayado en pistas y alojamientos.	Marcaje de piezas (EQ/DER, secuencia) con punzón o pintura de impacto.	3	3	2	18	Crítico												
					h) Confusión en la secuencia de desmontaje de componentes (engranajes, espaciadores, arandelas de ajuste).	Registro fotográfico del proceso paso a paso.	3	1	1	3	Bajo												
					i) Falta de registro documental del proceso de desarme.	Checklist de desarme firmado por mecánico responsable.	3	1	2	6	Moderado												
		3.2	Inspección técnica inicial de carcasa, engranajes, ejes y cojinetes para identificar desgaste, fisuras, picaduras de contacto o deformaciones visibles	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Omisión en la detección de fisuras superficiales en carcasa o engranajes por inspección visual deficiente.	Inspección visual sistemática bajo norma Caterpillar, con iluminación dirigida y apoyo óptico (lupa/lámpara).	3	2	1	6	Moderado			* Criterio de evaluación **(GRPTS)** * Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003** * **SIS WEB** - Guías de reutilización de partes y piezas **(GRPTS)** final y rueda - Desarmar **(REINR0667)** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**	* Mando	* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico Técnico Responsable	X						
					b) Desgaste irregular en flancos de dientes no identificado, generando fallas prematuras en transmisión de torque.	Aplicación de líquidos penetrantes en carcasa, engranajes y ejes para detectar microfisuras.	3	1	1	3	Bajo												
					c) Picaduras de contacto (pitting) en rodamientos o engranajes no registradas, reduciendo la vida útil del conjunto.	Medición de perfil y desgaste de dientes con plantilla Caterpillar y calibradores.	3	2	1	6	Moderado												
					d) Deformaciones en alojamientos de rodamientos y ejes no detectadas, provocando desalineaciones.	Revisión de picaduras de contacto con lupa 10x y criterio de severidad en checklist.	3	1	2	6	Moderado												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	e) Inclusión de contaminantes durante la inspección (polvo, grasa, partículas metálicas).	Uso de galgas y comparadores para juegos axiales y radiales en rodamientos.	3	2	2	12	Crítico												
				* **SIS WEB** - Guías de reutilización de partes y piezas **(GRPTS)** * Mando final y rueda - Desarmar **(REINR0667)** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**	f) Evaluación incompleta de juegos axiales y radiales en rodamientos.	Ejecución de inspección en área limpia, con cubietas protectoras en componentes no evaluados.	3	1	2	6	Moderado												
					g) Identificación incorrecta de la severidad del daño (clasificación errónea leve/moderado/crítico).	Registro fotográfico detallado de cada componente inspeccionado.	3	2	2	12	Crítico												
					h) Pérdida de trazabilidad por ausencia de registro fotográfico y checklist.	Clasificación de daños según criterios técnicos (desgaste normal, crítico o fuera de servicio).	3	2	2	12	Crítico												
					i) Daños adicionales en superficies críticas por manipulación sin protección.	Checklist firmado por inspector de calidad y validado por supervisor.	3	2	1	6	Moderado												
		3.3	Verificación funcional en seco de engranajes y rodamientos, evaluando marcas de contacto, juego entre dientes y condición de pistas de rodadura respecto a tolerancias Caterpillar	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Omisión en la detección de juego excesivo entre dientes, provocando vibraciones y fallas en transmisión de torque.	Uso de compuestos de contraste (azul de Prusia o pasta de contacto) para visualizar marcas entre dientes.	3	1	1	3	Bajo			* Criterio de evaluación **(GRPTS)** * Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003** * **SIS WEB** - Guías de reutilización de partes y piezas **(GRPTS)** final y rueda - Desarmar **(REINR0667)** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**	* Mando	* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico Técnico Responsable	X						
					b) Marcas de contacto desalineadas no registradas, derivando en desgaste irregular de engranajes.	Medición de juego axial y radial con comparadores calibrados.	3	2	1	6	Moderado												
					c) Pistas de rodadura con picaduras o deformaciones no identificadas durante la verificación.	Verificación de contacto con plantilla Caterpillar y criterio técnico establecido en manual REINR.	3	2	1	6	Moderado												
					d) Interpretación incorrecta de tolerancias Caterpillar respecto al juego axial y radial.	Inspección visual detallada con apoyo óptico en pistas de rodadura.	3	2	2	12	Crítico												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	e) Daños en engranajes o rodamientos por manipulación sin herramientas adecuadas.	Manipulación controlada con herramientas homologadas y banco limpio de inspección.	3	2	2	12	Crítico												
				* **SIS WEB** - Guías de reutilización de partes y piezas **(GRPTS)** * Mando final y rueda - Desarmar **(REINR0667)** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**	f) Contaminación de superficies de contacto durante la evaluación (polvo, partículas metálicas).	Registro fotográfico obligatorio de marcas de contacto y condición de rodaduras.	3	2	1	6	Moderado												
					g) Pérdida de evidencia técnica por falta de registro fotográfico de marcas de contacto.	Checklist de verificación funcional firmado por inspector y validado por supervisor de calidad.	3	2	1	6	Moderado												
					h) Evaluación incompleta por omisión de parámetros críticos (par de contacto, condición superficial).	Clasificación del estado de engranajes y rodamientos según tolerancias Caterpillar (dentro de norma / fuera de servicio).	3	2	2	12	Crítico												
					i) Clasificación errónea de severidad de desgaste (aceptable vs fuera de norma).	Inspección cruzada por doble verificación en casos límite de desgaste.	3	2	2	12	Crítico												
		3.4	Aplicación de control metrológico y ensayos no destructivos en dientes, alojamientos y rodamientos para validar dimensiones críticas, concentricidad y posibles microfisuras	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	**a) Defectos estructurales no identificados** **Descripción:** Grietas finas o deformaciones leves en carcasa, tapas o superficies de apoyo que pueden pasar desapercibidas si no se aplican verificaciones complementarias en zonas críticas del mando final.	**a) Defectos estructurales no identificados** **Control:** Inspección visual detallada de carcasa y tapas con apoyo de líquidos penetrantes y registro fotográfico de las zonas críticas.	3	2	2	12	Crítico			* Solicitud de Reparación **RCSI-ADMP-004** * Informe de análisis No Destructivo **RCSI-CC-006** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003** * Instructivo Control de EIME **ICSI-CC-002** * Instructivo NDT Líquidos penetrantes **ICSI-CC-003** * Instructivo NDT Partículas magnéticas **ICSI-CC-004** * Instructivo NDT Método de ultrasonido **ICSI-CC-005** * Instructivo NDT Partículas fluorescentes **ICSI-CC-006** * Instructivo Control metrológico **ICSI-CC-007** * **SIS WEB** - Guías de reutilización de partes y piezas **(GRPTS)** * Specifications for Inspection of Drive-line Fasteners (3030, 3101, 3159, 3253, 3258, 3278, 4050) Número de medio - **(SEBF8728-25) - 18-06-2021** * Resse and Salvage of Planetary Final Drives for Certain Wheeled Models (0679, 4011, 4050, 4051, 4201, 4205, 4215) Número de medio - **(SEBF8093-17) - 15-07-2021** * Procedures to Salvage Thrust Faces on Planetary Carriers (0679, 3160, 4050, 4051, 4063) Número de medio - **(SEBF8163-18) - 07-07-2021** * Resse and Salvage of Trunnion for Certain Wheeled Models (3278, 4050, 4051, 4054, 4064, 4205) Número de medio - **(SEBF8090-06) - 16-07-2021** * Repair Procedures of Wheel Bolt Holes for Certain Wheel Loaders (0676, 1117, 4001, 4201) Número de medio - **(SEBF8958-06) - 29-01-2021** * Thermal Spray Procedures for Brake Piston Housing (0679, 4251) Número de medio - **(SEBF2136-09) - 06-07-2021** * Procedure to Salvage Tang Slots on Transmission and Brake Pistons (0679, 3160, 4011, 4251) Número de medio - **(SEBF8178-09) - 05-05-2021** * Discos de freno de servicio - Comprobar **(REINR6326) - 10-03-2005** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**		* Supervisor de Unidad Técnica * Supervisor de Control de Calidad	X						
					b) Tolerancias fuera de norma no detectadas **Descripción:** Desviaciones en concentricidad, paralelismo o diámetros de alojamientos y engranajes que afectan el engrane correcto y la vida útil del conjunto si no se controlan con instrumentos certificados.	**b) Tolerancias fuera de norma no detectadas** **Control:** Medición con micrómetros, comparadores y relojes calibrados, contrastando valores con tolerancias Caterpillar.	3	2	2	12	Crítico												
					c) Microfisuras en superficies de carga **Descripción:** Grietas superficiales o subsuperficiales en dientes de engranajes, pistas de rodamientos o ejes, invisibles a simple vista y detectables solo mediante ensayos NDT (líquidos penetrantes o partículas magnéticas).	**c) Microfisuras en superficies de carga** **Control:** Ensayos NDT en engranajes, pistas de rodamiento y ejes utilizando líquidos penetrantes o partículas magnéticas.	3	2	2	12	Crítico												
					d) Juegos axiales o radiales fuera de rango no verificados **Descripción:** Variaciones en rodamientos, bujes o cojinetes que generan desgaste prematuro, ruido o pérdida de alineación, si no se miden con precisión durante la verificación.	**d) Juegos axiales o radiales fuera de rango no verificados** **Control:** Medición de juegos con comparadores y micrómetros, registrando resultados en planilla técnica del mando final.	3	1	2	6	Moderado												
					e) Errores por calibración deficiente de instrumentos **Descripción:** Mediciones incorrectas en parámetros críticos debido a equipos de control fuera de calibración o sin trazabilidad metrológica, comprometiendo la aceptación de piezas.	**e) Errores por calibración deficiente de instrumentos** **Control:** Verificación periódica de calibración de todos los instrumentos de medición con patrones certificados y registro en bitácora metrológica.	3	1	3	9	Crítico												
		3.5	Almacenaje controlado de componentes inspeccionados, aplicando protección anticorrosiva, segregación por condición y trazabilidad en sistema de control	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	1.- APLICA PARA COMPONENTES																		
				* Procedimiento de Reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Registro de preservación temporal **RCSI-UT-010**	a) Identificación deficiente o pérdida de trazabilidad del mando final.	Rotulación reforzada con placas o etiquetas resistentes, registrada en sistema de trazabilidad.	2	2	1	4	Moderado			* Registro de preservación temporal **RCSI-UT-010** * Preoticción mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados (3100;3150;4059) **(SEPD0490)-07-04-2011**		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica							
					b) Ubicación incorrecta o sin registro claro en bodega.	Señalización de área exclusiva para mandos y codificación en plano de bodega.	2	2	2	8	Crítico												
					c) Exposición del mando final a lluvia, polvo o contaminación ambiental.	Protección con techumbre, piso nivelado y acceso restringido.	3	2	1	6	Moderado												
					d) Daños estructurales por apoyo directo en el suelo o soportes inadecuados.	Uso de pallets metálicos o basidores certificados con anclajes de seguridad.	3	1	1	3	Bajo												
					e) Corrosión o deterioro en superficies críticas (retenes, alojamientos, bridas).	Aplicación de tapas metálicas, recubrimientos anticorrosivos y empaques herméticos.	2	1	2	4	Moderado												
					f) Mezcla o confusión de mandos en distinto estado (listos, en reparación, rechazados).	Separación física por estado del mando, con tarjetas de condición o códigos de color.	3	2	1	6	Moderado												
					g) Presencia de humedad, condensación o vapores corrosivos en la zona de almacenaje.	Monitoreo ambiental periódico y uso de desecantes en embalajes.	3	1	2	6	Moderado												
					h) Daños por calor directo, golpes o manipulación con equipos no certificados.	Restricción de áreas cercanas a calor/soldadura; maniobras solo con grúa puente y eslingas certificadas.	3	1	2	6	Moderado												
					i) Deterioro progresivo por falta de inspecciones periódicas durante el almacenamiento.	Inspecciones visuales y metrológicas programadas, verificando sellado, protección y estado del basidor.	3	2	2	12	Crítico												
					j) Deformaciones o daños por apilamiento inadecuado de basidores o pallets.	Prohibición de apilamiento directo; uso de basidores con topes de seguridad y control de carga por estiba.	3	1	2	6	Moderado												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	2.- APLICA PARA PIEZAS																		
				* Protección mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados (3100;3150;4059) **(SEPD0490)**	a) Pérdida de identificación o trazabilidad de la pieza (sin Nº parte, OT, fecha o estado).	Rotulación individual con etiquetas resistentes, legibles y sistema digital de inventario.	3	2	1	6	Moderado			* Registro de preservación temporal **RCSI-UT-010** * Preoticción mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados (3100;3150;4059) **(SEPD0490)-07-04-2011**								
					b) Ubicación incorrecta o sin registro en estantería, caja, pallet o contenedor.	Registro de ubicación en plano de bodega y marcado físico de posición.	3	2	2	12	Crítico												
					c) Uso de embalajes inadecuados que no protegen contra contaminación o golpes.	Uso de cajas plásticas, bolsas anticorrosivas o contenedores técnicos adecuados.	3	2	1	6	Moderado												
					d) Mezcla de piezas con contaminantes o incompatibles en la misma zona.	Zonificación en bodega y almacenamiento segregado por tipo o compatibilidad.	3	1	2	6	Moderado												
					e) Exposición de piezas a polvo, humedad o agentes externos por falta de sellado.	Aplicación de tapas, películas protectoras o empaques anticorrosivos según material.	3	2	1	6	Moderado												
					f) Deformaciones por mal soporte, estiba deficiente o caída de estantería.	Revisión de estabilidad de pallets y estanterías reforzadas.	3	1	2	6	Moderado												
					g) Condensación, humedad o salpicaduras que generan corrosión o deterioro.	Monitoreo ambiental con control de humedad y temperatura en bodega.	3	2	1	6	Moderado												
					h) Rotulación ilegible, incompleta o ausente en el contenedor o embalaje.	Verificación de etiquetas y control de calidad en el ingreso.	3	1	2	6	Moderado												
					i) Daños por aplastamiento, deformaciones visibles o manipulación incorrecta.	Inspección visual rutinaria y checklist de almacenaje seguro.	3	1	1	3	Bajo												
					j) Ausencia de control visual o revisión periódica, aumentando riesgo de deterioro.	Programación de controles periódicos según criticidad de la pieza en sistema de gestión.	3	2	2	12	Crítico												
4	ARMADO	4.1	4.1 Montaje de Carcasa Base: Instalar carcasa en bastidor, verificando nivelación, paralelismo y concentricidad de alojamientos.	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Fisuras o deformaciones en la carcasa no detectadas antes del montaje.	Inspección visual detallada y aplicación de ensayos NDT en zonas críticas previo al montaje.	3	2	2	12	Crítico			* Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Ficha Técnica de Mando Final 980H **RCSI-CRC-** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003** * Mando final y rueda - Armar **(REINR0667)**		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico Técnico Responsable	X	X	X	X	X	X	
					b) Error en la nivelación de la carcasa respecto al basidor.	Verificación de nivelación con equipos de precisión y plantillas patrón para referencia geométrica.	3	2	2	12	Crítico												
					c) Alineación incorrecta entre carcasa y eje de transmisión.	Medición de concentricidad y paralelismo con reloj comparador y calibradores certificados.	3	2	2	12	Crítico												
					d) Uso de pernos o fijaciones fuera de especificación.	Validación de torque y tipo de fijación de pernos según especificaciones Caterpillar.	3	2	2	12	Crítico												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	e) Daños en superficies de apoyo por manipulación inadecuada.	Uso de grúa puente, eslingas certificadas y protecciones de superficie durante la maniobra.	3	2	2	12	Crítico												
				* **SIS WEB** - Guías de reutilización de partes y piezas **(GRPTS)** * Mando final y rueda - Armar **(REINR0667)** * **"La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."**	f) Contaminación interna por ingreso de polvo o partículas durante el montaje.	Ejecución del montaje en área controlada, con limpieza previa de superficies.	3	2	2	12	Crítico												
					g) Omisión de control dimensional en diámetros y alojamientos de la carcasa.	Control metrológico de diámetros, planicidad y alineación con instrumentos certificados.	3	2	2	12	Crítico												
					h) Registro documental incompleto de la instalación.	Registro fotográfico, checklist de montaje y trazabilidad en planilla técnica.	3	2	2	12	Crítico												
		4.2	Instalación de Engranajes Primarios: Montar engranajes de ataque y piñón, aplicando lubricación y controlando juego entre dientes y patrón de contacto.	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Juego entre dientes fuera de especificación por montaje incorrecto.	Medición del juego entre dientes con comparadores y galgas según tolerancias Caterpillar.	3	2	2	12	Crítico			* Procedimiento de reparación de componentes **PCSI-CR-001** * Informe de desarme y evaluación de componente **RCSI-CR-016** * Ficha Técnica de Mando Final 980H **RCSI-CRC-** * Inspección de Desarme de Componentes **RCSI-UT-003** * Programa de calibración o verificación de EIME **RCSI-CC-003** * Mando final y rueda - Armar **(REINR0667)**								
					b) Patrón de contacto inadecuado en engranajes de ataque y piñón.	Verificación del patrón de contacto mediante pruebas con pasta de control y ajuste de posición.	3	2	2	12	Crítico												
					c) Uso de lubricante no homologado o aplicación deficiente.	Aplicación de lubricante homologado en cantidad y puntos especificados por el fabricante.	3	2	2	12	Crítico												

Matriz de Riesgos de Calidad

Reparables & Garantías MECoE

Datos del componente		Control del documento	
Familia del Componente:	MANDO FINAL 793F	Revisión N°:	1
Vida útil esperada del componente:	18.000 HORAS	Fecha emisión / Actualización:	dd-mm-aaaa

N° Etapa del Proceso de Reparación del Componente	Descripción de la Etapa	N° Actividad	Descripción Actividad	Documentos de Referencia de la Actividad: Nombre y Codificación (Planos, Procedimientos, Instructivos, entre otros)	Riesgos de Calidad Asociado a la Actividad	Controles Actuales Asociado a los Riesgos	Criterios de Aceptación (FMEA) S	O	D	RPN	Riesgo del Proceso	Analisis de Conformidad Cumple	No Cumple	Registros del Control	Nuevos Controles a Implementar Asociados a los Riesgos	Responsable de Liberación	Etapa y ejecutor de Control de Calidad / Inspección: Etapa QI/QC: Inicio	Intermedio	Final	Hot Points	Ejecutor QC: Interno	Externo	Observaciones
1	RECEPCIÓN DEL COMPONENTE	1.1	Control de ingreso técnico y verificación de conformidad	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	1.- CONDICIÓN SEGURIDAD																		
				* Instructivo de Ingreso de Mercadería ICSI-BOD-006 * Instructivo de Creación de una Solicitud de Orden de Trabajo ICSI-ADMP-004 * Recepción de Componentes RCSI-CR-001 * Reporte de No Conformidad RCSI-SGI-010	a) Golpes o deformaciones por embalaje sin protección estructural suficiente	Checklist de embalaje aprobado / Inspección visual	3	2	2	12	Crítico			* Checklists y Validaciones Documentales (Guías de Despacho) * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Controles en Zona * Reporte de No Conformidad RCSI-SGI-010 * Recepción de Componentes RCSI-CR-001		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios	X				X		
					b) Desplazamientos internos por falta de puntos de sujeción firmes durante el transporte	Revisión técnica contra procedimiento de transporte	3	1	2	6	Moderado												
					c) Inestabilidad del componente por ausencia de bases o soportes capaces de resistir vibración	Validación de estabilidad en zona de carga (check visual + prueba de movimiento)	3	1	1	3	Bajo												
					d) Daños mecánicos causados por dispositivos de fijación mal tensionados o insuficientes	Checklist de fijación / Verificación en recepción	3	1	2	6	Moderado												
					e) Compromiso estructural por transporte inadecuado al peso y dimensiones del componente.	Validación contra ficha técnica de transporte / revisión de guía de despacho	3	1	1	3	Bajo												
					f) Riesgo de daño por elementos sueltos no asegurados dentro o alrededor de la carga	Inspección visual durante la recepción	2	2	1	4	Moderado												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	2.- CONDICIÓN AMBIENTAL																		
				* Guía de cumplimiento de especificaciones de CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSBJI0002-05	a) Contaminación por aceite derramado debido a sellos deficientes o golpeados	Inspección visual / revisión de empaques y sellos	2	1	1	2	Bajo			* Checklists y Validaciones Documentales (Guías de Despacho) * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Controles en Zona * Reporte de No Conformidad RCSI-SGI-010 * Recepción de Componentes RCSI-CR-001		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios	X				X		
					b) Riesgo de fuga por falta de sellado adecuado que permita contener fluidos	Validación de sellado con formato estándar / checklist	2	2	1	4	Moderado												
					c) Ingreso de residuos sólidos que afectan la limpieza inicial del componente	Inspección visual y limpieza previa al ingreso a bodega	2	2	2	8	Crítico												
					d) Propagación de contaminación por ausencia de barreras o contención ambiental	Validación de embalaje + zonas delimitadas en área de recepción	3	2	1	6	Moderado												
					3.- CONDICIÓN COMPONENTE																		
					a) No conformidad inicial por discrepancia entre el componente recibido y la especificación del cliente	Validación contra Guía de Despacho	2	1	1	2	Bajo			* Checklists y Validaciones Documentales (Guías de Despacho) * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Controles en Zona * Reporte de No Conformidad RCSI-SGI-010 * Recepción de Componentes RCSI-CR-001		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios							
					b) Riesgos en la inspección por recibir el componente completamente ensamblado, limitando la verificación visual	Checklist de piezas y subcomponentes (apoyo Guía de Despacho)	1	3	1	3	Bajo												
					c) Hallazgo de piezas defectuosas que exigen notificación temprana al cliente	Inspección visual / funcional y registro de NC (no conformidad)	2	2	2	8	Crítico												
					d) Retrasos por piezas faltantes que afectan la secuencia normal del proceso	Validación con lista de empaque / informe a cliente	3	2	2	12	Crítico												
					e) Fallas de control por llegada de cajones, palletes o bultos no declarados	Registro fotográfico y documentación de bultos / adjunto a informe de recepción	2	2	1	4	Moderado												
					f) Trazabilidad limitada por ausencia de la placa de identificación de reparación	Validación contra checklist de ingreso / solicitud de corrección	3	1	1	3	Bajo												
					g) No conformidad por daños visibles atribuibles a manipulación o traslado previo	Registro fotográfico, informe a Cliente, retención preventiva	3	2	2	12	Crítico												
					h) Riesgo operativo por bases inadecuadas que comprometen estabilidad del componente	Validación en zona de descarga / apoyo de ficha técnica de recepción	3	2	1	6	Moderado												
2	LAVADO	2.1	Retiro de residuos internos y lavado con estándares técnicos	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	1.- LAVADO GRUESO																		
				* Procedimiento de Sala de Lavado PCSI-LAV-001 * Recepción de Componentes RCSI-CR-001 * Inspección de Lavado de Componentes RCSI-CR-00X * Cartilla de Inspección operativa de Hidrolavadora	a) Subestimación del nivel de suciedad que deriva en lavado insuficiente o tratamiento inadecuado	Checklist de evaluación inicial de suciedad con clasificación por nivel (bajo/medio/alto)	3	2	1	6	Moderado			* Recepción de Componentes RCSI-CR-001 * Inspección de Lavado de Componentes * Inspección operativa de Hidrolavadora * Guía de cumplimiento de especificaciones de CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSBJI0002-05		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable.							
					b) Contaminación cruzada por no retirar etiquetas, empaques, residuos sueltos o material extraño adherido al componente	Inspección visual y retiro de elementos sueltos. Contenedor para residuos	2	2	1	4	Moderado												
					c) Ineficacia inefectiva por selección incorrecta del producto, tiempo de acción insuficiente o aplicación no controlada	Ficha de selección de productos con tabla de residuos vs. químico recomendado y tiempos validados	3	2	2	12	Crítico												
					d) Remoción deficiente de residuos por uso inadecuado de hidrolavadora o presión mal dirigida	Hidrolavadora calibrada. Aplicación en zonas críticas con EPP	3	2	1	6	Moderado												
					e) Ingreso de contaminantes por reinspección deficiente y/o drenaje incorrecto	Reinspección visual. Drenaje en zona controlada. Separación de residuos	3	2	2	12	Crítico												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	2.- LAVADO FINO																		
				* Guía de cumplimiento de especificaciones de CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSBJI0002-05	a) Residuos remanentes no detectados por inspección visual deficiente tras el lavado grueso	Inspección con luz directa. Registro de hallazgos	2	2	1	4	Moderado			* Recepción de Componentes RCSI-CR-001 * Inspección de Lavado de Componentes * Inspección operativa de Hidrolavadora * Guía de cumplimiento de especificaciones de CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSBJI0002-05								
					b) Suciedad retenida en cavidades o superficies complejas por aplicación insuficiente de agua a presión	Aplicación dirigida de agua y cepillado controlado	3	1	1	3	Bajo												
					c) Contaminación interna por soplado con aire húmedo, sin filtración adecuada o con presión incorrecta	Aire comprimido filtrado. Registro de uso	3	1	1	3	Bajo												
					d) Fallo en criterios de limpieza por verificación inexacta o no conforme a la Guía de Control de Contaminantes	Verificación con checklist Caterpillar. Firma del inspector	3	2	2	12	Crítico												
					e) Contaminación posterior por aplicación deficiente de protector	Aplicación de protector. Registro de condición final. Aprobación de Supervisor	3	2	1	6	Moderado												
3	DESARME Y EVALUACION	3.1	Desarme progresivo del conjunto de mando final según procedimiento técnico, separando engranajes, ejes y rodamientos de forma controlada para evitar daños y contaminación	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Fisuración o deformación en carcasa portante por aplicación incorrecta de torque en pernos de tapa.	Afloje cruzado de pernos con torquímetro calibrado.	3	1	2	6	Moderado			* Criterio de evaluación (GRPTS) * Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003 * SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Mando final, freno y rueda (trasera) - Desarme (KENR8397)- 17-08-18 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable						X	
				* Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Recepción de Componentes RCSI-CR-001 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003	b) Contaminación de superficies internas (engranajes, rodamientos cónicos) por ingreso de partículas metálicas, polvo o residuos de aceite.	Drenaje de aceite en bandeja filtrante con retención magnética de partículas.	3	2	2	12	Crítico												
					c) Daños en flancos de dientes de engranajes planetarios y corona por uso de herramientas inadecuadas en la extracción.	Uso de extractores y gatos hidráulicos homologados por Caterpillar.	3	1	1	3	Bajo												
					d) Deformación en alojamientos de rodamientos por aplicación excesiva de presión o calor.	Control de presión aplicada en extractores (<5 ton).	3	2	1	6	Moderado												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	e) Pérdida de precarga y daño en rodillos de rodamientos cónicos al ser retirados sin extractor homologado.	Manipulación con grúa puente y eslingas certificadas para ejes y corona.	3	1	2	6	Moderado												
				* SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Mando final, freno y rueda (trasera) - Desarme (KENR8397)- 17-08-18 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."	f) Marcas, golpes o melladuras en superficies de contacto por manipulación manual sin protección.	Almacenaje temporal en bandejas metálicas con separadores.	3	1	1	3	Bajo												
					g) Desalineación en el retiro de ejes y engranajes, provocando rayado en pistas y alojamientos.	Marcaje de piezas (IZQ/DER, secuencia) con punzón o pintura de impacto.	3	3	2	18	Crítico												
					h) Confusión en la secuencia de desmontaje de componentes (engranajes, espaciadores, arandelas de ajuste).	Registro fotográfico del proceso paso a paso.	3	1	1	3	Bajo												
					i) Falta de registro documental del proceso de desarme.	Checklist de desarme firmado por mecánico responsable.	3	1	2	6	Moderado												
		3.2	Inspección técnica inicial de carcasa, engranajes, ejes y cojinetes para identificar desgaste, fisuras, picaduras de contacto o deformaciones visibles	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Omisión en la detección de fisuras superficiales en carcasa o engranajes por inspección visual deficiente.	Inspección visual sistemática bajo norma Caterpillar, con iluminación dirigida y apoyo óptico (lupa/lámpara).	3	2	1	6	Moderado			* Criterio de evaluación (GRPTS) * Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003 * SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Mando final, freno y rueda (trasera) - Desarme (KENR8397)- 17-08-18 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable	X						
				* Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003	b) Desgaste irregular en flancos de dientes no identificado, generando fallas prematuras en transmisión de torque.	Aplicación de líquidos penetrantes en carcasa, engranajes y ejes para detectar microfisuras.	3	1	1	3	Bajo												
					c) Picaduras de contacto (pitting) en rodamientos o engranajes no registradas, reduciendo la vida útil del conjunto.	Medición de perfil y desgaste de dientes con plantilla Caterpillar y calibradores.	3	2	1	6	Moderado												
					d) Deformaciones en alojamientos de rodamientos y ejes no detectadas, provocando desalineaciones.	Revisión de picaduras de contacto con lupa 10x y criterio de severidad en checklist.	3	1	2	6	Moderado												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	e) Inclusión de contaminantes durante la inspección (polvo, grasa, partículas metálicas).	Uso de galgas y comparadores para juegos axiales y radiales en rodamientos.	3	2	2	12	Crítico												
				* SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Mando final y embrague y freno de dirección - Separar (REMR8166)-22-09-2004 * Mando final - Desarmar (REMR8166)-17-09-2004 * Segmento de rueda motriz - Quitar e Instalar (RSMR8166-06)-04-07-2012 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."	f) Evaluación incompleta de juegos axiales y radiales en rodamientos.	Ejecución de inspección en área limpia, con cubiertas protectoras en componentes no evaluados.	3	1	2	6	Moderado												
					g) Identificación incorrecta de la severidad del daño (clasificación errónea leve/moderado/crítico).	Registro fotográfico detallado de cada componente inspeccionado.	3	2	2	12	Crítico												
					h) Pérdida de trazabilidad por ausencia de registro fotográfico y checklist.	Clasificación de daños según criterios técnicos (desgaste normal, crítico o fuera de servicio).	3	2	2	12	Crítico												
					i) Daños adicionales en superficies críticas por manipulación sin protección.	Checklist firmado por inspector de calidad y validado por supervisor.	3	2	1	6	Moderado												
		3.3	Verificación funcional en seco de engranajes y rodamientos, evaluando marcas de contacto, juego entre dientes y condición de pistas de rodadura respecto a tolerancias Caterpillar	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Omisión en la detección de juego excesivo entre dientes, provocando vibraciones y fallas en transmisión de torque.	Uso de compuestos de contraste (azul de Prusia o pasta de contacto) para visualizar marcas entre dientes.	3	1	1	3	Bajo			* Criterio de evaluación (GRPTS) * Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003 * SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Mando final, freno y rueda (trasera) - Desarme (KENR8397)- 17-08-18 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable	X						
				* Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003	b) Marcas de contacto desalineadas no registradas, derivando en desgaste irregular de engranajes.	Medición de juego axial y radial con comparadores calibrados.	3	2	1	6	Moderado												
					c) Pistas de rodadura con picaduras o deformaciones no identificadas durante la verificación.	Verificación de contacto con plantilla Caterpillar y criterio técnico establecido en manual RENR.	3	2	1	6	Moderado												
					d) Interpretación incorrecta de tolerancias Caterpillar respecto al juego axial y radial.	Inspección visual detallada con apoyo óptico en pistas de rodadura.	3	2	2	12	Crítico												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	e) Daños en engranajes o rodamientos por manipulación sin herramientas adecuadas.	Manipulación controlada con herramientas homologadas y banco limpio de inspección.	3	2	2	12	Crítico												
				* SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Mando final y embrague y freno de dirección - Separar (REMR8166)-22-09-2004 * Mando final - Desarmar (REMR8166)-17-09-2004 * Segmento de rueda motriz - Quitar e Instalar (RSMR8166-06)-04-07-2012 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."	f) Contaminación de superficies de contacto durante la evaluación (polvo, partículas metálicas).	Registro fotográfico obligatorio de marcas de contacto y condición de rodaduras.	3	2	1	6	Moderado												
					g) Pérdida de evidencia técnica por falta de registro fotográfico de marcas de contacto.	Checklist de verificación funcional firmado por inspector y validado por supervisor de calidad.	3	2	1	6	Moderado												
					h) Evaluación incompleta por omisión de parámetros críticos (par de contacto, condición superficial).	Clasificación del estado de engranajes y rodamientos según tolerancias Caterpillar (dentro de norma / fuera de servicio).	3	2	2	12	Crítico												
					i) Clasificación errónea de severidad de desgaste (aceptable vs fuera de norma).	Inspección cruzada por doble verificación en casos límite de desgaste.	3	2	2	12	Crítico												
		3.4	Aplicación de control metrológico y ensayos no destructivos en dientes, alojamientos y rodamientos para validar dimensiones críticas, concentricidad y posibles microfisuras	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I. * Solicitud de Reparación RCSI-ADMP-004 * Informe de análisis No Destructivo RCSI-CC-006 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003 * Instructivo Control de EIME ICSI-CC-002 * Instructivo NDT Líquidos penetrantes ICSI-CC-003 * Instructivo NDT Partículas magnéticas ICSI-CC-004 * Instructivo NDT Método de ultrasonido ICSI-CC-005 * Instructivo NDT Partículas fluorescentes ICSI-CC-006 * Instructivo Control metrológico ICSI-CC-007 DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE * SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Reusability of Drive Train Gears [3002, 3159, 3256, 4053] Número de medio - (SEBF8193-26) - 18-06-2021 * Specifications for Inspection of Drive-line Fasteners [3030, 3101, 3159, 3253, 3256, 3278, 4050] Número de medio - (SEBF8728-25) - 18-06-2021 * Reusability of Final Drive Splines for 785 through 798 Large Mining Trucks (4001, 4008, 4050, 4051) Número de medio - (SEBF8225-12) - 17-06-2020 * Procedures to Salvage Thrust Faces on Planetary Carriers [0079, 3160, 4050, 4051, 4003] Número de medio - (SEBF8163-18) - 07-07-2021 * Reusability and Salvage of Final Drive Components for Off-Highway Trucks (OHT) [0079, 0780, 0781, 4001, 4008, 4050, 4084] Número de medio - (SEBF8732-11) - 01-05-2020 * Cleaning Rear Axle Housing Assemblies of 785, 789, and 793 Off-Highway Trucks[3260, 4001, 4002, 4008, 4050, 4208] Número de medio - (SEBF8370-05) - 11-06-2014 * Salvage and Reuse of Final Drive Axle Bearings Used in Off-Highway Trucks/ Tractors and Certain Wheel Loaders [4050, 4051] Número de medio - (SEBF8182-14) - 06-03-2020 * Salvage of Wheel Group Hubs, Retainers, and Seal Retainers for Certain Off-Highway Trucks (OHT) [4001, 4008, 4050, 4051] Número de medio - (SEBF8439-04) - 09-09-2020 * Spherical Roller Bearing and Wear Plate Inspection [0079, 4008, 4050, 7501] Número de medio - (SEBF9239-04) - 16-07-2020 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."	a) Defectos estructurales no identificados Descripción: Grietas finas o deformaciones leves en carcasa, tapas o superficies de apoyo que pueden pasar desapercibidas si no se aplican verificaciones complementarias en zonas críticas del mando final. b) Tolerancias fuera de norma no detectadas Descripción: Desviaciones en concentricidad, paralelismo o diámetros de alojamientos y engranajes que afectan el engrane correcto y la vida útil del conjunto si no se controlan con instrumentos certificados. c) Microfisuras en superficies de carga Descripción: Grietas superficiales o subsuperficiales en dientes de engranajes, pistas de rodamientos o ejes, invisibles a simple vista y detectables solo mediante ensayos NDT (líquidos penetrantes o partículas magnéticas). d) Juegos axiales o radiales fuera de rango no verificados Descripción: Variaciones en rodamientos, bujes o cojinetes que generan desgaste prematuro, ruido o pérdida de alineación, si no se miden con precisión durante la verificación. e) Errores por calibración deficiente de instrumentos Descripción: Mediciones incorrectas en parámetros críticos debido a equipos de control fuera de calibración o sin trazabilidad metrológica, comprometiendo la aceptación de piezas.	a) Defectos estructurales no identificados Control: Inspección visual detallada de carcasa y tapas con apoyo de líquidos penetrantes y registro fotográfico de las zonas críticas.	3	2	2	12	Crítico			* Solicitud de Reparación RCSI-ADMP-004 * Informe de análisis No Destructivo RCSI-CC-006 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003 * Instructivo Control de EIME ICSI-CC-002 * Instructivo NDT Líquidos penetrantes ICSI-CC-003 * Instructivo NDT Partículas magnéticas ICSI-CC-004 * Instructivo NDT Método de ultrasonido ICSI-CC-005 * Instructivo NDT Partículas fluorescentes ICSI-CC-006 * Instructivo Control metrológico ICSI-CC-007 * SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Reusability of Drive Train Gears [3002, 3159, 3256, 4053] Número de medio - (SEBF8193-26) - 18-06-2021 * Specifications for Inspection of Drive-line Fasteners [3030, 3101, 3159, 3253, 3256, 3278, 4050] Número de medio - (SEBF8728-25) - 18-06-2021 * Reusability of Final Drive Splines for 785 through 798 Large Mining Trucks (4001, 4008, 4050, 4051) Número de medio - (SEBF8225-12) - 17-06-2020 * Procedures to Salvage Thrust Faces on Planetary Carriers [0079, 3160, 4050, 4051, 4003] Número de medio - (SEBF8163-18) - 07-07-2021 * Reusability and Salvage of Final Drive Components for Off-Highway Trucks (OHT) [0079, 0780, 0781, 4001, 4008, 4050, 4084] Número de medio - (SEBF8732-11) - 01-05-2020 * Cleaning Rear Axle Housing Assemblies of 785, 789, and 793 Off-Highway Trucks[3260, 4001, 4002, 4008, 4050, 4208] Número de medio - (SEBF8370-05) - 11-06-2014 * Salvage and Reuse of Final Drive Axle Bearings Used in Off-Highway Trucks/ Tractors and Certain Wheel Loaders [4050, 4051] Número de medio - (SEBF8182-14) - 06-03-2020 * Salvage of Inner Planetary Carrier Pin Bores using Tapered Roller Bearings for 785, 789, and 793 Off-Highway Trucks [0679, 4050, 4002] Número de medio - (SEBF8223-08) - 06-05-2020 * Salvage of Wheel Group Hubs, Retainers, and Seal Retainers for Certain Off-Highway Trucks (OHT) [4001, 4008, 4050, 4051] Número de medio - (SEBF8439-04) - 09-09-2020 * Spherical Roller Bearing and Wear Plate Inspection [0079, 4008, 4050, 7501] Número de medio - (SEBF9239-04) - 16-07-2020 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable	X	X	X	X	X	X	
					b) Tolerancias fuera de norma no detectadas Control: Medición con micrómetros, comparadores y relojes calibrados, contrastando valores con tolerancias Caterpillar.	3	2	2	12	Crítico												
					c) Microfisuras en superficies de carga Control: Ensayos NDT en engranajes, pistas de rodamiento y ejes utilizando líquidos penetrantes o partículas magnéticas.	3	2	2	12	Crítico												
					d) Juegos axiales o radiales fuera de rango no verificados Control: Medición de juegos con comparadores y micrómetros, registrando resultados en planilla técnica del mando final.	3	1	2	6	Moderado												
					e) Errores por calibración deficiente de instrumentos Control: Verificación periódica de calibración de todos los instrumentos de medición con patrones certificados y registro en bitácora metrológica.	3	1	3	9	Crítico												
		3.5	Almacenaje controlado de componentes inspeccionados, aplicando protección anticorrosiva, segregación por condición y trazabilidad en sistema de control	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	1.- APLICA PARA COMPONENTES																		
				* Procedimiento de Reparación de componentes PCSI-CR-001 * Registro de preservación temporal RCSI-UT-010	a) Identificación deficiente o pérdida de trazabilidad del mando final.	Rotulación reforzada con placas o etiquetas resistentes, registrada en sistema de trazabilidad.	2	2	1	4	Moderado			* Registro de preservación temporal RCSI-UT-010 * Protección mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados (3100;3150;4059) (SEPD0495)-07-04-2011		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica							
					b) Ubicación incorrecta o sin registro claro en bodega.	Señalización de área exclusiva para mandos y codificación en plano de bodega.	2	2	2	8	Crítico												
					c) Exposición del mando final a lluvia, polvo o contaminación ambiental.	Protección con techumbre, piso nivelado y acceso restringido.	3	2	1	6	Moderado												
					d) Daños estructurales por apoyo directo en el suelo o soportes inadecuados.	Uso de pallets metálicos o bastidores certificados con anclajes de seguridad.	3	1	1	3	Bajo												
					e) Corrosión o deterioro en superficies críticas (retenes, alojamientos, bridas).	Aplicación de tapas metálicas, recubrimientos anticorrosivos y empaques herméticos.	2	1	2	4	Moderado												
					f) Mezcla o confusión de mandos en distinto estado (listos, en reparación, rechazados).	Separación física por estado del mando, con tarjetas de condición o códigos de color.	3	2	1	6	Moderado												
					g) Presencia de humedad, condensación o vapores corrosivos en la zona de almacenaje.	Monitoreo ambiental periódico y uso de desecantes en embalajes.	3	1	2	6	Moderado												
					h) Daños por calor directo, golpes o manipulación con equipos no certificados.	Restricción de áreas cercanas a calor/soldadura; maniobras solo con grúa puente y eslingas certificadas.	3	1	2	6	Moderado												
					i) Deterioro progresivo por falta de inspecciones periódicas durante el almacenamiento.	Inspecciones visuales y metrológicas programadas, verificando sellado, protección y estado del bastidor.	3	2	2	12	Crítico												
					j) Deformaciones o daños por apilamiento inadecuado de bastidores o pallets.	Prohibición de apilamiento directo; uso de bastidores con topes de seguridad y control de carga por estiba.	3	1	2	6	Moderado												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	2.- APLICA PARA PIEZAS																		
				* Protección mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados (3100;3150;4059) (SEPD0495)	a) Pérdida de identificación o trazabilidad de la pieza (sin N° parte, OT, fecha o estado).	Rotulación individual con etiquetas resistentes, legibles y sistema digital de inventario.	3	2	1	6	Moderado			* Registro de preservación temporal RCSI-UT-010 * Protección mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados (3100;3150;4059) (SEPD0495)-07-04-2011										
					b) Ubicación incorrecta o sin registro en estanteria, caja, pallet o contenedor.	Registro de ubicación en plano de bodega y marcado físico de posición.	3	2	2	12	Crítico												
					c) Uso de embalajes inadecuados que no protegen contra contaminación o golpes.	Uso de cajas plásticas, bolsas anticorrosivas o contenedores técnicos adecuados.	3	2	1	6	Moderado												
					d) Mezcla de piezas con contaminantes o incompatibles en la misma zona.	Zonificación en bodega y almacenamiento segregado por tipo o compatibilidad.	3	1	2	6	Moderado												
					e) Exposición de piezas a polvo, humedad o agentes externos por falta de sellado.	Aplicación de tapas, películas protectoras o empaques anticorrosivos según material.	3	2	1	6	Moderado												
					f) Deformaciones por mal soporte, estiba deficiente o caída de estanteria.	Revisión de estabilidad de pallets y estanterías reforzadas.	3	1	2	6	Moderado												
					g) Condensación, humedad o salpicaduras que generan corrosión o deterioro.	Monitoreo ambiental con control de humedad y temperatura en bodega.	3	2	1	6	Moderado												
					h) Rotulación ilegible, incompleta o ausente en el contenedor o embalaje.	Verificación de etiquetas y control de calidad en el ingreso.	3	1	2	6	Moderado												
					i) Daños por aplastamiento, deformaciones visibles o manipulación incorrecta.	Inspección visual rutinaria y checklist de almacenaje seguro.	3	1	1	3	Bajo												
					j) Ausencia de control visual o revisión periódica, aumentando riesgo de deterioro.	Programación de controles periódicos según criticidad de la pieza en sistema de gestión.	3	2	2	12	Crítico												
4	ARMADO	4.1	4.1 Montaje de Carcasa Base: Instalar carcasa en bastidor, verificando nivelación, paralelismo y concentricidad de alojamientos.	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Fisuras o deformaciones en la carcasa no detectadas antes del montaje.	Inspección visual detallada y aplicación de ensayos NDT en zonas críticas previo al montaje.	3	2	2	12	Cr

Matriz de Riesgos de Calidad

Reparables & Garantías MECoE

<Logo Proveedor>

Datos del componente

Familia del Componente: MANDO FINAL 789C
Vida útil esperada del componente: 23.000 HORAS

Control del documento

Revisión Nº: 1
Fecha emisión / Actualización: 01-08-25

Nº Etapa del Proceso de Reparación del Componente	Descripción de la Etapa	Nº Actividad	Descripción Actividad	Documentos de Referencia de la Actividad: Nombre y Codificación (Planos, Procedimientos, Instructivos, entre otros)	Riesgos de Calidad Asociado a la Actividad	Controles Actuales Asociado a los Riesgos	Criterios de Aceptación (FMEA)					Analisis de Conformidad		Registros del Control	Nuevos Controles a Implementar Asociados a los Riesgos	Responsable de Liberación	Etapa y ejecutor de Control de Calidad / Inspección						Observaciones
																	Etapa QI/QC				Ejecutor QC		
							S	O	D	RPN	Riesgo del Proceso	Cumple	No Cumple				Inicio	Intermedio	Final	Hot Points	Interno	Externo	
1	RECEPCIÓN DEL COMPONENTE	1.1	Control de ingreso técnico y verificación de conformidad	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	1.- CONDICIÓN SEGURIDAD																		
				* Instructivo de Ingreso de Mercadería ICSI-BOD-006 * Instructivo de Creación de una Solicitud de Orden de Trabajo ICSI-ADMP-004 * Recepción de Componentes RCSI-CR-001 * Reporte de No Conformidad RCSI-SGI-010	a) Golpes o deformaciones por embalaje sin protección estructural suficiente	Checklist de embalaje aprobado / Inspección visual	3	2	2	12	Crítico			* Checklists y Validaciones Documentales (Guías de Despacho) * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Controles en Zona * Reporte de No Conformidad RCSI-SGI-010		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios	X				X		
					b) Desplazamientos internos por falta de puntos de sujeción firmes durante el transporte	Revisión técnica contra procedimiento de transporte	3	1	2	6	Moderado												
					c) Inestabilidad del componente por ausencia de bases o soportes capaces de resistir vibración	Validación de estabilidad en zona de carga (check visual + prueba de movimiento)	3	1	1	3	Bajo												
					d) Daños mecánicos causados por dispositivos de fijación mal tensionados o insuficientes	Checklist de fijación / Verificación en recepción	3	1	2	6	Moderado												
					e) Compromiso estructural por transporte inadecuado al peso y dimensiones del componente.	Validación contra ficha técnica de transporte / revisión de guía de despacho	3	1	1	3	Bajo												
					f) Riesgo de daño por elementos sueltos no asegurados dentro o alrededor de la carga	Inspección visual durante la recepción	2	2	1	4	Moderado												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	2.- CONDICIÓN AMBIENTAL																		
				* Guía de cumplimiento de especificaciones de CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSBJ0002-05	a) Contaminación por aceite demamado debido a sellos deficientes o golpeados	Inspección visual / revisión de empaques y sellos	2	1	1	2	Bajo			* Checklists y Validaciones Documentales (Guías de Despacho) * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Controles en Zona * Reporte de No Conformidad RCSI-SGI-010		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios	X				X		
					b) Riesgo de fuga por falta de sellado adecuado que permita contener fluidos	Validación de sellado con formato estándar / checklist	2	2	1	4	Moderado												
					c) Ingreso de residuos sólidos que afectan la limpieza inicial del componente	Inspección visual y limpieza previa al ingreso a bodega	2	2	2	8	Crítico												
					d) Propagación de contaminación por ausencia de barreras o contención ambiental	Validación de embalaje + zonas delimitadas en área de recepción	3	2	1	6	Moderado												
					3.- CONDICIÓN COMPONENTE																		
					a) No conformidad inicial por discrepancia entre el componente recibido y la especificación del cliente	Validación contra Guía de Despacho	2	1	1	2	Bajo			* Checklists y Validaciones Documentales (Guías de Despacho) * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Controles en Zona * Reporte de No Conformidad RCSI-SGI-010		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios							
					b) Riesgos en la inspección por recibir el componente completamente ensamblado, limitando la verificación visual	Checklist de piezas y subcomponentes (apoyo Guía de Despacho)	1	3	1	3	Bajo												
					c) Hallazgo de piezas defectuosas que exigen notificación temprana al cliente	Inspección visual / funcional y registro de NC (no conformidad)	2	2	2	8	Crítico												
					d) Retrasos por piezas faltantes que afectan la secuencia normal del proceso	Validación con lista de empaque / informe a cliente	3	2	2	12	Crítico												
					e) Fallas de control por llegada de cajones, pallets o bultos no declarados	Registro fotográfico y documentación de bultos / adjunto a informe de recepción	2	2	1	4	Moderado												
					f) Trazabilidad limitada por ausencia de la placa de identificación de reparación	Validación contra checklist de ingreso / solicitud de corrección	3	1	1	3	Bajo												
					g) No conformidad por daños visibles atribuibles a manipulación o traslado previo	Registro fotográfico, informe a Cliente, retención preventiva	3	2	2	12	Crítico												
					h) Riesgo operativo por bases inadecuadas que comprometen estabilidad del componente	Validación en zona de descarga / apoyo de ficha técnica de recepción	3	2	1	6	Moderado												
2	LAVADO	2.1	Retiro de residuos internos y lavado con estándares técnicos	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	1.- LAVADO GRUESO																		
				* Procedimiento de Sala de Lavado PCSI-LAV-001 * Recepción de Componentes RCSI-CR-001 * Inspección de Lavado de Componentes * Cartilla de Inspección operativa de Hidrolavadora	a) Subestimación del nivel de suciedad que deriva en lavado insuficiente o tratamiento inadecuado	Checklist de evaluación inicial de suciedad con clasificación por nivel (bajo/medio/alto)	3	2	1	6	Moderado			* Recepción de Componentes RCSI-CR-001 * Inspección de Lavado de Componentes * Inspección operativa de Hidrolavadora		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable.							
					b) Contaminación cruzada por no retirar etiquetas, empaques, residuos sueltos o material extraño adherido al componente	Inspección visual y retiro de elementos sueltos. Contenedor para residuos	2	2	1	4	Moderado												
					c) limpieza ineficiva por selección incorrecta del producto, tiempo de acción insuficiente o aplicación no controlada	Ficha de selección de productos con tabla de residuos vs. químico recomendado y tiempos validados	3	2	2	12	Crítico												
					d) Remoción deficiente de residuos por uso inadecuado de hidrolavadora o presión mal dirigida	Hidrolavadora calibrada. Aplicación en zonas críticas con EPP	3	2	1	6	Moderado												
					e) Ingreso de contaminantes por reinspección deficiente y/o drenaje incorrecto	Reinspección visual. Drenaje en zona controlada. Separación de residuos	3	2	2	12	Crítico												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	2.- LAVADO FINO																		
				* Guía de cumplimiento de especificaciones de CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSBJ0002-05	a) Residuos remanentes no detectados por inspección visual deficiente tras el lavado grueso	Inspección con luz directa. Registro de hallazgos	2	2	1	4	Moderado			* Recepción de Componentes RCSI-CR-001 * Inspección de Lavado de Componentes * Inspección operativa de Hidrolavadora								
					b) Suciedad retenida en cavidades o superficies complejas por aplicación insuficiente de agua a presión	Aplicación dirigida de agua y cepillado controlado	3	1	1	3	Bajo												
					c) Contaminación interna por soplado con aire húmedo, sin filtración adecuada o con presión incorrecta	Aire comprimido filtrado. Registro de uso	3	1	1	3	Bajo												
					d) Fallo en criterios de limpieza por verificación inexacta o no conforme a la Guía de Control de Contaminantes	Verificación con checklist Caterpillar. Firma del inspector	3	2	2	12	Crítico												
					e) Contaminación posterior por aplicación deficiente de protector	Aplicación de protector. Registro de condición final. Aprobación de Supervisor	3	2	1	6	Moderado												
3	DESARME Y EVALUACION	3.1	Desarme progresivo del conjunto de mando final según procedimiento técnico, separando engranajes, ejes y rodamientos de forma controlada para evitar daños y contaminación	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Fisuración o deformación en carcasa portante por aplicación incorrecta de torque en pernos de tapa.	Afloje cruzado de pernos con torquímetro calibrado.	3	1	2	6	Moderado			* Criterio de evaluación (GRPTS) * Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003 * SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GIRPTS) * Transmisión final - Desmontaje (SENR1524-13) - 17-08-18 * Mando final, freno y rueda (traseros) - Desarmar (SENR1524) - 17-08-18 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable						X	
				* Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003	b) Contaminación de superficies internas (engranajes, rodamientos cónicos) por ingreso de partículas metálicas, polvo o residuos de aceite.	Drenaje de aceite en bandeja filtrante con retención magnética de partículas.	3	2	2	12	Crítico												
					c) Daños en flancos de dientes de engranajes planetarios y corona por uso de herramientas inadecuadas en la extracción.	Uso de extractores y gatos hidráulicos homologados por Caterpillar.	3	1	1	3	Bajo												
					d) Deformación en alojamientos de rodamientos por aplicación excesiva de presión o calor.	Control de presión aplicada en extractores (<5 ton).	3	2	1	6	Moderado												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	e) Pérdida de precarga y daño en rodillos de rodamientos cónicos al ser retirados sin extractor homologado.	Manipulación con grúa puente y eslingas certificadas para ejes y corona.	3	1	2	6	Moderado												
				* SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GIRPTS) * Transmisión final - Desmontaje (SENR1524-13) - 17-08-18 * Mando final, freno y rueda (traseros) - Desarmar (SENR1524) - 17-08-18 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."	f) Marcas, golpes o melladuras en superficies de contacto por manipulación manual sin protección.	Almacenaje temporal en bandejas metálicas con separadores.	3	1	1	3	Bajo												
					g) Desalineación en el retiro de ejes y engranajes, provocando rayado en pistas y alojamientos.	Marcaje de piezas (IZQ/DER, secuencia) con punzón o pintura de impacto.	3	3	2	18	Crítico												
					h) Confusión en la secuencia de desmontaje de componentes (engranajes, espaciadores, arandelas de ajuste).	Registro fotográfico del proceso paso a paso.	3	1	1	3	Bajo												
					i) Falta de registro documental del proceso de desarme.	Checklist de desarme firmado por mecánico responsable.	3	1	2	6	Moderado												
		3.2	Inspección técnica inicial de carcasa, engranajes, ejes y cojinetes para identificar desgaste, fisuras, picaduras de contacto o deformaciones visibles	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Omisión en la detección de fisuras superficiales en carcasa o engranajes por inspección visual deficiente.	Inspección visual sistemática bajo norma Caterpillar, con iluminación dirigida y apoyo óptico (lupa/lámpara).	3	2	1	6	Moderado			* Criterio de evaluación (GRPTS) * Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003 * SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GIRPTS) * Transmisión final - Desmontaje (SENR1524-13) - 17-08-18 * Mando final, freno y rueda (traseros) - Desarmar (SENR1524) - 17-08-18 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable	X						
				* Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003	b) Desgaste irregular en flancos de dientes no identificado, generando fallas prematuras en transmisión de torque.	Aplicación de líquidos penetrantes en carcasa, engranajes y ejes para detectar microfisuras.	3	1	1	3	Bajo												
					c) Picaduras de contacto (pitting) en rodamientos o engranajes no registradas, reduciendo la vida útil del conjunto.	Medición de perfil y desgaste de dientes con plantilla Caterpillar y calibradores.	3	2	1	6	Moderado												
					d) Deformaciones en alojamientos de rodamientos y ejes no detectadas, provocando desalineaciones.	Revisión de picaduras de contacto con lupa 10x y criterio de severidad en checklist.	3	1	2	6	Moderado												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	e) Inclusión de contaminantes durante la inspección (polvo, grasa, partículas metálicas).	Uso de galgas y comparadores para juegos axiales y radiales en rodamientos.	3	2	2	12	Crítico												
				* SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GIRPTS) * Transmisión final - Desmontaje (SENR1524-13) - 17-08-18 * Mando final, freno y rueda (traseros) - Desarmar (SENR1524) - 17-08-18 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."	f) Evaluación incompleta de juegos axiales y radiales en rodamientos.	Ejecución de inspección en área limpia, con cubiertas protectoras en componentes no evaluados.	3	1	2	6	Moderado												
					g) Identificación incorrecta de la severidad del daño (clasificación errónea leve/moderado/crítico).	Registro fotográfico detallado de cada componente inspeccionado.	3	2	2	12	Crítico												
					h) Pérdida de trazabilidad por ausencia de registro fotográfico y checklist.	Clasificación de daños según criterios técnicos (desgaste normal, crítico o fuera de servicio).	3	2	2	12	Crítico												
					i) Daños adicionales en superficies críticas por manipulación sin protección.	Checklist firmado por inspector de calidad y validado por supervisor.	3	2	1	6	Moderado												
		3.3	Verificación funcional en seco de engranajes y rodamientos, evaluando marcas de contacto, juego entre dientes y condición de pistas de rodadura respecto a tolerancias Caterpillar	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Omisión en la detección de juego excesivo entre dientes, provocando vibraciones y fallas en transmisión de torque.	Uso de compuestos de contraste (azul de Prusia o pasta de contacto) para visualizar marcas entre dientes.	3	1	1	3	Bajo			* Criterio de evaluación (GRPTS) * Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003 * SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GIRPTS) * Transmisión final - Desmontaje (SENR1524-13) - 17-08-18 * Mando final, freno y rueda (traseros) - Desarmar (SENR1524) - 17-08-18 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable	X						
				* Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003	b) Marcas de contacto desalineadas no registradas, derivando en desgaste irregular de engranajes.	Medición de juego axial y radial con comparadores calibrados.	3	2	1	6	Moderado												
					c) Pistas de rodadura con picaduras o deformaciones no identificadas durante la verificación.	Verificación de contacto con plantilla Caterpillar y criterio técnico establecido en manual RENR.	3	2	1	6	Moderado												
					d) Interpretación incorrecta de tolerancias Caterpillar respecto al juego axial y radial.	Inspección visual detallada con apoyo óptico en pistas de rodadura.	3	2	2	12	Crítico												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	e) Daños en engranajes o rodamientos por manipulación sin herramientas adecuadas.	Manipulación controlada con herramientas homologadas y banco limpio de inspección.	3	2	2	12	Crítico												
				* SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GIRPTS) * Transmisión final - Desmontaje (SENR1524-13) - 17-08-18 * Mando final, freno y rueda (traseros) - Desarmar (SENR1524) - 17-08-18 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."	f) Contaminación de superficies de contacto durante la evaluación (polvo, partículas metálicas).	Registro fotográfico obligatorio de marcas de contacto y condición de rodaduras.	3	2	1	6	Moderado												
					g) Pérdida de evidencia técnica por falta de registro fotográfico de marcas de contacto.	Checklist de verificación funcional firmado por inspector y validado por supervisor de calidad.	3	2	1	6	Moderado												
					h) Evaluación incompleta por omisión de parámetros críticos (par de contacto, condición superficial)	Clasificación del estado de engranajes y rodamientos según tolerancias Caterpillar (dentro de normal / fuera de servicio).	3	2	2	12	Crítico												
					i) Clasificación errónea de severidad de desgaste (aceptable vs fuera de norma).	Inspección cruzada por doble verificación en casos límite de desgaste.	3	2	2	12	Crítico												
		3.4	Aplicación de control metrológico y ensayos no destructivos en dientes, alojamientos y rodamientos para validar dimensiones críticas, concentricidad y posibles microfisuras	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.										* Solicitud de Reparación RCSI-ADMP-004 * Informe de análisis No Destructivo RCSI-CC-006 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003 * Instructivo Control de EIME RCSI-CC-002 * Instructivo NDT Líquidos penetrantes ICSI-CC-003 * Instructivo NDT Partículas magnéticas ICSI-CC-004 * Instructivo NDT Método de ultrasonido ICSI-CC-005 * Instructivo NDT Partículas fluorescentes ICSI-CC-006 * Instructivo Control metrológico ICSI-CC-007 * SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Reusability of Drive Train Gears [3002, 3159, 3256, 4055] Número de medio - (SEBF8193-26) - 18-06-2021 * Specifications for Inspection of Dive-line Fasteners [3030, 3101, 3159, 3253, 3258, 3278, 4050] Número de medio - (SEBF8728-25) - 18-06-2021 * Reusability of Final Drive Splines for 785 through 798 Large Mining Trucks [4001, 4008, 4050, 4051] Número de medio - (SEBF8225-12) - 17-06-2020 * Procedures to Salvage Thrust Faces on Planetary Carriers [0679, 3160, 4050, 4051, 4093] Número de medio - (SEBF8163-18) - 07-07-2021 * Reusability and Salvage of Final Drive Components for Off-Highway Trucks (OHT) [0679, 0780, 0781, 4001, 4008, 4050, 4064] Número de medio - (SEBF8752-11) - 01-05-2020 * Cleaning Rear Axle Housing Assemblies of 785, 789, and 793 Off-Highway Trucks[3260, 4001, 4002, 4006, 4050, 4208] Número de medio - (SEBF8370-05) - 11-06-2014 * Salvage and Reuse of Final Drive Axle Bearings Used in Off-Highway Trucks/ Tractors and Certain Wheel Loaders [4050, 4051] Número de medio - (SEBF8182-14) - 06-03-2020 * Salvage of Inner Planetary Carrier Pin Bores using Tapered Roller Bearings for 785, 789, and 793 Off-Highway Trucks [0679, 4050, 4092] Número de medio - (SEBF8223-08) - 06-05-2020 * Salvage of Wheel Group Hubs, Retainers, and Seal Retainers for Certain Off-Highway Trucks (OHT) [4001, 4008, 4050, 4051] Número de medio - (SEBF8439-04) - 09-09-2020 * Transmission, Torque Converter, and Final Drive Updates for 785C through 793C Off-Highway Trucks [3001, 3030, 4050] Número de medio -(SEBF8342-09) - 06-08-2020 * Procedure to Remove Large Wheel Bearing Cups [4001, 4008, 4051, 4215] Número de medio - (SEBF9118-06) - 24-07-2020 * Installing Tapered Roller Bearings in 6G-6352 Planet Gears in Final Drives of Off-Highway Trucks [0780, 0781, 4050, 4055, 7551] Número de medio - (SEBF8252-05) - 31-08-2020 *Thermal Spray and Salvage Procedure of Final Drive Planet Gear Bores for Certain Off-Highway Trucks (OHT) [4050, 4059] Número de medio - (SEBF8185-06) - 27-11-2019 * Salvage of Final Drive and Differential Thrust Washer Used in Off-Highway Trucks, Tractors, and Wheel Loaders [0677, 0780, 3258, 3284, 4050, 4055, 4201] Número de medio - (SEBF8183-08) - 11-02-2020 * Salvage of Planetary Carrier Pin Bores Using Tapered Roller Bearings for 785 and 789 Trucks [0679, 0780, 0781, 4050] Número de medio - (SEBF8222-06) - 08-07-2021 * Salvage of Planetary Carrier (Outer Pin Bore) Using Pressed In Sleeves for 785 and 789 Trucks [0679, 3186, 4050] Número de medio - (SEBF8221-04) - 08-07-2021 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."																					
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE			3	2	2	12	Crítico												
				* SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Reusability of Drive Train Gears [3002, 3159, 3256, 4055] Número de medio - (SEBF8193-26) - 18-06-2021 * Specifications for Inspection of Dive-line Fasteners [3030, 3101, 3159, 3253, 3258, 3278, 4050] Número de medio - (SEBF8728-25) - 18-06-2021 * Reusability of Final Drive Splines for 785 through 798 Large Mining Trucks [4001, 4008, 4050, 4051] Número de medio - (SEBF8225-12) - 17-06-2020 * Procedures to Salvage Thrust Faces on Planetary Carriers [0679, 3160, 4050, 4051, 4093] Número de medio - (SEBF8163-18) - 07-07-2021 * Reusability and Salvage of Final Drive Components for Off-Highway Trucks (OHT) [0679, 0780, 0781, 4001, 4008, 4050, 4064] Número de medio - (SEBF8752-11) - 01-05-2020 * Cleaning Rear Axle Housing Assemblies of 785, 789, and 793 Off-Highway Trucks[3260, 4001, 4002, 4006, 4050, 4208] Número de medio - (SEBF8370-05) - 11-06-2014 * Salvage and Reuse of Final Drive Axle Bearings Used in Off-Highway Trucks/ Tractors and Certain Wheel Loaders [4050, 4051] Número de medio - (SEBF8182-14) - 06-03-2020 * Salvage of Inner Planetary Carrier Pin Bores using Tapered Roller Bearings for 785, 789, and 793 Off-Highway Trucks [0679, 4050, 4092] Número de medio - (SEBF8223-08) - 06-05-2020 * Salvage of Wheel Group Hubs, Retainers, and Seal Retainers for Certain Off-Highway Trucks (OHT) [4001, 4008, 4050, 4051] Número de medio - (SEBF8439-04) - 09-09-2020 * Transmission, Torque Converter, and Final Drive Updates for 785C through 793C Off-Highway Trucks [3001, 3030, 4050] Número de medio -(SEBF8342-09) - 06-08-2020 * Procedure to Remove Large Wheel Bearing Cups [4001, 4008, 4051, 4215] Número de medio - (SEBF9118-06) - 24-07-2020 * Installing Tapered Roller Bearings in 6G-6352 Planet Gears in Final Drives of Off-Highway Trucks [0780, 0781, 4050, 4055, 7551] Número de medio - (SEBF8252-05) - 31-08-2020 *Thermal Spray and Salvage Procedure of Final Drive Planet Gear Bores for Certain Off-Highway Trucks (OHT) [4050, 4059] Número de medio - (SEBF8185-06) - 27-11-2019 * Salvage of Final Drive and Differential Thrust Washer Used in Off-Highway Trucks, Tractors, and Wheel Loaders [0677, 0780, 3258, 3284, 4050, 4055, 4201] Número de medio - (SEBF8183-08) - 11-02-2020 * Salvage of Planetary Carrier Pin Bores Using Tapered Roller Bearings for 785 and 789 Trucks [0679, 0780, 0781, 4050] Número de medio - (SEBF8222-06) - 08-07-2021 * Salvage of Planetary Carrier (Outer Pin Bore) Using Pressed In Sleeves for 785 and 789 Trucks [0679, 3186, 4050] Número de medio - (SEBF8221-04) - 08-07-2021 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."	a) Defectos estructurales no identificados Descripción: Grietas finas o deformaciones leves en carcasa, tapas o superficies de apoyo que pueden pasar desapercibidas si no se aplican verificaciones complementarias en zonas críticas del mando final.	a) Defectos estructurales no identificados Control: Inspección visual detallada de carcasa y tapas con apoyo de líquidos penetrantes y registro fotográfico de las zonas críticas.	3	2	2	12	Crítico												
					b) Tolerancias fuera de norma no detectadas Descripción: Desviaciones en concentricidad, paralelismo o diámetros de alojamientos y engranajes que afectan el engrane correcto y la vida útil del conjunto si no se controlan con instrumentos certificados.	b) Tolerancias fuera de norma no detectadas Control: Medición con micrómetros, comparadores y relojes calibrados, contrastando valores con tolerancias Caterpillar.	3	2	2	12	Crítico												
					c) Microfisuras en superficies de carga Descripción: Grietas superficiales o subsuperficiales en dientes de engranajes, pistas de rodamientos o ejes, invisibles a simple vista y detectables solo mediante ensayos NDT (líquidos penetrantes o partículas magnéticas).	c) Microfisuras en superficies de carga Control: Ensayos NDT en engranajes, pistas de rodamiento y ejes utilizando líquidos penetrantes o partículas magnéticas.	3	2	2	12	Crítico												
					d) Juegos axiales o radiales fuera de rango no verificados Descripción: Variaciones en rodamientos, bujes o cojinetes que generan desgaste prematuro, ruido o pérdida de alineación, si no se miden con precisión durante la verificación.	d) Juegos axiales o radiales fuera de rango no verificados Control: Medición de juegos con comparadores y micrómetros, registrando resultados en planilla técnica del mando final.	3	1	2	6	Moderado												
					e) Errores por calibración deficiente de instrumentos Descripción: Mediciones incorrectas en parámetros críticos debido a equipos de control fuera de calibración o sin trazabilidad metrológica, comprometiendo la aceptación de piezas.	e) Errores por calibración deficiente de instrumentos Control: Verificación periódica de calibración de todos los instrumentos de medición con patrones certificados y registro en bitácora metrológica.	3	1	3	9	Crítico												
4	ARMADO	4.3	Ensamble de Ejes y Cojinetes: Colocar ejes y rodamientos, ajustando precarga y verificando holguras axiales y radiales con comparadores.	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	1.- APLICA PARA COMPONENTES																		
				* Procedimiento de Reparación de componentes PCSI-CR-001 * Registro de preservación temporal RCSI-UT-010	a) Identificación deficiente o pérdida de trazabilidad del mando final.	Rotulación reforzada con placas o etiquetas resistentes, registrada en sistema de trazabilidad.	2	2	1	4	Moderado			* Registro de preservación temporal RCSI-UT-010 * Preñocción mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados (3100;3150;4059) (SEPD0495)-07-04-2011		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica	X	X	X	X	X	X	
					b) Ubicación incorrecta o sin registro claro en bodega.	Señalización de área exclusiva para mandos y codificación en plano de bodega.	2	2	2	8	Crítico												
					c) Exposición del mando final a lluvia, polvo o contaminación ambiental.	Protección con techumbre, piso nivelado y acceso restringido.	3	2	1	6	Moderado												
					d) Daños estructurales por apoyo directo en el suelo o soportes inadecuados.	Uso de pallets metálicos o bastidores certificados con anclajes de seguridad.	3	1	1	3	Bajo												
					e) Corrosión o deterioro en superficies críticas (retenes, alojamientos, bridas).	Aplicación de tapas metálicas, recubrimientos anticorrosivos y empaques herméticos.	2	1	2	4	Moderado												
					f) Mezcla o confusión de mandos en distinto estado (listos, en reparación, rechazados).	Separación física por estado del mando, con tarjetas de condición o códigos de color.	3	2	1	6	Moderado												
					g) Presencia de humedad, condensación o vapores corrosivos en la zona de almacenaje.	Monitoreo ambiental periódico y uso de desecantes en embalajes.	3	1	2	6	Moderado												
					h) Daños por calor directo, golpes o manipulación con equipos no certificados.	Restricción de áreas cercanas a calor/soldadura; maniobras solo con grúa puente y eslingas certificadas.	3	1	2	6	Moderado												
					i) Deterioro progresivo por falta de inspecciones periódicas durante el almacenamiento.	Inspecciones visuales y metrológicas programadas, verificando sellado, protección y estado del basidor.	3	2	2	12	Crítico												
					j) Deformaciones o daños por apilamiento inadecuado de bastidores o pallets.	Prohibición de apilamiento directo; uso de bastidores con topes de seguridad y control de carga por estiba.	3	1	2	6	Moderado												
		3.5	Almacenaje controlado de componentes inspeccionados, aplicando protección anticorrosiva, segregación por condición y trazabilidad en sistema de control	DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	2.- APLICA PARA PIEZAS																		
				* Protección mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados (3100;3150;4059) (SEPD0495)	a) Pérdida de identificación o trazabilidad de la pieza (sin Nº parte, OT, fecha o estado).	Rotulación individual con etiquetas resistentes, legibles y sistema digital de inventario.	3	2	1	6	Moderado			* Registro de preservación temporal RCSI-UT-010 * Preñocción mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados (3100;3150;4059) (SEPD0495)-07-04-2011								
					b) Ubicación incorrecta o sin registro en estantería, caja, pallet o contenedor.	Registro de ubicación en plano de bodega y marcado físico de posición.	3	2	2	12	Crítico												
					c) Uso de embalajes inadecuados que no protegen contra contaminación o golpes.

Matriz de Riesgos de Calidad

Reparables & Garantías MECoE

Datos del componente

Familia del Componente: MANDO FINAL D10T
Vida útil esperada del componente: 18.000 HORAS

Control del documento

Revisión N°: 1
Fecha emisión / Actualización: 01-08-25

N° Etapa del Proceso de Reparación del Componente	Descripción de la Etapa	N° Actividad	Descripción Actividad	Documentos de Referencia de la Actividad: Nombre y Codificación (Planos, Procedimientos, Instructivos, entre otros)	Riesgos de Calidad Asociado a la Actividad	Controles Actuales Asociado a los Riesgos	Criterios de Aceptación (FMEA)					Analisis de Conformidad		Registros del Control	Nuevos Controles a Implementar Asociados a los Riesgos	Responsable de Liberación	Etapa y ejecutor de Control de Calidad / Inspección						Observaciones
																	Etapa QI/QC				Ejecutor QC		
							S	O	D	RPN	Riesgo del Proceso	Cumple	No Cumple				Inicio	Intermedio	Final	Hot Points	Interno	Externo	
1	RECEPCIÓN DEL COMPONENTE	1.1	Control de ingreso técnico y verificación de conformidad	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	1.- CONDICIÓN SEGURIDAD																		
				* Instructivo de Ingreso de Mercadería ICSI-IIOD-006 * Instructivo de Creación de una Solicitud de Orden de Trabajo ICSI-ADMP-004 * Recepción de Componentes RCSI-CR-001 * Reporte de No Conformidad RCSI-SGI-010	a) Golpes o deformaciones por embalaje sin protección estructural suficiente	Checklist de embalaje aprobado / Inspección visual	3	2	2	12	Crítico			* Checklists y Validaciones Documentales (Guías de Despacho) * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Controles en Zona * Reporte de No Conformidad RCSI-SGI-010 * Recepción de Componentes RCSI-CR-001		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios	X				X		
					b) Desplazamientos internos por falta de puntos de sujeción firmes durante el transporte	Revisión técnica contra procedimiento de transporte	3	1	2	6	Moderado												
					c) Inestabilidad del componente por ausencia de bases o soportes capaces de resistir vibración	Validación de estabilidad en zona de carga (check visual + prueba de movimiento)	3	1	1	3	Bajo												
					d) Daños mecánicos causados por dispositivos de fijación mal tensionados o insuficientes	Checklist de fijación / Verificación en recepción	3	1	2	6	Moderado												
					e) Compromiso estructural por transporte inadecuado al peso y dimensiones del componente.	Validación contra ficha técnica de transporte / revisión de guía de despacho	3	1	1	3	Bajo												
					f) Riesgo de daño por elementos sueltos no asegurados dentro o alrededor de la carga	Inspección visual durante la recepción	2	2	1	4	Moderado												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	2.- CONDICIÓN AMBIENTAL																		
				* Guía de cumplimiento de especificaciones de CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSBJ0002-05	a) Contaminación por aceite demamado debido a sellos deficientes o golpeados	Inspección visual / revisión de empaques y sellos	2	1	1	2	Bajo			* Checklists y Validaciones Documentales (Guías de Despacho) * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Controles en Zona * Reporte de No Conformidad RCSI-SGI-010 * Recepción de Componentes RCSI-CR-001		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios	X				X		
					b) Riesgo de fuga por falta de sellado adecuado que permita contener fluidos	Validación de sellado con formato estándar / checklist	2	2	1	4	Moderado												
					c) Ingreso de residuos sólidos que afectan la limpieza inicial del componente	Inspección visual y limpieza previa al ingreso a bodega	2	2	2	8	Crítico												
					d) Propagación de contaminación por ausencia de barreras o contención ambiental	Validación de embalaje + zonas delimitadas en área de recepción	3	2	1	6	Moderado												
					3.- CONDICIÓN COMPONENTE																		
					a) No conformidad inicial por discrepancia entre el componente recibido y la especificación del cliente	Validación contra Guía de Despacho	2	1	1	2	Bajo			* Checklists y Validaciones Documentales (Guías de Despacho) * Informes y Comunicaciones * Evidencias Gráficas y Documentación de Recepción * Controles en Zona * Reporte de No Conformidad RCSI-SGI-010 * Recepción de Componentes RCSI-CR-001		* Supervisor de Unidad Técnica * Jefe de Transporte y Servicios							
					b) Riesgos en la inspección por recibir el componente completamente ensamblado, limitando la verificación visual	Checklist de piezas y subcomponentes (apoyo Guía de Despacho)	1	3	1	3	Bajo												
					c) Hallazgo de piezas defectuosas que exigen notificación temprana al cliente	Inspección visual / funcional y registro de NC (no conformidad)	2	2	2	8	Crítico												
					d) Retrasos por piezas faltantes que afectan la secuencia normal del proceso	Validación con lista de empaque / informe a cliente	3	2	2	12	Crítico												
					e) Fallas de control por llegada de cajones, pallets o bultos no declarados	Registro fotográfico y documentación de bultos / adjunto a informe de recepción	2	2	1	4	Moderado												
					f) Trazabilidad limitada por ausencia de la placa de identificación de reparación	Validación contra checklist de ingreso / solicitud de corrección	3	1	1	3	Bajo												
					g) No conformidad por daños visibles atribuibles a manipulación o traslado previo	Registro fotográfico, informe a Cliente, retención preventiva	3	2	2	12	Crítico												
					h) Riesgo operativo por bases inadecuadas que comprometen estabilidad del componente	Validación en zona de descarga / apoyo de ficha técnica de recepción	3	2	1	6	Moderado												
2	LAVADO	2.1	Retiro de residuos internos y lavado con estándares técnicos	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	1.- LAVADO GRUESO											* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable.							
				* Procedimiento de Sala de Lavado PCSI-LAV-001 * Recepción de Componentes RCSI-CR-001 * Inspección de Lavado de Componentes * Cartilla de Inspección operativa de Hidrolavadora	a) Subestimación del nivel de suciedad que deriva en lavado insuficiente o tratamiento inadecuado	Checklist de evaluación inicial de suciedad con clasificación por nivel (bajo/medio/alto)	3	2	1	6	Moderado			* Recepción de Componentes RCSI-CR-001 * Inspección de Lavado de Componentes * Inspección operativa de Hidrolavadora								
					b) Contaminación cruzada por no retirar etiquetas, empaques, residuos sueltos o material extraño adherido al componente	Inspección visual y retiro de elementos sueltos. Contenedor para residuos	2	2	1	4	Moderado												
					c) limpieza ineficiva por selección incorrecta del producto, tiempo de acción insuficiente o aplicación no controlada	Ficha de selección de productos con tabla de residuos vs. químico recomendado y tiempos validados	3	2	2	12	Crítico												
					d) Remoción deficiente de residuos por uso inadecuado de hidrolavadora o presión mal dirigida	Hidrolavadora calibrada. Aplicación en zonas críticas con EPP	3	2	1	6	Moderado												
					e) Ingreso de contaminantes por reinspección deficiente y/o drenaje incorrecto	Reinspección visual. Drenaje en zona controlada. Separación de residuos	3	2	2	12	Crítico												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	2.- LAVADO FINO																		
				* Guía de cumplimiento de especificaciones de CONTROL DE CONTAMINACIÓN PSBJ0002-05	a) Residuos remanentes no detectados por inspección visual deficiente tras el lavado grueso	Inspección con luz directa. Registro de hallazgos	2	2	1	4	Moderado			* Recepción de Componentes RCSI-CR-001 * Inspección de Lavado de Componentes * Inspección operativa de Hidrolavadora								
					b) Suciedad retenida en cavidades o superficies complejas por aplicación insuficiente de agua a presión	Aplicación dirigida de agua y cepillado controlado	3	1	1	3	Bajo												
					c) Contaminación interna por soplado con aire húmedo, sin filtración adecuada o con presión incorrecta	Aire comprimido filtrado. Registro de uso	3	1	1	3	Bajo												
					d) Fallo en criterios de limpieza por verificación inexacta o no conforme a la Guía de Control de Contaminantes	Verificación con checklist Caterpillar. Firma del inspector	3	2	2	12	Crítico												
					e) Contaminación posterior por aplicación deficiente de protector	Aplicación de protector. Registro de condición final. Aprobación de Supervisor	3	2	1	6	Moderado												
3	DESARME Y EVALUACION	3.1	Desarme progresivo del conjunto de mando final según procedimiento técnico, separando engranajes, ejes y rodamientos de forma controlada para evitar daños y contaminación	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Fisuración o deformación en carcasa portante por aplicación incorrecta de torque en pernos de tapa.	Afloje cruzado de pernos con torquímetro calibrado.	3	1	2	6	Moderado			* Criterio de evaluación (GRPTS) * Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003 * SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Mando final y embrague y freno de dirección - Separar (RENR8166)-22-09-2004 * Mando final - Desarmar (REINR8166)-17-09-2004 * Segmento de rueda motriz - Quitar e Instalar (RSNR8166-06)04-07-2012 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable						X	
				* Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003	b) Contaminación de superficies internas (engranajes, rodamientos cónicos) por ingreso de partículas metálicas, polvo o residuos de aceite.	Drenaje de aceite en bandeja filtrante con retención magnética de partículas.	3	2	2	12	Crítico												
					c) Daños en flancos de dientes de engranajes planetarios y corona por uso de herramientas inadecuadas en la extracción.	Uso de extractores y gatos hidráulicos homologados por Caterpillar.	3	1	1	3	Bajo												
					d) Deformación en alojamientos de rodamientos por aplicación excesiva de presión o calor.	Control de presión aplicada en extractores (<5 ton).	3	2	1	6	Moderado												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	e) Pérdida de precarga y daño en rodillos de rodamientos cónicos al ser retirados sin extractor homologado.	Manipulación con grúa puente y eslingas certificadas para ejes y corona.	3	1	2	6	Moderado												
				* SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Mando final y embrague y freno de dirección - Separar (RENR8166)-22-09-2004 * Mando final - Desarmar (REINR8166)-17-09-2004 * Segmento de rueda motriz - Quitar e Instalar (RSNR8166-06)-04-07-2012 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."	f) Marcas, golpes o melladuras en superficies de contacto por manipulación manual sin protección.	Almacenaje temporal en bandejas metálicas con separadores.	3	1	1	3	Bajo												
					g) Desalineación en el retiro de ejes y engranajes, provocando rayado en pistas y alojamientos.	Marcaje de piezas (IZQ/DER, secuencia) con punzón o pintura de impacto.	3	3	2	18	Crítico												
					h) Confusión en la secuencia de desmontaje de componentes (engranajes, espaciadores, arandelas de ajuste).	Registro fotográfico del proceso paso a paso.	3	1	1	3	Bajo												
					i) Falta de registro documental del proceso de desarme.	Checklist de desarme firmado por mecánico responsable.	3	1	2	6	Moderado												
		3.2	Inspección técnica inicial de carcasa, engranajes, ejes y cojinetes para identificar desgaste, fisuras, picaduras de contacto o deformaciones visibles	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Omisión en la detección de fisuras superficiales en carcasa o engranajes por inspección visual deficiente.	Inspección visual sistemática bajo norma Caterpillar, con iluminación dirigida y apoyo óptico (lupa/lámpara).	3	2	1	6	Moderado			* Criterio de evaluación (GRPTS) * Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003 * SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Mando final y embrague y freno de dirección - Separar (RENR8166)-22-09-2004 * Mando final - Desarmar (REINR8166)-17-09-2004 * Segmento de rueda motriz - Quitar e Instalar (RSNR8166-06)-04-07-2012 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."	X	* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable							
				* Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003	b) Desgaste irregular en flancos de dientes no identificado, generando fallas prematuras en transmisión de torque.	Aplicación de líquidos penetrantes en carcasa, engranajes y ejes para detectar microfisuras.	3	1	1	3	Bajo												
					c) Picaduras de contacto (pitting) en rodamientos o engranajes no registradas, reduciendo la vida útil del conjunto.	Medición de perfil y desgaste de dientes con plantilla Caterpillar y calibradores.	3	2	1	6	Moderado												
					d) Deformaciones en alojamientos de rodamientos y ejes no detectadas, provocando desalineaciones.	Revisión de picaduras de contacto con lupa 10x y criterio de severidad en checklist.	3	1	2	6	Moderado												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	e) Inclusión de contaminantes durante la inspección (polvo, grasa, partículas metálicas).	Uso de galgas y comparadores para juegos axiales y radiales en rodamientos.	3	2	2	12	Crítico												
				* SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Mando final y embrague y freno de dirección - Separar (RENR8166)-22-09-2004 * Mando final - Desarmar (REINR8166)-17-09-2004 * Segmento de rueda motriz - Quitar e Instalar (RSNR8166-06)-04-07-2012 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."	f) Evaluación incompleta de juegos axiales y radiales en rodamientos.	Ejecución de inspección en área limpia, con cubiertas protectoras en componentes no evaluados.	3	1	2	6	Moderado												
					g) Identificación incorrecta de la severidad del daño (clasificación errónea leve/moderado/crítico).	Registro fotográfico detallado de cada componente inspeccionado.	3	2	2	12	Crítico												
					h) Pérdida de trazabilidad por ausencia de registro fotográfico y checklist.	Clasificación de daños según criterios técnicos (desgaste normal, crítico o fuera de servicio).	3	2	2	12	Crítico												
					i) Daños adicionales en superficies críticas por manipulación sin protección.	Checklist firmado por inspector de calidad y validado por supervisor.	3	2	1	6	Moderado												
		3.3	Verificación funcional en seco de engranajes y rodamientos, evaluando marcas de contacto, juego entre dientes y condición de pistas de rodadura respecto a tolerancias Caterpillar	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Omisión en la detección de juego excesivo entre dientes, provocando vibraciones y fallas en transmisión de torque.	Uso de compuestos de contraste (azul de Prusia o pasta de contacto) para visualizar marcas entre dientes.	3	1	1	3	Bajo			* Criterio de evaluación (GRPTS) * Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003 * SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Mando final y embrague y freno de dirección - Separar (RENR8166)-22-09-2004 * Mando final - Desarmar (REINR8166)-17-09-2004 * Segmento de rueda motriz - Quitar e Instalar (RSNR8166-06)-04-07-2012 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."	X	* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable							
				* Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003	b) Marcas de contacto desalineadas no registradas, derivando en desgaste irregular de engranajes.	Medición de juego axial y radial con comparadores calibrados.	3	2	1	6	Moderado												
					c) Pistas de rodadura con picaduras o deformaciones no identificadas durante la verificación.	Verificación de contacto con plantilla Caterpillar y criterio técnico establecido en manual REINR.	3	2	1	6	Moderado												
					d) Interpretación incorrecta de tolerancias Caterpillar respecto al juego axial y radial.	Inspección visual detallada con apoyo óptico en pistas de rodadura.	3	2	2	12	Crítico												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	e) Daños en engranajes o rodamientos por manipulación sin herramientas adecuadas.	Manipulación controlada con herramientas homologadas y banco limpio de inspección.	3	2	2	12	Crítico												
				* SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Mando final y embrague y freno de dirección - Separar (RENR8166)-22-09-2004 * Mando final - Desarmar (REINR8166)-17-09-2004 * Segmento de rueda motriz - Quitar e Instalar (RSNR8166-06)-04-07-2012 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."	f) Contaminación de superficies de contacto durante la evaluación (polvo, partículas metálicas).	Registro fotográfico obligatorio de marcas de contacto y condición de rodaduras.	3	2	1	6	Moderado												
					g) Pérdida de evidencia técnica por falta de registro fotográfico de marcas de contacto.	Checklist de verificación funcional firmado por inspector y validado por supervisor de calidad.	3	2	1	6	Moderado												
					h) Evaluación incompleta por omisión de parámetros críticos (par de contacto, condición superficial)	Clasificación del estado de engranajes y rodamientos según tolerancias Caterpillar (dentro de norma / fuera de servicio).	3	2	2	12	Crítico												
					i) Clasificación errónea de severidad de desgaste (aceptable vs fuera de norma).	Inspección cruzada por doble verificación en casos límite de desgaste.	3	2	2	12	Crítico												
		3.4	Aplicación de control metrológico y ensayos no destructivos en dientes, alojamientos y rodamientos para validar dimensiones críticas, concentricidad y posibles microfisuras	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Defectos estructurales no identificados Descripción: Grietas finas o deformaciones leves en carcasa, tapas o superficies de apoyo que pueden pasar desapercibidas si no se aplican verificaciones complementarias en zonas críticas del mando final.	a) Defectos estructurales no identificados Control: Inspección visual detallada de carcasa y tapas con apoyo de líquidos penetrantes y registro fotográfico de las zonas críticas.	3	2	2	12	Crítico			* Solicitud de Reparación RCSI-ADMP-004 * Informe de análisis No Destructivo RCSI-CC-006 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003 * Instructivo Control de EIME ICSI-CC-002 * Instructivo NDT Líquidos penetrantes ICSI-CC-003 * Instructivo NDT Partículas magnéticas ICSI-CC-004 * Instructivo NDT Método de ultrasonido ICSI-CC-005 * Instructivo NDT Partículas fluorescentes ICSI-CC-006 * Instructivo Control metrológico ICSI-CC-007 * SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Reusability of Drive Train Gears (3002, 3159, 3256, 4055) Número de medio -SEBF8193-26-18-06-2021 * Specifications for Inspection of Drive-line Fasteners (3030, 3101, 3159, 3253, 3258, 3278, 4050) Número de medio -SEBF8728-25-0- 18-06-2021 * Procedures to Salvage Thrust Faces on Planetary Carriers (0679, 3160, 4050, 4051, 4060) Número de medio -SEBF8163-18-7-07-2021 * Thermal Spray Procedures of Sprocket Supports for Certain Track-Type Tractors (TTT) (0374, 0599, 0679, 4050) Número de medio -SEBF2188-14-14-04-2021 * Reusability of Planetary Final Drive Components for Track-Type Tractors (0679, 4050, 4084, 4092) Número de medio -SEBF8079-16-01-03-2021 * Salvage of Final Drive Sprocket Hubs For Pipelayers, Track Loaders, and Track-Type Tractors (0679, 4050, 4164, 4184) Número de medio -SEBF8122-19-23-04-2021 * Procedures to Salvage Damaged Sprocket Hub Bearing Bores for Certain Track-Type Tractors (TTT) Models (4054) Número de medio -SEBF8084-05-18-09-2019 * Salvage of Final Drive Sprocket Hubs For Pipelayers, Track Loaders, and Track-Type Tractors (0679, 4050, 4164, 4184) Número de medio -SEBF8122-19-23-04-2021 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."		* Supervisor de Unidad Técnica * Supervisor de Control de Calidad	X						
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	b) Tolerancias fuera de norma no detectadas Descripción: Desviaciones en concentricidad, paralelismo o diámetros de alojamientos y engranajes que afectan el engrane correcto y la vida útil del conjunto si no se controlan con instrumentos certificados.	b) Tolerancias fuera de norma no detectadas Control: Medición con micrómetros, comparadores y relojes calibrados, contrastando valores con tolerancias Caterpillar.	3	2	2	12	Crítico												
				* SIS WEB - Guías de reutilización de partes y piezas (GRPTS) * Reusability of Drive Train Gears (3002, 3159, 3256, 4055) Número de medio -SEBF8193-26-18-06-2021 * Specifications for Inspection of Drive-line Fasteners (3030, 3101, 3159, 3253, 3258, 3278, 4050) Número de medio -SEBF8728-25-0- 18-06-2021 * Procedures to Salvage Thrust Faces on Planetary Carriers (0679, 3160, 4050, 4051, 4060) Número de medio -SEBF8163-18-7-07-2021 * Thermal Spray Procedures of Sprocket Supports for Certain Track-Type Tractors (TTT) (0374, 0599, 0679, 4050) Número de medio -SEBF2188-14-14-04-2021 * Reusability of Planetary Final Drive Components for Track-Type Tractors (0679, 4050, 4084, 4092) Número de medio -SEBF8079-16-01-03-2021 * Salvage of Final Drive Sprocket Hubs For Pipelayers, Track Loaders, and Track-Type Tractors (0679, 4050, 4164, 4184) Número de medio -SEBF8122-19-23-04-2021 * Procedures to Salvage Damaged Sprocket Hub Bearing Bores for Certain Track-Type Tractors (TTT) Models (4054) Número de medio -SEBF8084-05-18-09-2019 * Salvage of Final Drive Sprocket Hubs For Pipelayers, Track Loaders, and Track-Type Tractors (0679, 4050, 4164, 4184) Número de medio -SEBF8122-19-23-04-2021 * "La evaluación de cada componente se realiza bajo los parámetros indicados en la documentación técnica oficial de Caterpillar."	c) Microfisuras en superficies de carga Descripción: Grietas superficiales o subsuperficiales en dientes de engranajes, pistas de rodamientos o ejes, invisibles a simple vista y detectables solo mediante ensayos NDT (líquidos penetrantes o partículas magnéticas).	c) Microfisuras en superficies de carga Control: Ensayos NDT en engranajes, pistas de rodamiento y ejes utilizando líquidos penetrantes o partículas magnéticas.	3	2	2	12	Crítico												
					d) Juegos axiales o radiales fuera de rango no verificados Descripción: Variaciones en rodamientos, bujes o cojinetes que generan desgaste prematuro, ruido o pérdida de alineación, si no se miden con precisión durante la verificación.	d) Juegos axiales o radiales fuera de rango no verificados Control: Medición de juegos con comparadores y micrómetros, registrando resultados en plantilla técnica del mando final.	3	1	2	6	Moderado												
					e) Errores por calibración deficiente de instrumentos Descripción: Mediciones incorrectas en parámetros críticos debido a equipos de control fuera de calibración o sin trazabilidad metrológica, comprometiendo la aceptación de piezas.	e) Errores por calibración deficiente de instrumentos Control: Verificación periódica de calibración de todos los instrumentos de medición con patrones certificados y registro en bitácora metrológica.	3	1	3	9	Crítico												
		3.5	Almacenaje controlado de componentes inspeccionados, aplicando protección anticorrosiva, segregación por condición y trazabilidad en sistema de control	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	1.- APLICA PARA COMPONENTES											* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica							
				* Procedimiento de Reparación de componentes PCSI-CR-001 * Registro de preservación temporal RCSI-UT-010	a) Identificación deficiente o pérdida de trazabilidad del mando final.	Rotulación reforzada con placas o etiquetas resistentes, registrada en sistema de trazabilidad.	2	2	1	4	Moderado			* Registro de preservación temporal RCSI-UT-010 * Preotección mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados (3100,3150,4059) (SEPD0490)-07-04-2011								
					b) Ubicación incorrecta o sin registro claro en bodega.	Señalización de área exclusiva para mandos y codificación en plano de bodega.	2	2	2	8	Crítico												
					c) Exposición del mando final a lluvia, polvo o contaminación ambiental.	Protección con techumbre, piso nivelado y acceso restringido.	3	2	1	6	Moderado												
					d) Daños estructurales por apoyo directo en el suelo o soportes inadecuados.	Uso de pallets metálicos o bastidores certificados con anclajes de seguridad.	3	1	1	3	Bajo												
					e) Corrosión o deterioro en superficies críticas (retenes, alojamientos, bridas).	Aplicación de tapas metálicas, recubrimientos anticorrosivos y empaques herméticos.	2	1	2	4	Moderado												
					f) Mezcla o confusión de mandos en distinto estado (listos, en reparación, rechazados).	Separación física por estado del mando, con tarjetas de condición o códigos de color.	3	2	1	6	Moderado												
					g) Presencia de humedad, condensación o vapores corrosivos en la zona de almacenaje.	Monitoreo ambiental periódico y uso de desecantes en embalajes.	3	1	2	6	Moderado												
					h) Daños por calor directo, golpes o manipulación con equipos no certificados.	Restricción de áreas cercanas a calor/soldadura; maniobras solo con grúa puente y eslingas certificadas.	3	1	2	6	Moderado												
					i) Deterioro progresivo por falta de inspecciones periódicas durante el almacenamiento.	Inspecciones visuales y metrológicas programadas, verificando sellado, protección y estado del bastidor.	3	2	2	12	Crítico												
					j) Deformaciones o daños por apilamiento inadecuado de bastidores o pallets.	Prohibición de apilamiento directo; uso de bastidores con topes de seguridad y control de carga por estiba.	3	1	2	6	Moderado												
				DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DEL FABRICANTE	2.- APLICA PARA PIEZAS																		
				* Protección mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados (3100,3150,4059) (SEPD0490)	a) Pérdida de identificación o trazabilidad de la pieza (sin N° parte, OT, fecha o estado).	Rotulación individual con etiquetas resistentes, legibles y sistema digital de inventario.	3	2	1	6	Moderado			* Registro de preservación temporal RCSI-UT-010 * Preotección mejorada contra la corrosión para componentes principales remanufacturados (3100,3150,4059) (SEPD0490)-07-04-2011								
					b) Ubicación incorrecta o sin registro en estantería, caja, pallet o contenedor.	Registro de ubicación en plano de bodega y marcado físico de posición.	3	2	2	12	Crítico												
					c) Uso de embalajes inadecuados que no protegen contra contaminación o golpes.	Uso de cajas plásticas, bolsas anticorrosivas o contenedores técnicos adecuados.	3	2	1	6	Moderado												
					d) Mezcla de piezas con contaminantes o incompatibles en la misma zona.	Zonificación en bodega y almacenamiento segregado por tipo o compatibilidad.	3	1	2	6	Moderado												
					e) Exposición de piezas a polvo, humedad o agentes externos por falta de sellado.	Aplicación de tapas, películas protectoras o empaques anticorrosivos según material.	3	2	1	6	Moderado												
					f) Deformaciones por mal soporte, estiba deficiente o caída de estantería.	Revisión de estabilidad de pallets y estanterías reforzadas.	3	1	2	6	Moderado												
					g) Condensación, humedad o salpicaduras que generan corrosión o deterioro.	Monitoreo ambiental con control de humedad y temperatura en bodega.	3	2	1	6	Moderado												
					h) Rotulación ilegible, incompleta o ausente en el contenedor o embalaje.	Verificación de etiquetas y control de calidad en el ingreso.	3	1	2	6	Moderado												
					i) Daños por aplastamiento, deformaciones visibles o manipulación incorrecta.	Inspección visual rutinaria y checklist de almacenaje seguro.	3	1	1	3	Bajo												
					j) Ausencia de control visual o revisión periódica, aumentando riesgo de deterioro.	Programación de controles periódicos según criticidad de la pieza en sistema de gestión.	3	2	2	12	Crítico												
4	ARMADO	4.1	4.1 Montaje de Carcasa Base: Instalar carcasa en bastidor, verificando nivelación, paralelismo y concentricidad de alojamientos.	DOCUMENTACIÓN INTERNA C.S.I.	a) Fisuras o deformaciones en la carcasa no detectadas antes del montaje.	Inspección visual detallada y aplicación de ensayos NDT en zonas críticas previo al montaje.	3	2	2	12	Crítico			* Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Ficha Técnica de Mando Final D10 RCSI-CRC-081 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003 * Segmento de rueda motriz - Quitar e Instalar (RSNR8166-06)04-07-2012		* Supervisor de Operaciones * Supervisor de Unidad Técnica * Asistente de Unidad Técnica * Mecanico-Técnico Responsable	X	X	X	X	X	X	
				* Procedimiento de reparación de componentes PCSI-CR-001 * Informe de desarme y evaluación de componente RCSI-CR-016 * Ficha Técnica de Mando Final D10 RCSI-CRC-081 * Inspección de Desarme de Componentes RCSI-UT-003 * Programa de calibración o verificación de EIME RCSI-CC-003	b) Error en la nivelación de la car

H. Matriz Estrategia de Reparación y Stock Critico

Estrategia de Reparación y Stock Critico

Datos del componente		Control del documento	
Componente:	MANDO FINAL 793F	Revisión N°:	1
Vida útil esperada:	18.000 horas	Fecha emisión / Actualización:	dd-mm-aaaa

Sistema	Subsistema	Detalle del subsistema	Actividad	Tipo de Reemplazo (Cuando es dado de baja)	Frecuencia de Reparaciones (N° de veces)	Condición para Baja	Criterio para Condición de Baja	Prueba a Realizar
Final Drive Arrangement	SEALING (SELLOS MENORES)	O-Rings y Anillos (PN: 123-7270 / 137-4350 / 3K-0360 / 380-1397 / 7X-4781 / 9X-7314)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	Pérdida de propiedades elásticas / Kit de mantenimiento	A todo evento	N/A
Final Drive Arrangement	SEALING (SELLOS CRITICOS)	SEAL GP-DUO-CONE (PN: 423-2091 / 563-8599)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	Pérdida de hermeticidad, daño en pistas de sellado	A todo evento	Inspección visual
Final Drive Arrangement	BEARINGS (RODAMIENTOS)	Cones & Cups (PN: 194-0505 / 175-3770 / 212-5030 / 495-4173)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	Fatiga de material, pitting en rodillos/pistas	A todo evento	Ninguna
Final Drive Arrangement	STRUCTURAL / HOUSING	SPINDLE GP (Punta de Eje) PN: 179-0745	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización	Sin límite	Desgaste en zona de sellos, fisuras en brida	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Inspección visual
Final Drive Arrangement	STRUCTURAL / HOUSING	WHEEL AS (Conjunto Rueda) PN: 377-5230 (ó Reman 0R-9039)	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización	Sin límite	Fisuras, ovalización de alojamientos	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Inspección visual
Final Drive Arrangement	STRUCTURAL / HOUSING	RETAINERS (Retenes estructurales) PN: 375-5962 / 200-6388	Reutilización/Recuperación	Condición	Sin límite	Deformación plana, daños en orificios	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Inspección visual
Final Drive Arrangement	POWER TRAIN (COMPONENT)	DRIVE GP-FINAL (Grupo Mando Final Cerrado) PN: 296-7528	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización	Sin límite	Falla interna del conjunto (engranajes no detallados en este PDF)	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Inspección visual
Final Drive Arrangement	BRAKE SYSTEM	BRAKE GP-SERVICE (Grupo de Freno) PN: 334-5019	Reemplazo / Mantenimiento	Según pauta de desgaste	Según Horas	Espesor de discos fuera de tolerancia	Especificaciones Caterpillar	Medición de espesor
Final Drive Arrangement	FASTENERS (FIJACIONES)	Pernos y Tuercas (PN: 2J-3505 / 2J-3507 / 8T-0667 / 8T-4183 / 8X-0274)	Reemplazo	Condición (o Siempre según criticidad)	N/A	Daño en hilos, estiramiento, corrosión	Inspección Visual	Verificación de par de apriete
Final Drive Arrangement	ACCESORIES	Arandelas y Tapones (PN: 5P-8249 / 5P-8250 / 6V-8237 / 8T-4223 / 9S-4185)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	Deformación plástica (Arandelas), Daño en hexágono (Tapones)	A todo evento	Ninguna
Final Drive Arrangement	MOUNTING	MOUNTING GP-WHEEL (Montaje) PN: 379-5556	Reutilización	Condición	N/A	Estado de componentes de montaje	Guía de Reutilización	Inspección visual
Final Drive Arrangement	Todos	Todos	Pruebas	N/A	N/A	No aprobar parámetros de aceptación indicados por Caterpillar	Especificaciones Caterpillar / Matriz de Calidad	Según especificaciones Caterpillar y protocolo de banco

Figura H.1: Estrategia de Reparación y Stock Crítico - Mando Final 793F

Fuente: Elaboración Propia

Estrategia de Reparación y Stock Critico

Datos del componente		Control del documento	
Componente:	MANDO FINAL 789C	Revisión N°:	1
Vida útil esperada:	18.000 horas	Fecha emisión / Actualización:	dd-mm-aaaa

Sistema	Subsistema	Detalle del subsistema	Actividad	Tipo de Reemplazo (Cuando es dado de baja)	Frecuencia de Reparaciones (N° de veces)	Condición para Baja	Criterio para Condición de Baja	Prueba a Realizar
Final Drive Arrangement	INSUMOS (SEALING)	Sellos Duo-Cone (Floating Seals) PN: 314-4130 / 297-9546	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	Pérdida de hermeticidad, fatiga de material	A todo evento	Inspección visual de pistas
Final Drive Arrangement	INSUMOS (SEALING)	Sellos O-Ring y Empaquetaduras (PN: 2A-3398 / 137-4349 / 123-7270 / 147-1767 / 2S-4078 / 4H-6730 / 5P-9519 / 6D-1355 / 6V-6557)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	Deformación permanente, pérdida de propiedades elásticas	A todo evento	N/A
Final Drive Arrangement	BEARINGS (RODAMIENTOS)	Rodamientos de Rodillos/Cónicos (PN: 363-0637 / 174-3040 / 174-5297 / 436-2593 / 212-5028 / 526-7057)	Reemplazo	Siempre (en Overhaul General)	0 (Cero)	Fatiga (Spalling), Pitting en pistas o rodillos	A todo evento (por horas de servicio)	Ninguna
Final Drive Arrangement	POWER TRAIN (GEARS)	GEAR-SUN (Soles Centrales 1ra y 2da etapa) PN: 245-3820 / 256-7177	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización	Sin límite	Pitting en flancos, desgaste en splines, daños en dientes	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Inspección Visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	POWER TRAIN (GEARS)	GEAR-PLANETARY (Planetarios 1ra y 2da etapa) PN: 117-1005 / 144-3366	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización	Sin límite	Pitting, Spalling, juego excesivo buje-eje	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Inspección Visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	POWER TRAIN (GEARS)	GEAR-RING (Coronas) PN: 197-2729 / 197-2730	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización	Sin límite	Desgaste escalonado en dientes, fisuras en raíz	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Inspección Visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	POWER TRAIN (CARRIERS)	CARRIER / PORTADOR (Portas) PN: 8W-3215 (Interno) / 261-1688 (Portaplanetario)	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización	Sin límite	Fisuras estructurales, ovalización de alojamientos de ejes planetarios	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Inspección Visual; END (Tintas/Partículas)
Final Drive Arrangement	POWER TRAIN (SHAFTS)	SHAFTS (Ejes y Ejes Planetarios) PN: 7I-5540 / 8X-6833	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización	Sin límite	Desgaste, rayaduras profundas, pérdida de tratamiento térmico	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Inspección Visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	STRUCTURAL / HOUSING	WHEEL AS (Rueda Trasera) PN: 214-1644	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización	Sin límite	Fisuras, desgaste en zona de rodamientos	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Inspección Visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	STRUCTURAL / HOUSING	SPINDLE GP (Punta de Eje) PN: 179-0743	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización	Sin límite	Daño en zona de sellos, fisuras en brida, daño en roscas	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Inspección Visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	STRUCTURAL / HOUSING	HUB & COVERS (Maza y Tapas) PN: 106-6531 / 113-9184 / 137-1076 / 5T-7676	Reutilización/Recuperación	Condición	Sin límite	Deformación, golpes, fugas por fisuras	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Inspección Visual
Final Drive Arrangement	BRAKE SYSTEM	BRAKE GP (Grupo de Freno) PN: 257-6298	Reemplazo / Mantenimiento	Según pauta de desgaste	Según Horas	Espesor de discos fuera de tolerancia, vitrificación, alabeo	Especificaciones Caterpillar	Medición de altura de paquete (Pack Height)
Final Drive Arrangement	AJUSTE (SHIMS)	Shim Packs (Conjunto de Calces) PN: 8W-6910 / 8X-6834 / 8X-8439	Reemplazo	Siempre (Si se requiere ajuste)	N/A	Deformación o requerimiento de nuevo ajuste de precarga	Procedimiento de armado	Metrología (Cálculo de espesor)
Final Drive Arrangement	FIJACIONES	Pernos, Tuercas y Arandelas (Lista varia: 8X-2560, 0S-1585, etc.)	Reemplazo	Condición / Siempre (Críticos)	N/A	Estiramiento, daño en hilos, corrosión	Inspección Visual	Torque
Final Drive Arrangement	Todos	Todos	Pruebas	N/A	N/A	No aprobar parámetros de aceptación indicados por Caterpillar	Especificaciones Caterpillar / Matriz de Calidad	Según especificaciones Caterpillar y protocolo de banco

Figura H.2: Estrategia de Reparación y Stock Crítico - Mando Final 789C

Fuente: Elaboración Propia

Estrategia de Reparación y Stock Crítico

Datos del componente		Control del documento	
Componente:	MANDO FINAL D10T	Revisión N°:	1
Vida útil esperada:	18.000 horas	Fecha emisión / Actualización:	dd-mm-aaaa

Sistema	Subsistema	Detalle del subsistema	Actividad	Tipo de Reemplazo (Cuando es dado de baja)	Frecuencia de Reparaciones (N° de veces)	Condición para Baja	Criterio para Condición de Baja	Prueba a Realizar
Final Drive Arrangement	Todos	Repuestos (Genuine Cat)	Utilización solo de repuestos originales Caterpillar	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	N/A
Final Drive Arrangement	Todos	Sellos y retenes, Rodamientos (kit completo)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	Ninguna
Final Drive Arrangement	Todos	BOLT críticos PN: 8T-9400, 8T-8917, 5D-0353	Reutilización	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	No aplica recuperaciones	Doblado, corrosión, desgaste de rosca, fatiga, grietas, muescas, variación de longitud	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP - INPUT	SUN (Solar) PN: 9W-9133	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, fisuras, desgaste anormal, deformación, fatiga, daño en chaveteros/estrías	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP - INPUT	PLANET GEARS (x4) PN: 9W-9132	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, fisuras, desgaste anormal, deformación, fatiga, daño en chaveteros/estrías	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP - INPUT	CARRIER (Portador) PN: 3T-3294	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, fisuras, desgaste anormal, deformación, fatiga, daño en chaveteros/estrías	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP - INPUT	RING GEAR (Corona) PN: 9P-3555	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, fisuras, desgaste anormal, deformación, fatiga, daño en chaveteros/estrías	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP - OUTPUT	SUN (Solar) PN: 110-2662	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, fisuras, desgaste anormal, deformación, fatiga, daño en chaveteros/estrías	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP - OUTPUT	PLANET GEARS (x4) PN: 9W-9134	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, fisuras, desgaste anormal, deformación, fatiga, daño en chaveteros/estrías	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP - OUTPUT	CARRIER (Portador) PN: 9W-9136	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, fisuras, desgaste anormal, deformación, fatiga, daño en chaveteros/estrías	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP - OUTPUT	RING GEAR (Corona) PN: 9W-9137	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, fisuras, desgaste anormal, deformación, fatiga, daño en chaveteros/estrías	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE - SHAFT	SHAFT / SPINDLE PN: 338-5722	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, fisuras, desgaste anormal, deformación, fatiga, daño en chaveteros/estrías	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE - HUB	HUB - SPROCKET PN: 282-4028	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, fisuras, desgaste anormal, deformación, fatiga, daño en chaveteros/estrías	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE - SEALS	DUO-CONE SEAL GP PN: 6Y-0857	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	Ninguna
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE - RETAINERS	THRUST RING / RETAINER PN: 7M-8481	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, fisuras, desgaste anormal, deformación, fatiga, daño en chaveteros/estrías	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	Todos	Todos	Pruebas	N/A	N/A	No aprobar parámetros de aceptación indicados por Caterpillar	Especificaciones Caterpillar / Matriz de Calidad	Según especificaciones Caterpillar y protocolo de banco

Figura H.3: Estrategia de Reparación y Stock Crítico - Mando Final D10T

Fuente: Elaboración Propia

Estrategia de Reparación y Stock Critico

Datos del componente		Control del documento	
Componente:	MANDO FINAL 980H	Revisión N°:	1
Vida útil esperada:	15000	Fecha emisión / Actualización:	dd-mm-aaaa

Sistema	Subsistema	Detalle del subsistema	Actividad	Tipo de Reemplazo (Cuando es dado de baja)	Frecuencia de Reparaciones (N° de veces)	Condición para Baja	Criterio para Condición de Baja	Prueba a Realizar
Final Drive Arrangement	Todos	Repuestos Varios (O-Rings: 9X-3977, 2K-8199, 5L-4759, 5J-1086, 6D-0692, 7M-8485)	Utilización solo de repuestos originales Caterpillar	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	N/A
Final Drive Arrangement	Todos	Sellos y retenes (SEAL GP-DUO-CONE PN: 3T-9117)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	Ninguna
Final Drive Arrangement	Todos	Rodamientos (Conos/Tazas PN: 2D-6511 / 2P-8353 / 5F-2465 / 7M-5334)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	Ninguna
Final Drive Arrangement	Todos	Superficies de desgaste (Bujes: 105-8743 / 8K-0079 y Arandelas: 109-9719 / 509-7741)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	Ninguna
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	CARRIER-PLANETARY (Portas) PN: 463-9184	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras, ovalización de alojamientos, desgaste de asientos	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; END; verificación dimensional
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	GEAR-SUN (Solar) PN: 249-7870	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, desgaste excesivo, fisuras en chavetero	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	GEAR-PLANETARY (Planetarios) PN: 159-8169	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, desgaste en flancos, juego excesivo de buje	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	GEAR-RING (Corona) PN: 110-4802	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras, desgaste de dientes, excentricidad	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	SHAFTS (Ejes Planetarios) PN: 460-1456	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Desgaste superficial, rayaduras, pérdida de tratamiento térmico	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE HOUSING	SPINDLE (Aspa) PN: 417-0990	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras, deformaciones, desgaste en asientos de rodamientos	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; END; verificación dimensional
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE HOUSING	WHEEL (Rueda) PN: 319-5239	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras estructurales, desgaste en pistas de rodadura	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; END (Ultrasonido/Partículas)
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE HOUSING	HUB GP (Maza/Tapa) PN: 110-0551	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras, deformación estructural, daños en brida	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; END
Final Drive Arrangement	Todos	Todos	Pruebas	N/A	N/A	No aprobar parámetros de aceptación indicados por Caterpillar	Especificaciones Caterpillar / Matriz de Calidad	Según especificaciones Caterpillar

Figura H.4: Estrategia de Reparación y Stock Crítico - Mando Final 980H

Fuente: Elaboración Propia

Estrategia de Reparación y Stock Crítico

Datos del componente		Control del documento	
Componente:	Mando Final 994F	Revisión N°:	1
Vida útil esperada:	18.000 Horas	Fecha emisión / Actualización:	DD-MM-AAAA

Sistema	Subsistema	Detalle del subsistema	Actividad	Tipo de Reemplazo (Cuando es dado de baja)	Frecuencia de Reparaciones (N° de veces)	Condición para Baja	Criterio para Condición de Baja	Prueba a Realizar
Final Drive Arrangement	Todos	Repuestos (Genuine Cat)	Utilización solo de repuestos originales Caterpillar	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	N/A
Final Drive Arrangement	Todos	Sellos y retenes (kit completo)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	Ninguna
Final Drive Arrangement	Todos	Rodamientos (kit por conjunto)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	Ninguna
Final Drive Arrangement	Todos	Superficies de desgaste (golillas, bujes)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	Ninguna
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	CARRIER-PLANETARY PN: 8R-5960 / 137-3506	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras, ovalización de alojamientos, desgaste de asientos	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; END; verificación dimensional
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	GEAR-SUN PN: 115-4877 / 115-4879	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, desgaste excesivo, fisuras en chavetero	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	GEAR-PLANETARY PN: 115-4878 / 115-4880	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, desgaste en flancos, juego excesivo de buje	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	GEAR-RING (Corona) PN: 197-2731 / 197-2732	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras, desgaste de dientes, excentricidad	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE HOUSING	SPINDLE PN: 137-8627	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras, deformaciones, desgaste en asientos de rodamientos	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; END; verificación dimensional
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE HOUSING	HUB-REACTION PN: 137-8628	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras, deformación estructural, desgaste en superficies críticas	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; END
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE BRAKE	DISC-FRICTION PN: 6Y-8813	Reemplazo	Siempre	Según desgaste	Espesor fuera de tolerancia, vitrificación, grietas	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Medición de espesor y planitud; prueba de presión en banco
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE SEALS	SEAL GP-DUO-CONE PN: 314-4130 / 453-5929	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	Pérdida de hermeticidad, daño de caras de sellado	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; prueba de fugas
Final Drive Arrangement	Todos	Todos	Pruebas	N/A	N/A	No aprobar parámetros de aceptación indicados por Caterpillar	Especificaciones Caterpillar / Matriz de Calidad	Según especificaciones Caterpillar

Figura H.5: Estrategia de Reparación y Stock Crítico - Mando Final 994F

Fuente: Elaboración Propia

Estrategia de Reparación y Stock Critico

Datos del componente		Control del documento	
Componente:	MANDO FINAL 994K	Revisión N°:	1
Vida útil esperada:	15000	Fecha emisión / Actualización:	dd-mm-aaaa

Sistema	Subsistema	Detalle del subsistema	Actividad	Tipo de Reemplazo (Cuando es dado de baja)	Frecuencia de Reparaciones (N° de veces)	Condición para Baja	Criterio para Condición de Baja	Prueba a Realizar
Final Drive Arrangement	Todos	Repuestos (Genuine Cat) y Sellos O-Ring (Kits)	Utilización solo de repuestos originales Caterpillar	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	N/A
Final Drive Arrangement	Todos	Sellos y retenes (SEAL GP-DUO-CONE PN: 433-1348)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	Ninguna
Final Drive Arrangement	Todos	Rodamientos (PN: 196-7795 / 201-7718 / 363-0638 / 439-9014 / 419-6361)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	Ninguna
Final Drive Arrangement	Todos	Superficies de desgaste (Bujes PN: 419-6358 / 419-6359)	Reemplazo	Siempre	0 (Cero)	A todo evento	A todo evento	Ninguna
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	CARRIER-PLANETARY PN: 419-6354 / 419-6355	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras, ovalización de alojamientos, desgaste de asientos	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; END; verificación dimensional
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	GEAR-SUN (Soles) PN: 417-1921 / 417-1923	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, desgaste excesivo, fisuras en chavetero	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	GEAR-PLANETARY (Planetarios) PN: 417-1922 / 417-1924	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Pitting, spalling, desgaste en flancos, juego excesivo de buje	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	GEAR-RING (Corona) PN: 417-1925	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras, desgaste de dientes, excentricidad	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología; END
Final Drive Arrangement	PLANETARY GP	SHAFTS (Ejes Planetarios) PN: 419-6356 / 419-6357	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Desgaste superficial, rayaduras, pérdida de tratamiento térmico	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; Metrología
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE HOUSING	SPINDLE (Aspa) PN: 419-6350	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras, deformaciones, desgaste en asientos de rodamientos	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; END; verificación dimensional
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE HOUSING	WHEEL GP (Rueda) PN: 419-6352	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras estructurales, desgaste en pistas de rodadura	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; END (Ultrasonido/Partículas)
Final Drive Arrangement	FINAL DRIVE HOUSING	HUB-REACTION (Maza) PN: 419-6353	Reutilización/Recuperación	No cumplimiento Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar	Sin límite	Fisuras, deformación estructural, desgaste en estriado (splines)	Guía de Reutilización y Salvataje Caterpillar / Documento Interno CRC aplicable	Inspección visual; END
Final Drive Arrangement	Todos	Todos	Pruebas	N/A	N/A	No aprobar parámetros de aceptación indicados por Caterpillar	Especificaciones Caterpillar / Matriz de Calidad	Según especificaciones Caterpillar

Figura H.6: Estrategia de Reparación y Stock Crítico - Mando Final 994K

Fuente: Elaboración Propia

I. Análisis de Capacidad - Proceso Actual Mandos Finales

Tabla I.1: Detalle de tiempos reales frente a tiempos estándar (SJ) - Proceso Actual

Equipo	Componente	Arm	Des	Pint	Pru	∑Real	Arm SJ	Des SJ	Pint SJ	Pru SJ	∑ SJ	ΔT
793F/D	MANDO FINAL		44,04	4,2		48,24	35,3	28	3	0	66,3	-18,06
994F	MANDO FINAL	100,66	53,25		16,03	169,94	28,7	33	3	0	64,7	105,24
994F	MANDO FINAL	106,79	40,49			147,28	28,7	33	3	0	64,7	82,58
994F	MANDO FINAL		28,94		9,07	38,01	28,7	33	3	0	64,7	-26,69
793F/D	MANDO FINAL	171	24,14			195,14	35,3	28	3	0	66,3	128,84
789C	MANDO FINAL	0	43,09			43,09	35,3	28	3	0	66,3	-23,21
793F/D	MANDO FINAL		92,65			92,65	35,3	28	3	0	66,3	26,35
D10T	MANDO FINAL		25,18			25,18	17	15	2	0	34	-8,82
D10T	MANDO FINAL		7,84			7,84	17	15	2	0	34	-26,16
980H	MANDO FINAL	8,85	17,87			26,72	17	15	2	0	34	-7,28
980H	MANDO FINAL	14,51	29,53			44,04	17	15	2	0	34	10,04
793F/D	MANDO FINAL	2,47	93,9			96,37	35,3	28	3	0	66,3	30,07
793F/D	MANDO FINAL	41,78	22,78			64,56	35,3	28	3	0	66,3	-1,74
793F/D	MANDO FINAL	38,12	41,16			79,28	35,3	28	3	0	66,3	12,98
994F	MANDO FINAL		64,48			64,48	28,7	33	3	0	64,7	-0,22
994F	MANDO FINAL		70,53			70,53	28,7	33	3	0	64,7	5,83
994F	MANDO FINAL		31,75	5,72	0	37,47	28,7	33	3	0	64,7	-27,23
994F	MANDO FINAL				2,2	2,2	28,7	33	3	0	64,7	-62,5
980H	MANDO FINAL	4,68				4,68	17	15	2	0	34	-29,32

Tabla I.2: Cálculos de varianza y sumatoria de residuos cuadrados - Proceso Actual

ΔTiempo	$(x_i - \mu)$	$(x_i - \mu)^2$	$\sum(x_i - \mu)^2$
-18,06	-27,04	731,39	42765,67
105,24	96,26	9265,18	42765,67
82,58	73,60	5416,34	42765,67
-26,69	-35,67	1272,65	42765,67
128,84	119,86	14365,41	42765,67
-23,21	-32,19	1036,47	42765,67
26,35	17,37	301,57	42765,67
-8,82	-17,80	316,99	42765,67
-26,16	-35,14	1235,12	42765,67
-7,28	-16,26	264,52	42765,67
10,04	1,06	1,11	42765,67
30,07	21,09	444,61	42765,67
-1,74	-10,72	115,01	42765,67
12,98	4,00	15,97	42765,67
-0,22	-9,20	84,72	42765,67
5,83	-3,15	9,95	42765,67
-27,23	-36,21	1311,47	42765,67
-62,50	-71,48	5109,99	42765,67
-29,32	-38,30	1467,21	42765,67

Tabla I.3: Cálculo de rangos móviles - Proceso Actual

ΔTiempo	**SubGrupos**	**MIN**	**MAX**	**Rmi**	**$\sum$Rm**
-18,06	Rm1	-18,06	105,24	123,30	888,4
105,24	Rm2	82,58	105,24	22,66	888,4
82,58	Rm3	-26,69	82,58	109,27	888,4
-26,69	Rm4	-26,69	128,84	155,53	888,4
128,84	Rm5	-23,21	128,84	152,05	888,4
-23,21	Rm6	-23,21	26,35	49,56	888,4
26,35	Rm7	-8,82	26,35	35,17	888,4
-8,82	Rm8	-26,16	-8,82	17,34	888,4
-26,16	Rm9	-26,16	-7,28	18,88	888,4
-7,28	Rm10	-7,28	10,04	17,32	888,4
10,04	Rm11	10,04	30,07	20,03	888,4
30,07	Rm12	-1,74	30,07	31,81	888,4
-1,74	Rm13	-1,74	12,98	14,72	888,4
12,98	Rm14	-0,22	12,98	13,20	888,4
-0,22	Rm15	-0,22	5,83	6,05	888,4
5,83	Rm16	-27,23	5,83	33,06	888,4
-27,23	Rm17	-62,50	-27,23	35,27	888,4
-62,50	Rm18	-62,50	-29,32	33,18	888,4
-29,32	Rm19	-29,32	-29,32	0,00	888,4

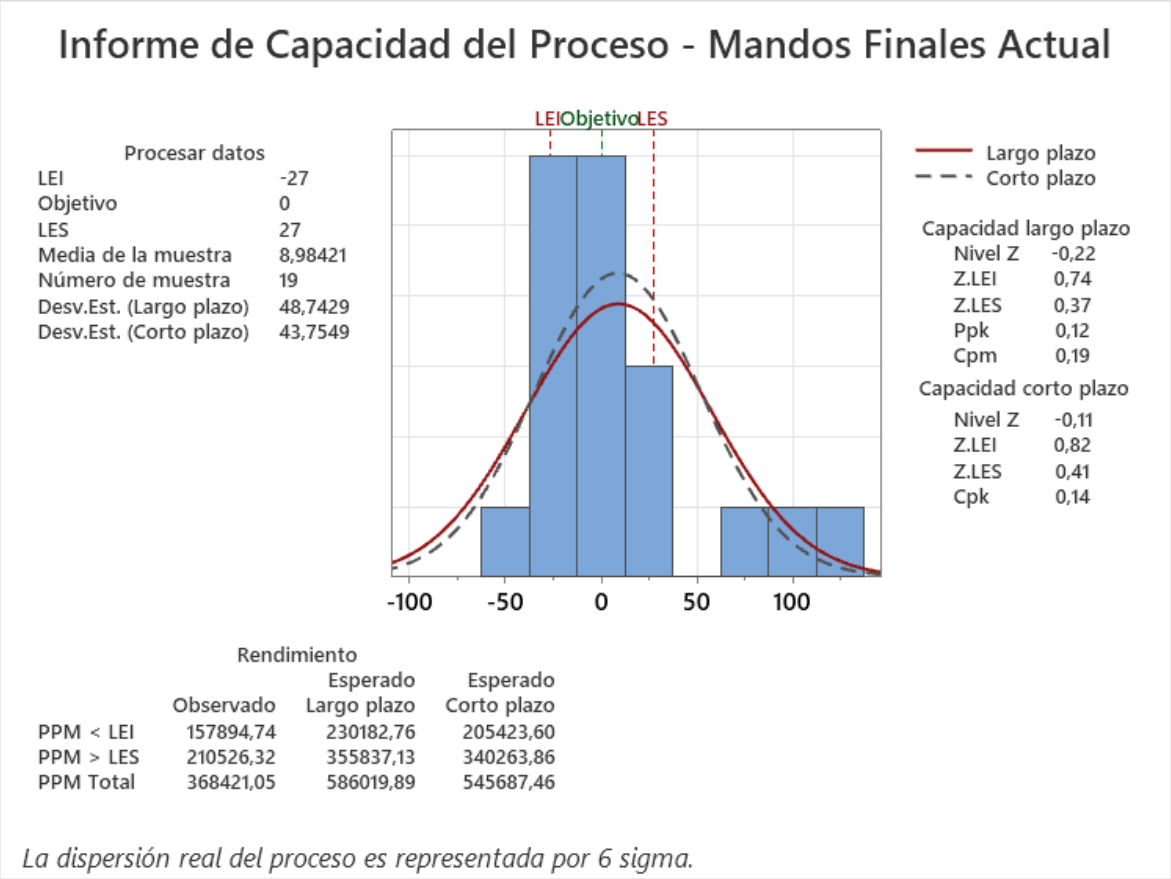

Figura I.1: Análisis de Capacidad de Proceso de Reparación de Diferenciales

Fuente: Elaboración Propia - MiniTab