

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**

Escuela de Posgrado



Plan de Mejora de Calidad en la Producción de Autopartes
para Cumplir con los Estándares OEM: Un Enfoque en
Transferencia de Tecnología y Gestión Automotriz

Tesis para obtener el grado académico de Maestra en Gerencia de la
Calidad y Sistemas de Gestión que presenta:

Elena Victoria Valiente Porras

Asesor:

José Carlos Flores

Lima, 2025


Informe de Similitud

Yo, José Carlos Flores Molina, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada Plan de Mejora de Calidad en la Producción de Autopartes para Cumplir con los Estándares OEM: Un Enfoque en Transferencia de Tecnología y Gestión Automotriz, de la autora Elena Victoria Valiente Porras, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 10%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 11/07/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte de Tesis, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

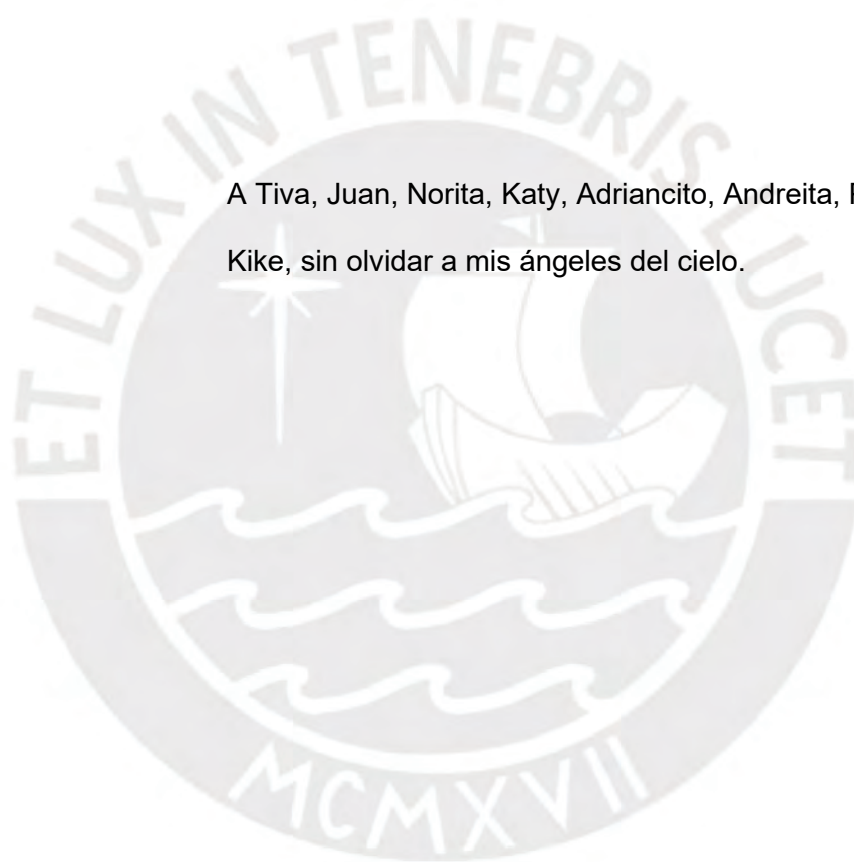
Lima, 11 de Julio de 2025.

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: <u>Flores Molina, José Carlos</u>	
DNI: 08272384	Firma: 
ORCID: 0000-0002-5113-2797	

DEDICATORIA

Para las flores presentes y ausentes de mi vida, que me han acompañado con amor, paciencia y alegría durante casi medio siglo.

A Tiva, Juan, Norita, Katy, Adriancito, Andreita, Poolcito y Kike, sin olvidar a mis ángeles del cielo.



RESUMEN

El Plan de Mejora propone optimizar la calidad en la fabricación de estructuras para juntas de estanqueidad compuestas, producto principal de una empresa peruana del sector autopartes que busca transitar del aftermarket hacia los exigentes estándares OEM e IATF 16949:2016, con miras a expandirse a mercados continentales y estadounidenses. El estudio presenta un enfoque cuantitativo y tiene como proceso de evaluación la fabricación de estructuras compuestas, etapa crucial donde se determinan los parámetros críticos de compresibilidad y recuperación, necesarios para la condición NO-RETORQUE. Siguiendo la metodología establecida se identificaron brechas tecnológicas, operativas y de gestión que comprometen la estabilidad productiva, generan alto scrap y afectan la competitividad global. La solución propuesta establece una ruta para cumplir con estándares automotrices avanzados mediante transferencia tecnológica desde un socio chino, modernizando infraestructura y mejorando desempeño operativo. Los resultados confirman que la integración de tecnologías avanzadas, mantenimiento predictivo y control estadístico contribuyen significativamente a estabilizar la producción y cumplir requisitos IATF 16949:2016, proporcionando un marco replicable para empresas del aftermarket.

Palabras Clave , Calidad en la manufactura, aftermarket, transferencia tecnológica, IATF 16949:2016, ,industria automotriz, eficiencia operativa, Overall Equipment Effectiveness (OEE), scrap, , Fabricantes de Equipo Original (OEM), juntas de estanqueidad compuestas, compresibilidad, recuperación, NO-RETORQUE, Planificación Avanzada de la Calidad del Producto (APQP), Índice de Capacidad del Proceso (ICP), Índice de Preparación Tecnológica (IPT), Proyección de Reducción de Scrap (PRS), Proceso de Aprobación de Partes para Producción (PPAP), American Society for Testing and Materials (ASTM), Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF), Tiempo Medio de Reparación (MTTR), Control Estadístico de Procesos (SPC), mantenimiento predictivo, análisis de regresión, Industria 4.0.

ABSTRACT

The Improvement Plan proposes optimizing the quality in the manufacturing of structures for composite gaskets, the main product of a Peruvian auto parts company seeking to transition from the aftermarket to the demanding OEM and IATF 16949:2016 standards, with a view to expanding into continental and US markets. The study presents a quantitative approach and focuses on the composite structure manufacturing process, a crucial stage where critical parameters of compressibility and recovery are determined, necessary for the NO-RETORQUE condition. Following the established methodology, technological, operational, and management gaps were identified that compromise production stability, generate high scrap rates, and affect global competitiveness. The proposed solution establishes a roadmap for meeting advanced automotive standards through technology transfer from a Chinese partner, modernizing infrastructure, and improving operational performance. Results confirm that the integration of advanced technologies, predictive maintenance, and statistical control significantly contribute to stabilizing production and meeting IATF 16949:2016 requirements, providing a replicable framework for aftermarket companies.

Keywords, Manufacturing quality, aftermarket, technology transfer, IATF 16949:2016, automotive industry, operational efficiency, Overall Equipment Effectiveness (OEE), scrap, Original Equipment Manufacturers (OEM), composite sealing gaskets, compressibility, recovery, NO-RETORQUE, Advanced Product Quality Planning (APQP), Process Capability Index (PCI), Technology Readiness Index (TRI), Scrap Reduction Projection (SRP), Production Part Approval Process (PPAP), American Society for Testing and Materials (ASTM), Mean Time Between Failures (MTBF), Mean Time To Repair (MTTR), Statistical Process Control (SPC), predictive maintenance, regression analysis, Industry 4.0.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCION	1
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Descripción de la Problemática	3
1.2. Formulación del Problema	5
1.2.1. Pregunta Principal:.....	5
1.2.2. Preguntas Secundarias:.....	5
1.3. Objetivos de la Investigación.....	6
1.3.1. Objetivo General:	6
1.3.2. Objetivos Específicos:.....	6
1.4. Justificación de la Investigación	9
1.4.1. Viabilidad del Estudio	10
1.4.2. Alcance, Delimitaciones del Estudio.....	11
1.4.3. Limitaciones del Estudio.....	13
1.4.3.1. Limitaciones Procedimentales.....	13
1.4.3.2. Limitaciones de Acceso a Información	14
1.4.3.3. Estrategias de Superación de Limitaciones.....	14
CAPÍTULO 2: Marco Contextual	15
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	15
2.1.1. Antecedentes Internacionales	15
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	16
2.2 Contexto de la Industria Automotriz.....	17
2.3 Caso de Estudio: Empresa Peruana Fabricante de Empaquetaduras	18
CAPÍTULO 3: Marco Teórico	19
3.1. Gestión Automotriz Avanzada	19
3.1.1. Fundamentos de la Gestión Automotriz Avanzada.....	20
3.1.2. Sostenibilidad e Innovación en la Industria Automotriz.....	20
3.1.4. Cultura de Calidad y Liderazgo Transformacional	21
3.2. Gestión de Calidad en la Industria Automotriz.....	22
3.3. Transferencia de Tecnología.....	25
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA.....	29
4.1 Enfoque y Diseño de la Investigación.....	29
4.1.1 Tipo y Enfoque de Investigación	29
4.2.1 Variables de Estudio	31
4.2.2. Operacionalización de Variables	33

4.2.3. Hipótesis de Investigación.....	35
4.3 Población, Muestra y Unidad de Análisis.	36
4.4 Técnicas e Instrumentos	37
4.4.1 Técnicas de Recolección de Datos Cuantitativos:.....	37
4.4.2 Instrumentos de Medición	38
4.4.3 Validez y Confiabilidad	39
4.5. Robustez y Validación del Enfoque Estadístico Aplicado	40
4.5.1. Uso de ANOVA y Validación Cruzada.....	41
Comparación con Alternativas No Paramétricas	41
4.5.2. Transformaciones y Validación de Supuestos.....	41
CAPÍTULO 5: DIAGNÓSTICO Y RESULTADOS	47
5.1. Consolidado de Datos Base para el Análisis Operativo y de Calidad	47
5.1.1. Resumen de Data de Producto no Conforme (Periodo enero -noviembre 2024).....	48
5.1.2. Determinación de los grupos 1 y 2 para los análisis.	51
Diferencia Operativa entre Grupos (Desviación Relativa)	53
Hallazgos Clave.....	53
5.1.3. Evaluación de Supuestos de Normalidad y Comparaciones Iniciales entre Meses ...	57
5.1.3.1. Prueba de Normalidad para las variables - Costo y Cantidad Total de Defectos	57
5.1.3.2. Prueba No Paramétrica Complementaria:.....	59
5.1.4. Análisis ANOVA de un Solo Factor: Evaluación de Costos	60
5.1.5. Interpretación del Análisis de Tukey (Costo y Cantidad de Defectos).....	64
5.1.6. Datos para la elaboración del Diagrama de Pareto por Defecto	66
5.1.7. Análisis de Regresión: Relación entre Cantidad Total de Defectos	67
5.1.8. Correlación de Pearson: Log_COSTO_DEFECTO vs. LOG_CANT_DEFECTO	71
5.1.10. Análisis Cuantitativo de la Rotación Operativa	74
5.1.11. Análisis Estadísticos y su Impacto en la Evaluación del IPT.....	78
5.1.11.1. Prueba de Normalidad y Transformación Logarítmica.....	80
5.1.11.2. Análisis de Capacidad del Proceso	81
5.2.1. Cálculo del Índice de Capacidad del Proceso (ICP)	89
5.2.2. Interpretación Técnica y Relevancia para IATF 16949:2016	90
5.2.3. Brechas Operativas y Técnicas Identificadas	91
5.2.4. Escalera de Mejora del ICP.....	91
5.3. Evaluación del Potencial de Transferencia Tecnológica (IPT).....	93
5.3.1 Marco conceptual del IPT.....	93
5.3.2 Análisis estadístico de componentes del IPT	94
5.3.2.1 Disponibilidad de Infraestructura (DI = 41.67%)	94
5.3.3. Confiabilidad y Estabilidad Operativa (CE = 9.02%).....	96
5.3.4. Reducción Proyectada de Scrap (RP = 40%).....	97

5.3.5. Cálculo del Índice de Preparación Tecnológica	98
5.3.6. Interpretación del IPT y su Relación con OEE.....	100
5.3.7 Análisis estadístico avanzado de factores determinantes del IPT	101
5.4.5.1. Impacto detallado en cada componente del OEE.....	114
5.4.5.2. Cálculo del OEE proyectado	114
5.4.5.3. Comparativa con estándares automotrices	115
5.4.5.4. Evolución temporal proyectada del OEE	115
5.4.5.5. Propuesta metodológica para la validación futura del modelo proyectivo	116
5.5 Validación Empírica del Plan de Mejora mediante Simulación Digital.....	117
5.5.1. Justificación del Enfoque de Simulación Digital y Método Monte Carlo	117
5.6. Integración de Resultados y Análisis de Cumplimiento de Objetivos.....	120
CAPÍTULO 6: PLAN INTEGRAL DE MEJORA DE CALIDAD	123
6.1. Presentación del Plan de Mejora.....	123
6.2. Objetivo General del Plan	123
6.3. Alcance del Plan	123
6.4. Estrategia General	124
6.5. Plan de Acciones Detallado por Fase.....	124
6.5.1. Fase 1: Estabilización Operativa (0-12 meses)	124
6.5.1.1. Acciones para mitigar Defectos Tipo B.....	124
6.5.1.2. Acciones para mitigar Defectos Tipo D (procedimientos no estandarizados).....	125
6.5.2. Fase 2: Optimización y Modernización (12-24 meses)	126
6.5.2.1. Acciones para mitigar Defectos Tipo B (relacionados con maquinaria)	126
6.5.2.2. Acciones para mitigar Defectos Tipo D (procedimientos no estandarizados).....	127
6.5.3. Fase 3: Transferencia Tecnológica (24-36 meses).....	127
6.5.3.1. Acciones para mitigar Defectos Tipo B (relacionados con maquinaria)	127
6.5.3.2. Acciones para mitigar Defectos Tipo D (procedimientos no estandarizados).....	128
CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	141
7.1. Conclusiones	142
7.1.1. Conclusiones por Objetivo	142
7.1.2. Validación de la Hipótesis	146
7.1.6. Contribuciones al Conocimiento.....	150
7.2. Recomendaciones	152
7.2.1. Recomendaciones Técnicas para la Implementación del Plan de Mejora	152
7.2.2. Recomendaciones Estratégicas y de Política Empresarial	154
7.2.4. Recomendaciones Derivadas de las Contribuciones al Conocimiento	155
7.2.5. Líneas de Investigación Futuras Prioritarias.....	157
Referencias bibliográficas	159

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	7
Tabla 2	8
Tabla 3	10
Tabla 4	11
Tabla 5	12
Tabla 6	13
Tabla 7	34
Tabla 8	37
Tabla 9	37
Tabla 10	38
Tabla 11	41
Tabla 12	45
Tabla 13	47
Tabla 14	49
Tabla 15	51
Tabla 16	52
Tabla 17	53
Tabla 18	55
Tabla 19	55
Tabla 20	55
Tabla 21	56
Tabla 22	56
Tabla 23	56
Tabla 24	58
Tabla 25	58
Tabla 26	59
Tabla 27	59
Tabla 28	60
Tabla 29	61
Tabla 30	61
Tabla 31	62
Tabla 32	62
Tabla 33	63
Tabla 34	65
Tabla 35	65
Tabla 36	66
Tabla 37	69
Tabla 38	69
Tabla 39	69
Tabla 40	69
Tabla 41	70
Tabla 42	73
Tabla 43	73
Tabla 44	74
Tabla 45	75
Tabla 46	78
Tabla 47	79
Tabla 48	80

Tabla 49.....	82
Tabla 50.....	83
Tabla 51.....	83
Tabla 52.....	83
Tabla 53.....	84
Tabla 54.....	85
Tabla 55.....	85
Tabla 56.....	86
Tabla 57.....	86
Tabla 58.....	87
Tabla 59.....	87
Tabla 60.....	90
Tabla 61.....	90
Tabla 62.....	92
Tabla 63.....	94
Tabla 64.....	95
Tabla 65.....	95
Tabla 66.....	98
Tabla 67.....	99
Tabla 68.....	100
Tabla 69.....	101
Tabla 70.....	102
Tabla 71.....	106
Tabla 72.....	110
Tabla 73.....	110
Tabla 74.....	111
Tabla 75.....	112
Tabla 76.....	113
Tabla 77.....	115
Tabla 78.....	116
Tabla 79.....	118
Tabla 80.....	119
Tabla 81.....	121
Tabla 82.....	124
Tabla 83.....	126
Tabla 84.....	127
Tabla 85.....	128
Tabla 86.....	129
Tabla 87.....	129
Tabla 88.....	130
Tabla 89.....	131
Tabla 90.....	132
Tabla 91.....	133
Tabla 92.....	135
Tabla 93.....	135
Tabla 94.....	137
Tabla 95.....	137
Tabla 96.....	138
Tabla 97.....	139

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	4
Figura 2.....	49
Figura 3.....	57
Figura 4.....	58
Figura 5.....	62
Figura 6.....	63
Figura 7.....	66
Figura 8.....	70
Figura 9.....	71
Figura 10.....	76



INTRODUCCION

La industria manufacturera del sector automotriz global experimenta constante transformación debido a la necesidad de cumplir con estándares más exigentes de calidad, eficiencia y sostenibilidad. En este contexto, la alineación con la normativa IATF 16949:2016 resulta fundamental para los fabricantes de autopartes del aftermarket que aspiran a convertirse en proveedores de Fabricantes de Equipo Original (OEM). Sin embargo, en mercados emergentes como el peruano, la adopción de estos estándares es limitada, restringiendo la competitividad frente a países con normativas y gestión avanzada.

Las cifras revelan una realidad desafiante ya que Asia y Europa acaparan casi el 90% de las certificaciones IATF 16949 en el sector automotriz, Sudamérica se queda atrás con apenas un 1.45% (International Automotive Task Force, 2025). En el caso de Perú, la situación es aún más desalentadora ya que los datos muestran que nuestro país logró únicamente dos certificaciones ISO/TS 16949 entre 2009 y 2012, sin experimentar ningún crecimiento durante ese período (International Organization for Standardization, 2012). Esta falta de progreso demuestra que Perú no ha conseguido dar pasos significativos hacia la adopción de estándares internacionales de calidad automotriz.

Este rezago no es algo nuevo ya que el último estudio académico importante se remonta al 2014, cuando Yepes González et al. (2014) investigaron los obstáculos que frenaban la implementación de estos sistemas en la región andina. Esto confirma que no estamos ante un problema reciente, sino ante una brecha estructural que lleva años sin resolverse.

Por esta razón, nuestro estudio propone algo concreto: un modelo estructurado que pueda servir como guía práctica para futuras implementaciones. Utilizamos un enfoque basado en números y resultados medibles, trabajando con indicadores específicos como el Índice de Capacidad del Proceso (ICP), el Índice de Preparación Tecnológica (IPT), la Proyección de Reducción de Scrap (PRS) y la Eficiencia Global del Proceso (OEE).

Nuestro objetivo es que esta investigación se convierta en un aporte real para toda la gestión de calidad automotriz en la región. Buscamos crear una metodología que otras empresas puedan replicar fácilmente, no solo aquí, sino también en Colombia, Ecuador, Chile y Bolivia. La idea es construir un modelo de referencia sólido que finalmente permita a la industria latinoamericana de autopartes competir de igual a igual en el mercado global soportándose de socios estratégicos como China.



CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Problemática

La industria automotriz experimenta una transformación constante en sus exigencias de calidad y eficiencia, impulsada por estándares globales como la norma IATF 16949:2016, que establece los requisitos necesarios para la gestión de calidad en la fabricación de autopartes, especialmente para proveedores de la industria automotriz. Para los proveedores en mercados emergentes, la certificación IATF 16949:2016 constituye un requisito fundamental para acceder a ser parte de los Fabricantes de Equipos Originales (OEM) y mejorar su posicionamiento en el mercado de equipo original.

Los números demuestran que en el mundo se registran 100,901 certificaciones IATF 16949:2016 hasta mayo de 2025, Perú simplemente no existe en estas estadísticas (IATF, 2025). China domina con 58,775 sitios certificados y hasta Brasil nos supera con 1,202 certificaciones.

Esta ausencia no es casualidad. Perú tuvo entre los años 60 y 70 ensambladoras que producían para más de 13 marcas como Ford, Chrysler y Volkswagen, introduciendo en el mercado hasta 36,000 vehículos en 1976 (Milla, 2025). Pero todo se desplomó en la década de 1990 con las reformas políticas que eliminaron aranceles sin restricciones. El golpe final llegó en 1992 cuando cerraron General Motors, Toyota y Nissan (Milla, 2025).

En este escenario, una empresa peruana que fabricaba empaquetaduras para el mercado OEM hasta los años 90 experimento una transformación forzosa. Cuando cerraron las plantas ensambladoras, tuvo que reinventarse y dirigir toda su producción hacia el aftermarket, convirtiéndose en la única compañía nacional capaz de producir juntas de culata para todo tipo de motores y que se exportan un 95% de su producción.

Hoy, las juntas compuestas representan el 80% de su facturación, pero aquí radica su mayor desafío. La etapa inicial del proceso de fabricación presenta serias complicaciones técnicas, ya que es precisamente ahí donde se definen los parámetros críticos que garantizan el efecto NO-RETORQUE del producto final. Cuando esta fase falla, toda la empaquetadura pierde su funcionalidad.

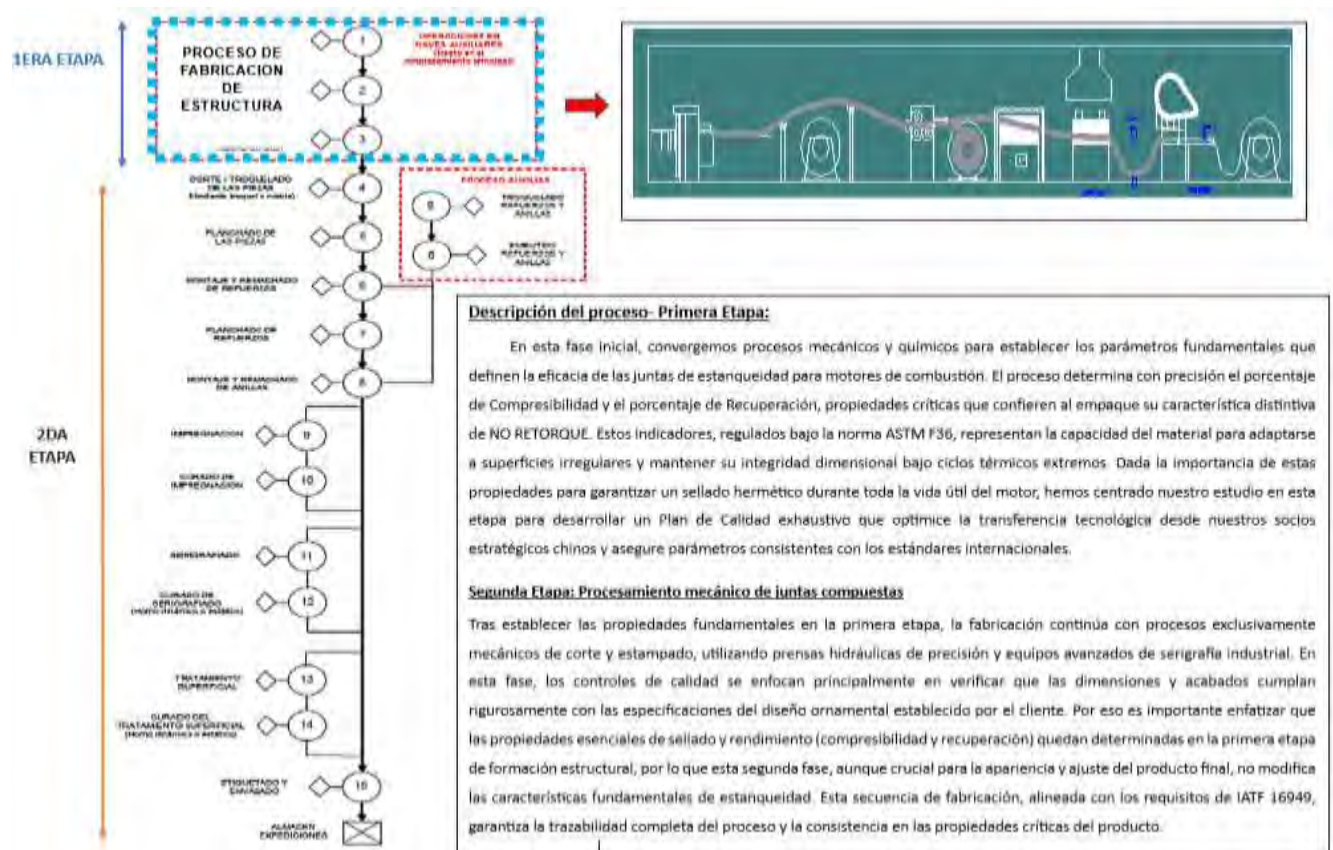
Los problemas de calidad que enfrenta la empresa tienen bases profundas. A continuación, se presentan las 6 causas principales que están afectando la producción, mientras que la Figura 1 muestra el flujo completo del proceso de manufactura:

- 4.75% de la producción no cumple estándares (superando el límite interno del 3%)
- Índice de capacidad (Cpk) de **-0.25**, indicando variabilidad extrema
- Solo 15% de maquinaria modernizada, con equipos de **14 años** de antigüedad promedio
- Paradas no programadas con **6.3 horas** promedio de reparación
- Apenas 20% de procesos debidamente estructurados
- OEE de solo **51.93%**

Este estudio propone un Plan Integral de Mejora de Calidad basado en transferencia tecnológica desde un socio estratégico chino. La estrategia combina modernización de equipos, mejores prácticas de gestión y alineación con estándares internacionales para reducir defectos, incrementar eficiencia y lograr la certificación IATF 16949:2016.

Figura 1.

Diagrama de flujo general del proceso de fabricación de juntas de estanqueidad



Nota. Fuente adaptada de: *García Pérez, M. (2017). Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable, generadas en su proceso de nervado por medio del método de elemento finito [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional].*

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Pregunta Principal:

¿Qué elementos y enfoques estratégicos debe incluir un plan integral de mejora de calidad, basado en transferencia tecnológica y gestión automotriz avanzada, para que una empresa peruana fabricante de empaquetaduras automotrices optimice el proceso de fabricación de **juntas de estanqueidad compuestas** (que representan el **80% de su facturación**), reduzca las brechas con los estándares OEM, alcance el cumplimiento de la norma IATF 16949:2016 y mejore su competitividad en el mercado global de autopartes?

1.2.2. Preguntas Secundarias:

1. ¿Cuáles son las brechas críticas en capacidad del proceso, conformidad técnica y cumplimiento de especificaciones que impiden a la empresa alcanzar los estándares OEM en la fabricación de **juntas de estanqueidad compuestas**, y cómo se pueden identificar y cuantificar estas brechas mediante el Índice de Capacidad del Proceso (ICP) utilizando la norma IATF 16949:2016 como referencia?

2. ¿Cómo se puede evaluar el potencial de transferencia tecnológica de la empresa para absorber e integrar tecnologías avanzadas en la fabricación de **juntas de estanqueidad compuestas**, considerando la disponibilidad de infraestructura, la confiabilidad operativa y la reducción proyectada de desperdicios mediante el Índice de Preparación Tecnológica (IPT)?

3. ¿Cuál es el impacto operativo y económico proyectado del plan de mejora integral en la fabricación de **juntas de estanqueidad compuestas**, y cómo puede evaluarse este impacto en términos de reducción de scrap (PRS), eficiencia global de equipos (OEE) y optimización de costos operativos?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General:

Formular un Plan Integral de Mejora de la Calidad, basado en transferencia tecnológica y gestión automotriz avanzada desde un socio estratégico chino, para una empresa peruana fabricante de empaquetaduras automotrices, centrándose en la línea productiva de las juntas de estanqueidad compuestas, que representan el 80% de la facturación de la empresa. Este plan estará listo para su implementación futura, permitiendo a la empresa cumplir con los estándares OEM, mejorar su competitividad en el mercado global de autopartes y contribuir al crecimiento de la industria automotriz en Perú.

1.3.2. Objetivos Específicos:

Objetivo 1: Diagnóstico de Brechas

Identificar y analizar las brechas tecnológicas, operativas y de gestión entre la

empresa y los estándares OEM en el proceso de fabricación de juntas compuestas, utilizando como marco de referencia la norma IATF 16949:2016.

Métricas:

a. Índice de Capacidad del Proceso (ICP)

Tipo: Cuantitativa

Con esta métrica se medirá la aptitud de los sistemas productivos operativos para satisfacer los estándares OEM y las especificaciones IATF 16949:2016, proyectando el rendimiento esperado tras aplicar el plan de mejora.

Indicadores Evaluados:

- ✓ Conformidad de Procesos Productivos
- ✓ Cumplimiento de Especificaciones Técnicas

Tabla 1

Interpretación de Índice de Capacidad de Proceso ICP

ICP > 85%	ICP = 70% - 85%	CP < 70%
Capacidad Alta	Capacidad Moderada	Capacidad Baja

Objetivo 2: Potencial de Transferencia Tecnológica

Diseñar un programa de transferencia tecnológica desde el socio estratégico chino para fortalecer los procesos y competencias de la empresa en la fabricación de **juntas compuestas**, asegurando la integración efectiva de nuevas tecnologías y metodologías de gestión enfocadas a mejorar los estándares de calidad y competitividad, conforme a las especificaciones de IATF 16949:2016.

Métricas:

a. Índice de Preparación Tecnológica (IPT)

Tipo: Cuantitativa

Con esta métrica se evalúa la **capacidad de la infraestructura tecnológica y de los procesos productivos** para **absorber e integrar tecnologías avanzadas** sin comprometer la estabilidad operativa ni la conformidad con estándares OEM e IATF 16949:2016.

Indicadores Evaluados:

- ✓ Disponibilidad de Infraestructura Tecnológica: Evaluación de la antigüedad y estado de la maquinaria, criticidad operativa y nivel de cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo.
- ✓ Confiabilidad y Estabilidad Operativa: Análisis del Índice de Capacidad del Proceso (Cp, Cpk) antes y después de la transferencia tecnológica, asegurando mejoras en estabilidad y variabilidad.
- ✓ Reducción Proyectada en Desperdicios (Scrap): Estimación del impacto de la modernización tecnológica en la reducción de defectos, desperdicios y reprocesos en la producción.

Tabla 2.

Interpretación del Índice de Preparación Tecnológica IPT

IPT > 85%	IPT = 70% - 85%	IPT < 70%
Preparación Óptima (Infraestructura y procesos listos para recibir e integrar la transferencia tecnológica sin riesgos operativos).	Preparación Moderada (Se requieren mejoras en mantenimiento, estabilización de procesos y reducción de variabilidad antes de la transferencia).	Preparación Deficiente (Altos riesgos operativos, baja confiabilidad del proceso y necesidad de intervención estructural antes de la transferencia tecnológica).

Objetivo 3: Proyección de Impacto Operativo

Estimar el impacto económico y operativo potencial del plan de mejora de calidad en la fabricación de juntas compuestas, analizando su relación con la transferencia tecnológica, la reducción del scrap, la optimización de los costos operativos y la mejora en la eficiencia global del proceso.

Métricas:

- a. Proyección de Reducción de Scrap (PRS)
- b. Evaluación Financiera del Impacto del Scrap
- c. Eficiencia Global del Proceso (OEE)

Indicadores Evaluados:

- ✓ Tasa de Scrap Actual y Reducción Proyectada en Desperdicios (PRS)
- ✓ Costo Asociado al Scrap y Ahorro Estimado
- ✓ Disponibilidad, Rendimiento y Calidad del Proceso (OEE)

Este enfoque permite proyectar los beneficios operativos y económicos derivados de la implementación del plan de mejora, asegurando un impacto positivo en la estabilidad del proceso, la optimización del uso de recursos y la **competitividad global** de la empresa en la industria de autopartes.

1.4. Justificación de la Investigación

Esta investigación es crucial porque **analiza y propone** soluciones a una problemática nacional crítica: Perú no aparece en el registro mundial de certificaciones IATF 16949:2016, (International Automotive Task Force, 2025). Esta ausencia sistemática requiere ser **estudiada, comprendida y abordada** mediante propuestas estructuradas que permitan a las empresas peruanas acceder al mercado OEM.

A pesar que existen otras investigaciones académicas relacionadas a normativa IATF 16949:2016 y mejora de la calidad, no se han encontrado estudios que aborden planes **de mejora específicos** con las mismas variables planteadas que combinan transferencia tecnológica y gestión automotriz adaptados al contexto peruano. Es decir, no se ha creado una hoja de ruta práctica para empresas como las nuestras con recursos limitados, tecnologías desactualizadas y con realidades sociales, políticas y gubernamentales similares.

El estudio **propone un Plan de Mejora de Calidad** basado en transferencia tecnológica y gestión automotriz avanzada, estableciendo una metodología replicable para cerrar brechas operativas y tecnológicas en donde **los beneficiarios directos son:**

- **Empresas de autopartes peruanas y con mercado similar:** Dispondrán de un **plan estructurado** para orientar inversiones hacia certificación IATF 16949:2016
- **El sector manufacturero nacional:** Contará con una **metodología probada** para mejorar competitividad internacional
- **Investigadores:** Tendrá **evidencia empírica** sobre la efectividad de planes de mejora en contextos de recursos limitados
- **Formuladores de políticas:** Conocerán **propuestas concretas** para incentivar la modernización industrial

Los aspectos técnicos específicos del diseño metodológico, incluyendo la justificación del enfoque cuantitativo, selección de técnicas estadísticas y validación de instrumentos, se desarrollan en detalle en el Capítulo 4.

1.4.1. Viabilidad del Estudio

Este estudio es viable en términos de acceso a datos, disponibilidad de información y respecto a la privacidad de los participantes para esto la empresa evaluada ha proporcionado información relevante, permitiendo la realización de un diagnóstico basado en evidencia cuantitativa.

Tabla 3

Establecimiento de criterios para la viabilidad del estudio

Criterio	Descripción	Justificación
Técnica	Acceso a la muestra y herramientas metodológicas	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso directo a empresa de autopartes • Dominio de herramientas para análisis estadístico • Acceso autorizado al sistema ERP Oracle • Personal de procesos productivos y de calidad disponibles para recolección
Temporal	Tiempo real para ejecutar la investigación	<ul style="list-style-type: none"> • Menos de 6 meses para el diagnóstico de brechas.
Ética	Respeto por privacidad y derechos de participantes	<ul style="list-style-type: none"> • Consentimiento informado a los responsables de áreas • Propósito académico claramente explicado

- **Datos agregados** sin información personal
- **Confidencialidad** de colaboradores garantizada
- **Participación voluntaria** sin intervenir operaciones

1.4.2. Alcance, Delimitaciones del Estudio

El presente estudio se desarrolla **bajo un enfoque explicativo** y proyectivo de carácter cuantitativo, centrado en el diseño de un plan de mejora de calidad para una empresa peruana del sector de autopartes. Su objetivo es proyectar escenarios de cumplimiento con los estándares OEM e IATF 16949:2016, identificando brechas críticas, evaluando el potencial de transferencia tecnológica y estimando el impacto operativo de las mejoras propuestas. A continuación, en las tablas 4 y 5, se detallan los alcances y delimitaciones que guían el desarrollo de la investigación.

Tabla 4

Matriz Integral del Estudio

Dimensión	Especificación	Descripción
ALCANCE TEMÁTICO	Área Principal	Sistemas de gestión de calidad automotriz IATF 16949:2016
	Campo Específico	Mejora de calidad en autopartes para transición aftermarket-OEM
	Variables Clave	Transferencia tecnológica, gestión automotriz, calidad de producción
ALCANCE ESPACIAL	Geográfico	Lima Metropolitana, Perú
	Sectorial	Empresa fabricante de empaquetaduras automotrices
	Poblacional	Empresas grandes (500 trabajadores) del sector autopartes
ALCANCE TEMPORAL	Período de Análisis	Datos operativos enero- Diciembre / 2024
ALCANCE METODOLÓGICO	Enfoque	Cuantitativo
	Técnicas	Análisis estadístico, sistemas ERP
	Instrumentos	Registros operativos emitidos del ERP-ORACLE

Tabla 5*Delimitaciones del Estudio*

Criterio	Se Incluye	Se Excluye
Sectorial	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricantes de autopartes • Mercado de reposición 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensambladoras OEM • Otros rubros manufactureros
Empresarial	<ul style="list-style-type: none"> • Empresas grandes (500 trabajadores) • Sector autopartes aftermarket • Capacidad de exportación (90%+) 	<ul style="list-style-type: none"> • Microempresas artesanales • Empresas medianas y pequeñas • Empresas solo mercado local
Normativo	<ul style="list-style-type: none"> • IATF 16949:2016 • Estándares OEM específicos • Requisitos aftermarket-OEM 	<ul style="list-style-type: none"> • ISO 9001 genérico • TS 16949 (versión anterior) • Otras certificaciones sectoriales
Geográfico	<ul style="list-style-type: none"> • Lima Metropolitana • Contexto peruano • Mercados emergentes similares 	<ul style="list-style-type: none"> • Empresas de provincia • Países desarrollados • Contextos industriales maduros
Temporal	<ul style="list-style-type: none"> • Datos enero-noviembre 2024 • Plan proyectado 36 meses 	<ul style="list-style-type: none"> • diciembre 2024 (actividades atípicas) • Períodos pre-2023 • Datos con crisis externas

Si bien la investigación no incorpora como variable principal el análisis cualitativo del entorno organizacional, se recolecto los datos de las evaluaciones de desempeño del periodo enero-noviembre del 2024 para identificar la disposición del personal ante procesos de mejora, esto porque es una de las preguntas que se realiza en dicha evaluación , con esta información que no se utilizó como variable analítica se contribuye a contextualizar la viabilidad del plan desde una perspectiva organizacional.

Los resultados reflejan un promedio general de disposición positiva del 63%— sugieren que la empresa presenta condiciones favorables para la implementación futura del plan de mejora. Este hallazgo fortalece la coherencia metodológica del estudio al validar que el entorno técnico y humano está razonablemente alineado con los objetivos estratégicos de la propuesta.

De acuerdo a la tabla 6 se evidencia que existe un entorno organizacional favorable para la futura implementación del plan propuesto.

Tabla 6

Resultados de la Encuesta de Disposición al Cambio por Grupo de Evaluados (noviembre 2024)

Grupo Colaboradores Evaluados	N.º de Personas	% de Disposición Positiva
Operarios	380	61%
Ingenieros	20	85%
Administrativos	80	47%
Personal de Ventas	40	52%
Gerencia	5	100%
Directivos	6	100%
Total, Evaluados	531	≈ 63% promedio general

Nota. Elaboración propia a partir de resultados de encuesta interna aplicada en noviembre de 2024.

1.4.3. Limitaciones del Estudio

El estudio enfrenta dos tipos de limitaciones:

1.4.3.1. Limitaciones Procedimentales

Durante el desarrollo de esta investigación se enfrentaron tres desafíos metodológicos principales. Primero, solo fue posible acceder a datos de 11 meses (enero-noviembre 2024), ya que diciembre presenta actividades atípicas en la empresa como cierre de actividades productivas por procesos de inventarios en producción y almacenes. Segundo, se trabajó con un caso único, lo que podría limitar la generalización de resultados. Tercero, algunos datos financieros permanecieron confidenciales por políticas empresariales.

Adicionalmente, los datos originales no seguían distribución normal, requiriendo transformación logarítmica para aplicar técnicas estadísticas apropiadas. También fue necesario desarrollar una metodología propia para calcular el Índice de Preparación

Tecnológica (IPT), pues no se encontraron precedentes directos para transferencia tecnológica China-Perú en el sector autopartes.

1.4.3.2. Limitaciones de Acceso a Información

La búsqueda bibliográfica reveló una escasez significativa de estudios que combinen transferencia tecnológica entre países emergentes y la norma IATF 16949:2016. En el contexto peruano, AGP Perú resultó ser el único caso documentado de certificación IATF, limitando las comparaciones locales. Además, la literatura existente se concentra principalmente en los países que figuran en el registro mundial de certificaciones IATF 16949:2016, (International Automotive Task Force, 2025).

1.4.3.3. Estrategias de Superación de Limitaciones

Para compensar el período de 11 meses, se validó con expertos de planta que diciembre no es representativo del comportamiento normal, fortaleciendo la validez de la muestra. Ante el caso único, se aplicó triangulación metodológica combinando datos del ERP Oracle, observación directa y simulación Monte Carlo con 1,000 iteraciones.

En el caso de las limitaciones bibliográficas se realizaron búsquedas exhaustivas en múltiples bases de datos y se amplió el marco temporal hasta 2024 para capturar tendencias emergentes. Cuando no se encontraron casos directos, se analizaron implementaciones similares en Brasil, México incluyendo la India.

En resumen, estas limitaciones, condujeron al desarrollo de metodologías más robustas. La ausencia de antecedentes directos posiciona esta investigación como una contribución original en transferencia tecnológica Sur-Sur para el sector autopartes. Las estrategias aplicadas aseguran que los resultados sean prácticamente aplicables.

CAPÍTULO 2: Marco Contextual

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

En las últimas décadas, el sector de autopartes dentro de la industria automotriz ha atravesado una transformación profunda, marcada por la digitalización de procesos, la automatización avanzada y la incorporación de tecnologías asociadas a la Industria 4.0. Este cambio no ha sido solo técnico, sino también estratégico: la capacidad de desarrollar tecnología internamente se ha convertido en un factor determinante de competitividad. Como señalan Chen et al. (2024), las empresas que apuestan por la innovación propia logran márgenes operativos superiores frente a aquellas que dependen exclusivamente de licencias externas.

La transición hacia un modelo productivo digital presenta retos significativos. Ferreira et al. (2024) destacan que uno de los principales desafíos es lograr una integración coherente entre los procesos operativos tradicionales y las nuevas herramientas digitales. A pesar del avance global, solo el 23% de las empresas ha logrado implementar tecnologías digitales de manera efectiva en sus operaciones, lo que evidencia una importante brecha entre la aspiración tecnológica y la realidad operativa.

En este contexto, la inversión en investigación y desarrollo (I+D) cobra un rol estratégico. Wong y Chen (2023) afirman que destinar más del 3% de los ingresos a I+D incrementa casi tres veces la probabilidad de que una empresa mantenga posiciones de liderazgo en su mercado. No se trata solo de innovar, sino de construir capacidades que aseguren sostenibilidad en un entorno altamente competitivo.

Al mismo tiempo, la presión por cumplir estándares internacionales como la norma IATF 16949:2016 se intensifica. Más que un requisito técnico, esta certificación se ha convertido en un pasaporte estratégico para participar en las cadenas de suministro de fabricantes de equipo original (OEM). Su alta concentración en regiones con ecosistemas

tecnológicos avanzados refuerza la importancia de establecer alianzas con socios ubicados en estos polos industriales. Esta dimensión será abordada con mayor profundidad en la sección metodológica, en la que se sustenta la elección del socio tecnológico más adecuado para la propuesta planteada.

Por último, los desafíos no se limitan a la adopción tecnológica o la calidad interna. Datos recientes muestran que el 10.23% de los incumplimientos globales en auditorías IATF se concentran en áreas críticas, afectando tanto a empresas certificadas como a aquellas que aspiran a integrarse como proveedor en cadenas OEM. Este dato subraya la necesidad de fortalecer los sistemas operativos y de calidad con un enfoque continuo y preventivo.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

En el contexto peruano, la industria de autopartes ha atravesado varios periodos de crecimiento y crisis. Desde su inicio en la década de 1960, bajo políticas de industrialización por reemplazos de productos importados, hasta las transformaciones económicas de los años noventa, el sector ha experimentado tanto expansión como retrocesos. Durante los años 80, la crisis económica resultó en la pérdida de capacidades tecnológicas y la desarticulación de cadenas de valor, lo que afectó gravemente la competitividad del sector. A pesar de estos desafíos, la industria ha mostrado resiliencia y se ha orientado hacia la exportación y la especialización en nichos específicos desde la apertura comercial.

Sin embargo, la brecha tecnológica y la baja adopción de normas internacionales siguen siendo problemas persistentes para las empresas peruanas. De acuerdo con el estudio publicado por la Sociedad Nacional de Industrias (2023), los recursos destinados a (I+D) del sector peruano es inferior al 0.1% de las ventas, muy por debajo del promedio regional, lo que limita las posibilidades para generar avances y adecuación a las exigencias del mercado global. Además, la baja adopción de normas internacionales, como la IATF

16949:2016, impide que muchas empresas que puedan formar parte de manera óptima a las cadenas de suministro globales, lo que representa una barrera crítica para su crecimiento.

El avance hacia la adopción de estándares internacionales, como el IATF 16949:2016, ha sido limitado en el contexto peruano. Sin embargo, algunos casos de éxito como **AGP eGlass** (2021) han logrado obtener esta certificación, lo que les ha permitido acceder a nuevas oportunidades en el mercado global, principalmente en el sector OEM (Original Equipment Manufacturer).

2.2 Contexto de la Industria Automotriz

2.2.1 Panorama Global de la Industria Automotriz

La industria automotriz global atraviesa una etapa de transformación profunda, impulsada por la convergencia de tecnologías emergentes asociadas a la Industria 4.0, como la automatización avanzada, el Internet de las Cosas (IoT) y los gemelos digitales. Estas herramientas han permitido a los fabricantes optimizar sus procesos, reducir los costos operativos y alcanzar niveles más altos de calidad. De acuerdo con el Ministerio de la Producción (Produce, 2024), la incorporación de tecnologías digitales ha mejorado la productividad de las plantas hasta en un 30%, fortaleciendo su capacidad de respuesta frente a los cambios del mercado.

El mercado mundial de empaquetaduras y sellos industriales alcanzó un valor de 60.77 mil millones de dólares en 2023, con una proyección de crecimiento anual compuesto del 4.4% hasta el 2030. El sector automotriz representa aproximadamente el 33.2% de esta demanda (Global Market Insights, 2024). No obstante, América Latina enfrenta barreras estructurales, como baja adopción de tecnologías avanzadas, escasa inversión en modernización y limitaciones para acceder a certificaciones internacionales. En Perú, se estima que menos del 5% de las empresas del rubro cuentan con certificaciones como ISO 9001:2015 o IATF 16949:2016 (SNI, 2023).

De acuerdo con lo anterior se restringe su capacidad para integrarse a cadenas de suministro globales. Frente a este escenario, la transferencia tecnológica se presenta como una estrategia esencial para cerrar brechas técnicas y elevar la competitividad.

2.3 Caso de Estudio: Empresa Peruana Fabricante de Empaquetaduras

La empresa analizada en este estudio cuenta con más de cuatro décadas de experiencia en la fabricación de empaquetaduras automotrices. Desde su fundación en 1975, ha evolucionado de ser un proveedor local a convertirse en un actor relevante en el mercado regional, con presencia en diversos países de América y Asia. Actualmente, exporta alrededor del 90% de su producción, respaldada por un compromiso sostenido con la calidad y la mejora continua.

Esta trayectoria ha sido posible gracias a su capacidad de adaptación y a su apuesta por la innovación. Sin embargo, en un entorno cada vez más regulado y competitivo, la empresa reconoce la necesidad de alinearse con estándares internacionales más exigentes, como la IATF 16949:2016, especialmente si desea fortalecer su posición frente a clientes OEM y expandirse en mercados más exigentes.

Actualmente la empresa de estudio cuenta con certificaciones relevantes como ISO 9001:2015 y el reconocimiento como Operador Económico Autorizado (OEA). A pesar de estos logros, aún enfrenta limitaciones en áreas clave como trazabilidad de procesos, estandarización operativa y automatización. Estos aspectos representan obstáculos significativos en su ruta hacia la certificación IATF 16949:2016.

Uno de los principales desafíos estratégicos para la organización es modernizar su infraestructura tecnológica y consolidar un sistema de gestión de calidad que responda plenamente a los estándares del sector automotriz global. Para lograrlo, se requiere avanzar en la automatización de las líneas de producción, optimizar los sistemas de trazabilidad digital y fortalecer una cultura organizacional centrada en la calidad como eje transversal.

CAPÍTULO 3: Marco Teórico

Los fundamentos teóricos de esta investigación permiten construir una base sólida para el diseño de un plan integral de mejora de calidad aplicado a procesos de manufactura de empaquetaduras automotrices. El marco teórico se estructura en tres ejes interconectados: la gestión automotriz avanzada, la gestión de calidad conforme con estándares internacionales como la IATF 16949:2016 y la transferencia tecnológica como mecanismo clave de cierre de brechas.

Este marco incorpora además elementos como el análisis del contexto industrial global y local, la complementariedad entre mercados como Perú y China, el impacto de la Industria 4.0 en la producción automotriz, el desarrollo de proveedores, la innovación continua y la sostenibilidad en el sector. Estos ejes se abordan desde una perspectiva estratégica que permite comprender los desafíos, oportunidades y condicionantes que enfrenta una empresa peruana del sector autopartes al momento de implementar estándares OEM y posicionarse en cadenas de suministro internacionales.

3.1. Gestión Automotriz Avanzada

La gestión automotriz avanzada constituye un modelo estratégico que responde a los desafíos actuales del sector, caracterizado por la transformación digital, la presión por eficiencia operativa, la demanda de calidad certificada y la sostenibilidad. Según El Affaki et al. (2024), este enfoque se basa en una integración sistémica de tecnología, procesos, talento humano y cultura organizacional, permitiendo a las empresas aumentar su capacidad de respuesta frente a los cambios del mercado global automotriz.

En mercados emergentes, Gachúz y Montes (2020) identifican como tendencias transformadoras la electrificación y autonomía vehicular, la digitalización de operaciones y la adopción de prácticas sostenibles, elementos que reconfiguran los modelos de producción y gestión empresarial. Para hacer frente a estas exigencias, las organizaciones requieren estructuras más flexibles, orientación estratégica al cliente y una cultura de mejora continua.

3.1.1. Fundamentos de la Gestión Automotriz Avanzada

El Affaki et al. (2024) proponen que la gestión automotriz avanzada se sustenta en tres pilares fundamentales:

- **Marco estratégico adaptativo:** orientado a la planificación dinámica de recursos, metas y capacidades, con un enfoque flexible que permite a las empresas responder rápidamente a exigencias del entorno competitivo. Juárez-Vite et al. (2022) demuestran que esta planificación mejora la alineación estratégica y operacional en un 27%.
- **Integración tecnológica:** que trasciende la automatización básica, incorporando sistemas ciberfísicos, análisis de datos y plataformas de control inteligente. Werkema (2020) sostiene que esta integración mejora la eficiencia energética en un 20% y reduce los errores operacionales hasta en 35%.
- **Cultura organizacional orientada a la innovación:** basada en liderazgo participativo, desarrollo de talento humano y gestión del cambio. Alves (2022) reporta que empresas con culturas innovadoras tienen 2.5 veces más probabilidades de éxito en procesos de transformación digital.

3.1.2. Sostenibilidad e Innovación en la Industria Automotriz

Werkema (2020) y El Affaki et al. (2024) coinciden en que sostenibilidad e innovación son dimensiones indisolubles de la gestión moderna. Las empresas que invierten en I+D (entre 4% y 6% de sus ingresos) logran eficiencia operativa, acceso a mercados verdes y fortalecimiento de imagen corporativa. Juárez-Vite et al. (2022) destacan que la digitalización permite optimizar hasta un 45% de los recursos y reducir el consumo energético en un 32%.

Alves (2022) añade tres pilares de sostenibilidad:

- Eficiencia energética (ahorro entre 15% y 25%)
- Economía circular (30% menos en costos de materiales)

- Producción limpia (tecnologías de reducción de residuos)

Wong y Chen (2023) encuentran una correlación significativa entre sostenibilidad y rentabilidad ($r=0.78$; $p<0.001$), evidenciando que la sostenibilidad es también una decisión estratégica rentable.

3.1.3. Framework Lean Six Sigma en la Gestión Automotriz

El modelo Lean Six Sigma ha evolucionado para convertirse en un eje articulador de la gestión operativa avanzada. Según Alves (2022), su implementación integral genera mejoras del 40% en eficiencia y una reducción del 35% en costos por no calidad. Este enfoque se fortalece al alinearse con objetivos estratégicos mediante tres dimensiones (El Affaki et al., 2024):

- Optimización de procesos
- Agilidad organizacional
- Enfoque en el cliente interno y externo

Las empresas que logran dicha alineación incrementan en un 28% su capacidad de respuesta al mercado, lo cual es esencial en contextos de alta competitividad global.

3.1.4. Cultura de Calidad y Liderazgo Transformacional

En la industria automotriz, el desarrollo de una cultura de calidad sostenida por liderazgo transformacional es un componente esencial para lograr mejoras sostenibles. Bozola et al. (2022) sostienen que las organizaciones que cultivan una cultura organizacional sólida orientada a la excelencia tienen hasta tres veces más probabilidades de éxito en sus proyectos de transformación tecnológica y mejora continua. Esta cultura no se limita a normas o procedimientos, sino que se estructura alrededor de cinco dimensiones fundamentales: visión estratégica, comunicación efectiva, participación activa del personal, mejora continua y gestión del conocimiento (El Affaki et al., 2024).

Gachúz y Montes (2020) refuerzan esta visión al demostrar que las empresas automotrices con una cultura sólida alcanzan mejoras cuantificables, incluyendo un aumento del 25% en productividad, una reducción del 40% en defectos, un incremento del 60% en innovación y una mejora del 35% en la retención de talento. Estos resultados reflejan cómo la cultura organizacional actúa como un catalizador del desempeño integral.

El liderazgo transformacional es clave en este contexto. El Affaki et al. (2024) identifican tres competencias críticas que distinguen a los líderes exitosos en entornos automotrices avanzados:

- **Visión estratégica y tecnológica**, que conecta innovación con excelencia operativa.
- **Gestión efectiva del cambio**, indispensable para integrar nuevas tecnologías en entornos complejos (Juárez-Vite et al., 2022).
- **Formación de talento especializado**, con impacto comprobado en el éxito tecnológico (Wong & Chen, 2023).

Este tipo de liderazgo no solo impulsa resultados tangibles, sino que crea un entorno favorable para la sostenibilidad del cambio. La integración entre liderazgo comprometido y cultura organizacional orientada a la calidad permite consolidar transformaciones duraderas, esenciales para competir en mercados globales exigentes como el automotriz.

3.2. Gestión de Calidad en la Industria Automotriz

La gestión de calidad en la industria automotriz constituye un sistema estructurado de aseguramiento y mejora continua orientado a garantizar la conformidad técnica de los productos y procesos con estándares internacionales, especialmente aquellos exigidos por los fabricantes de equipo original (OEM). En un entorno marcado por alta complejidad tecnológica, ciclos de vida más cortos y exigencias normativas crecientes, los sistemas de

calidad han evolucionado hacia modelos más dinámicos, predictivos y alineados con la estrategia empresarial (Bozola et al., 2023).

Según Asato-España et al. (2022), las empresas automotrices más competitivas han consolidado estructuras integradas que combinan control técnico riguroso, gestión por procesos y mecanismos de evaluación en tiempo real. Esto les ha permitido no solo mantener niveles consistentes de calidad, sino también reducir el impacto financiero de los defectos internos y externos. En particular, se reportan mejoras superiores al 45% en eficiencia operativa y disminuciones significativas en tasas de scrap y retrabajo tras implementar sistemas de gestión de calidad alineados con normas como IATF 16949:2016 (El Affaki et al., 2024).

3.2.1. IATF 16949:2016 como estándar crítico del sector automotriz

La norma IATF 16949:2016 es el estándar global más relevante para los sistemas de gestión de calidad en la industria automotriz. Su estructura técnica exige el cumplimiento no solo de los requisitos básicos de ISO 9001, sino también de condiciones específicas relacionadas con trazabilidad, prevención de defectos, gestión del cambio, auditorías de segunda parte, análisis de riesgos y desarrollo de proveedores.

Yılmaz y Acaroğlu (2024) afirman que la implementación de IATF 16949 ha permitido a las empresas reducir en más del 65% los defectos críticos en componentes sensibles, a la vez que fortalecen su capacidad de integración con cadenas OEM. Asimismo, se ha observado una mejora del 40% en los indicadores financieros relacionados con calidad, producto del enfoque preventivo y del control estadístico de procesos aplicados de forma sistemática (El Affaki et al., 2024).

León (2019), por su parte, advierte que muchas organizaciones logran la certificación formal sin consolidar verdaderamente sus sistemas internos de calidad, seguridad y medio ambiente, debido a estructuras débiles o a una cultura organizacional fragmentada. Por ello,

plantea que la madurez organizacional debe ir de la mano de la digitalización y del uso de indicadores cuantificables que permitan evaluar la efectividad de los sistemas implantados.

En este estudio, la norma IATF 16949:2016 no se aborda como un objetivo aislado, sino como parte integral del plan estratégico de mejora. Su adopción se articula con un enfoque técnico basado en la mejora operativa, la transferencia tecnológica y el uso de métricas específicas como el Índice de Capacidad del Proceso (ICP), la Proyección de Reducción de Scrap (PRS) y la Eficiencia Global del Proceso (OEE).

3.2.2. Control de calidad en empaquetaduras automotrices

Las empaquetaduras o juntas de sellado automotrices constituyen componentes críticos cuya calidad está directamente asociada a la seguridad, confiabilidad y eficiencia del motor. Debido a su naturaleza funcional, están sujetas a exigencias estrictas en tolerancias dimensionales, resistencia térmica, elasticidad y propiedades de compresión. Bozola et al. (2023) señalan que los errores en este tipo de componentes generan fallas catastróficas en sistemas de combustión, lo que ha llevado a desarrollar sistemas de control mucho más rigurosos que en otras partes de menor criticidad.

El Affaki et al. (2024) documentan que, en empresas líderes del sector, el control de calidad de empaquetaduras incluye tecnologías de visión artificial, sensores ópticos de alta resolución y sistemas automáticos de verificación dimensional 3D, con una reducción de variabilidad que supera el 60% en procesos que han adoptado estas herramientas.

En el marco de esta investigación, se considera que la precisión en la fabricación de empaquetaduras debe apoyarse en un control estadístico robusto, con validaciones empíricas como el uso de histogramas, estudios de capacidad (C_p , C_{pk}), análisis de varianza (ANOVA) y modelos de regresión predictiva, lo que permite traducir las exigencias normativas en acciones de mejora concretas.

3.2.3. Indicadores clave de calidad en el sector automotriz

La evolución de los sistemas de calidad ha permitido la adopción de indicadores compuestos que integran desempeño técnico, eficiencia operativa y estabilidad de procesos. Según El Affaki et al. (2024), las empresas que implementan marcos de medición predictiva logran mejoras sostenidas del 55% en sus indicadores clave y reducciones de hasta 30% en los costos derivados de la no calidad.

En este estudio se utilizan los siguientes indicadores como métricas principales para evaluar el impacto del plan de mejora:

- **Overall Equipment Effectiveness (OEE):** Mide la eficiencia global del equipo considerando disponibilidad, rendimiento y calidad. Su incremento es clave para garantizar un proceso estable y repetible.
- **Índice de Capacidad del Proceso (ICP):** Evalúa la capacidad del proceso para mantenerse dentro de los límites de especificación. Es un indicador clave de madurez operativa.
- **Proyección de Reducción de Scrap (PRS):** Permite anticipar el impacto de mejoras en la disminución de defectos y desperdicios. Estudios previos reportan reducciones del 35%-40% al aplicar estrategias Lean y control estadístico (Bozola et al., 2023).

Estos indicadores no solo permiten validar técnicamente el plan de mejora, sino que sirven como base para su posterior evaluación económica y su integración con metodologías de Industria 4.0, como se desarrollará en los siguientes capítulos.

3.3. Transferencia de Tecnología

La transferencia de tecnología en la industria automotriz representa un mecanismo estratégico para cerrar brechas de competitividad, particularmente en países en desarrollo

como el Perú. En este contexto, la capacidad de incorporar tecnologías avanzadas, junto con el conocimiento tácito asociado a su aplicación, permite a las empresas locales alinearse con los estándares exigidos por los fabricantes de equipo original (OEM), tales como la norma IATF 16949:2016.

En el caso de las empaquetaduras automotrices, esta transferencia tecnológica no solo abarca maquinaria y software, sino también metodologías de control de calidad, prácticas de manufactura avanzada, cultura organizacional y modelos de gestión basados en desempeño. Tal como señalan Loera y Garnica (2023), la implementación de un proceso estructurado de transferencia tecnológica puede reducir hasta en un 60% los plazos de adopción y en un 45% los obstáculos operativos, incrementando de forma significativa la probabilidad de éxito de estos procesos.

3.3.1. Factores Críticos en la Implementación

La efectividad de una transferencia tecnológica depende de tres factores críticos interrelacionados: la infraestructura tecnológica disponible, la madurez operativa de los procesos y la capacidad organizacional para asimilar el cambio. El Affaki et al. (2024) afirman que un diagnóstico tecnológico profundo al inicio del proceso permite optimizar la alineación entre las capacidades actuales y los requerimientos de la nueva tecnología, reduciendo fricciones y facilitando la integración.

Asimismo, León (2019) destaca la madurez organizacional como un elemento determinante para el éxito de la transferencia, entendida esta como la capacidad de la empresa para sostener y escalar las mejoras tecnológicas en el tiempo. Esta madurez se puede cuantificar mediante indicadores como el Índice de Capacidad del Proceso (ICP), la Proyección de Reducción de Scrap (PRS) y el Overall Equipment Effectiveness (OEE), los cuales reflejan la estabilidad de las operaciones y el potencial de mejora.

Las organizaciones que logran articular estos factores alcanzan mejoras sustantivas en productividad, eficiencia y cumplimiento normativo. El presente estudio adopta este enfoque integrador, estableciendo una metodología de transferencia tecnológica estructurada en fases, que responde tanto a la lógica técnica como a la madurez operativa de la empresa.

3.3.2. Gestión del Conocimiento y Desarrollo de Capacidades

La transferencia de tecnología no se limita al traspaso de activos físicos, sino que involucra un proceso complejo de aprendizaje organizacional. Según Gachúz y Montes (2024), la gestión del conocimiento es clave para asegurar que las capacidades adquiridas se conviertan en competencias sostenibles. Este enfoque requiere mecanismos formales de documentación, entrenamiento y retroalimentación continua, alineados con los objetivos estratégicos de la empresa.

En particular, la industria automotriz demanda perfiles técnicos altamente especializados y actualizados, capaces de operar bajo entornos normativos estrictos y con procesos intensivos en tecnología. El Affaki et al. (2024) sostienen que la inversión en formación y desarrollo del talento humano está directamente correlacionada con el éxito de las iniciativas tecnológicas, destacando que las empresas que implementan programas robustos de capacitación logran un retorno sobre la inversión hasta 65% superior al promedio del sector.

El presente estudio propone integrar un componente formativo en cada fase del plan de mejora, con métricas de cumplimiento que permitan monitorear el progreso en la adquisición de competencias. Esta estrategia busca garantizar que la transferencia tecnológica sea sostenible en el tiempo y que genere valor real para la organización.

3.3.3. Modelo de Transferencia Sur-Sur: China–Perú

Dado el contexto económico, técnico y geopolítico, el modelo de cooperación Sur-Sur entre China y Perú representa una alternativa viable y estratégica para la transferencia tecnológica en el sector de autopartes. Gachúz y Montes (2020) identifican que este enfoque presenta tasas de éxito 45% mayores que el modelo tradicional Norte-Sur, al considerar mejor los contextos locales, las similitudes estructurales entre países en desarrollo y la adaptabilidad cultural de los procesos.

China se posiciona como un socio estratégico ideal no solo por su liderazgo tecnológico en manufactura avanzada, sino también por su experiencia acumulada en procesos de certificación IATF 16949 y su capacidad para generar soluciones adaptadas a las necesidades de mercados emergentes. Esta compatibilidad técnica y cultural facilita una transferencia metódica, especialmente útil en industrias de alta precisión como la de empaquetaduras automotrices.

Este modelo contempla tres fases: una inicial centrada en el desarrollo básico de procesos para el mercado aftermarket; una etapa de transición con adopción de sistemas de gestión avanzados; y una fase de consolidación, que incluye la integración plena en cadenas OEM. Perú se encuentra actualmente en la primera fase, con una clara oportunidad de avanzar hacia la consolidación mediante una estrategia bien estructurada de transferencia tecnológica.

En la sección metodológica se desarrolla una matriz comparativa de selección del socio estratégico, donde se analizan variables como costo-beneficio, soporte post-transferencia, experiencia en OEMs y capacidad de adaptación al entorno peruano. Esta herramienta técnica sustenta la elección de China como socio clave para la ejecución del plan propuesto.

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

4.1 Enfoque y Diseño de la Investigación

4.1.1 Tipo y Enfoque de Investigación

Enfoque Cuantitativo: El estudio tiene un enfoque metodológico cuantitativo porque se alinea directamente con la naturaleza de los objetivos los cuales requerían la cuantificación y medición de las variables y está fundamentado en la recolección de datos, análisis y proyección de registros de control de procesos.

De acuerdo a lo que señala Hernández-Sampieri et al. (2018), donde establece que los alcances "no representan clases o tipos de investigación, ni son mutuamente excluyentes, sino que constituyen puntos entrelazados de un continuo de causalidad" y que "cualquier estudio puede incluir elementos de uno o más de ellos" (p. 106), la presente investigación se desarrolla en cuatro niveles metodológicos complementarios.

Exploratorio ➔ Descriptivo ➔ Correlacional ➔ Explicativo Longitudinal-No Experimental

Inicia con un **componente exploratorio** dado que examina un fenómeno poco estudiado: la transferencia tecnológica enfocada al sector de empaquetaduras automotrices bajo estándares IATF 16949:2016, donde la literatura existente y disponible es limitada por lo que se requiere desarrollar metodología propia como el Índice de Preparación Tecnológica (IPT). Posteriormente, incorpora un **componente descriptivo** para caracterizar cuantitativamente el estado actual del proceso productivo, identificando brechas específicas en indicadores de calidad (ICP = 9.02%), preparación tecnológica (IPT = 31.38%) y eficiencia operativa (OEE = 51.93%).

Posteriormente establece **correlaciones** mediante regresión múltiple para identificar relaciones estadísticamente significativas entre variables independientes (brechas

tecnológicas, capacidad del proceso, gestión avanzada) y la variable dependiente (cumplimiento de estándares OEM e IATF 16949:2016). El **nivel explicativo** constituye el enfoque principal, identificando y explicando las causas fundamentales del bajo rendimiento operativo mediante análisis de series temporales históricas. Se establecen relaciones causa-efecto cuantificables entre variables operativas (antigüedad de equipos, MTTR, procedimientos de calidad, capacitación técnica) y indicadores de desempeño, utilizando modelos estadísticos validados para explicar por qué ocurren los déficits actuales y bajo qué condiciones pueden optimizarse.

Diseño Longitudinal Retrospectivo-Proyectivo No Experimental: La investigación explica el comportamiento de los procesos productivos a través del tiempo mediante análisis estadístico avanzado, desarrollando modelos predictivos que proyectan el impacto potencial de mejoras específicas sin requerir manipulación experimental. Con base en estos hallazgos explicativos, se adopta un enfoque proyectivo-propositivo para diseñar el Plan Integral de Mejora de Calidad como respuesta estructurada a las causas identificadas, estableciendo la ruta metodológica para alcanzar el cumplimiento de estándares OEM e IATF 16949:2016 mediante evidencia empírica cuantificable.

Esta metodología que tiene una secuencia de alcances que permite generar conclusiones que fundamenten cada componente del plan de mejora propuesto.

4.2. Variables e Hipótesis

De acuerdo con el marco metodológico explicativo-proyectivo planteado, se identificó una variable dependiente principal y tres independientes estratégicas. La variable dependiente principal corresponde al "**Cumplimiento de estándares OEM e IATF 16949:2016**", al representar el resultado esperado que se proyecta mediante el análisis de mejora propuesto. Este cumplimiento se evalúa a través de una métrica unificada que integra indicadores cuantitativos de calidad, capacidad y eficiencia operativa, proyectando el nivel de alineación con los requisitos internacionales.

Las variables independientes se definieron en función de su influencia causal demostrable en el desempeño organizacional, establecidas mediante análisis estadístico de datos históricos:

- **Diagnóstico de Brechas Tecnológicas y Operativas (VI1)**, operacionalizada mediante el Índice de Preparación Tecnológica (IPT) que integra disponibilidad de infraestructura, confiabilidad operativa y recursos de personal.
- **Capacidad Actual del Proceso (VI2)**, medida directamente a través del Índice de Capacidad del Proceso (ICP) que combina indicadores de calidad, productividad y eficiencia.
- **Gestión Avanzada de Procesos (VI3)**, evaluada mediante el Índice de Gestión Avanzada de Procesos (IGAP) que considera auditorías de calidad, mantenimiento y estandarización.

Esta estructura responde a un enfoque **explicativo-proyectivo no experimental**, en el cual se establecen relaciones causales mediante análisis estadístico sin manipulación directa de variables, analizando comportamientos históricos para identificar factores determinantes y proyectar mejoras basadas en modelos predictivos validados.

4.2.1 Variables de Estudio

Variable Dependiente Principal (VD): Cumplimiento de estándares OEM y IATF 16949:2016

Indicadores de cumplimiento proyectado:

- Reducción de Producto No Conforme (meta: $\leq 3\%$)
- Mejora en capacidad del proceso (meta: $Cp/Cpk \geq 1.33$)
- Optimización de eficiencia operativa (meta: $OEE \geq 75\%$)
- Reducción de tasa de scrap (meta: $\leq 3.09\%$)

Operacionalización de la Variable Dependiente: El índice de cumplimiento proyectado se calcula como:

$$\text{ICO} = (0.4 \times \text{Mejora_ICP}) + (0.3 \times \text{Mejora_IPT}) + (0.3 \times \text{Mejora_IGAP})$$

Donde cada componente representa el porcentaje de mejora proyectado en relación al estado actual.

Variables Independientes (VI):

VI1: Diagnóstico de Brechas Tecnológicas y Operativas (Compuesta)

Indicadores:

- % de equipos con tecnología actualizada (actual: 15% → objetivo: $\geq 80\%$)
- Disponibilidad de infraestructura crítica (DI = 41.67%)
- Confiabilidad y estabilidad operativa (CE = 9.02%)
- Disponibilidad de recursos de personal (RP = 45%)

Operacionalización VI1: $\text{IPT} = (\text{DI} \times 0.4) + (\text{CE} \times 0.4) + (\text{RP} \times 0.2)$

Donde:

- $\text{DI} = (\% \text{ equipos actualizados} / 100) \times 100$
- $\text{CE} = ((10 - \text{MTTR_promedio}) / 10) \times 100$
- $\text{RP} = (\% \text{ personal capacitado} / 100) \times 100$

VI2: Capacidad Actual del Proceso (Cuantitativa directa)

Indicadores:

- Índice de Capacidad del Proceso Cp/Cpk (actual: -0.25)
- % de Producto No Conforme (actual: 4.75%)
- Overall Equipment Effectiveness OEE (actual: 51.93%)
- Tasa de scrap (actual: 4.75%)

Operacionalización VI2: $ICP = (0.4 \times (100 - \%PNC)) + (0.3 \times Cpk_normalizado) + (0.3 \times OEE)$

Donde:

- $Cpk_normalizado = ((Cpk_actual + 2) / 3) \times 100$
- %PNC = Porcentaje de Producto No Conforme actual
- OEE = Overall Equipment Effectiveness expresado en porcentaje

VI3: Gestión Avanzada de Procesos (Compuesta)

Indicadores:

- Puntaje de auditoría IATF 16949 (actual: 0/100 → meta: ≥80/100)
- MTTR - Tiempo Medio de Reparación (actual: 6.3 horas → meta: ≤3.8 horas)
- % de procesos estandarizados (actual: 20% → meta: ≥90%)
- Implementación de mejora continua (escala 1-5)

Operacionalización VI3: $IGAP = (0.4 \times Puntaje_auditoría_IATF) + (0.3 \times ((10 - MTTR)/10) \times 100) + (0.3 \times \%Procesos_estandarizados)$

4.2.2. Operacionalización de Variables

Se realizó la matriz de operacionalización de las variables del estudio justificando que son **índices compuestos calculados** mediante fórmulas matemáticas específicas, **NO**

variables latentes que requieran inferencia estadística. Cada variable se construye a partir de indicadores directamente observables y medibles, sin necesidad de análisis factorial confirmatorio ni modelamiento de ecuaciones estructurales (ver tabla 7).

Tabla 7

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	NATURALEZA	INDICADORES OBSERVABLES	OPERACIONALIZACIÓN	JUSTIFICACIÓN
	A		N	N
VD: Cumplimiento de Estándares OEM e IATF 16949:2016	Índice Compuesto Calculado	<ul style="list-style-type: none"> • % Producto No Conforme • Índice Cp/Cpk • OEE (%) • Tasa de scrap (%) 	$\text{ICO} = (0.4 \times \text{Mejora_ICP}) + (0.3 \times \text{Mejora_IPT}) + (0.3 \times \text{Mejora_IGAP})$	Es un resultado directo de cálculo, no una inferencia estadística.
VI1: Diagnóstico de Brechas Tecnológicas (IPT)	Índice Compuesto Calculado	<ul style="list-style-type: none"> • % equipos actualizados • MTTR (horas) • % personal capacitado • Disponibilidad infraestructura 	$\text{IPT} = (\text{DI} \times 0.4) + (\text{CE} \times 0.4) + (\text{RP} \times 0.2)$ <p>DI = % equipos actualizados CE = $((10 - \text{MTTR}) / 10) \times 100$ RP = % personal capacitado</p>	Se construye mediante ponderación de indicadores técnicos medibles. No requiere validación factorial ni inferencia de constructos.
VI2: Capacidad del Proceso (ICP)	Índice Compuesto Calculado	<ul style="list-style-type: none"> • Cp/Cpk (valores calculados) • % Producto No Conforme • OEE (%) • Tasa de scrap (%) 	$\text{ICP} = (0.4 \times (100 - \% \text{PNC})) + (0.3 \times \text{Cpk_norm}) + (0.3 \times \text{OEE})$ <p>Cpk norm = $((\text{Cpk} + 2) / 3) \times 100$</p>	Es una combinación matemática de indicadores y cada componente es directamente medible y calculable.
VI3: Gestión Avanzada de Procesos (IGAP)	Índice Compuesto Calculado	<ul style="list-style-type: none"> • Puntaje auditoría IATF • MTTR (horas) • % procesos estandarizados • Nivel mejora continua 	$\text{IGAP} = (0.4 \times \text{Puntaje_IATF}) + (0.3 \times ((10 - \text{MTTR}) / 10) \times 100) + (0.3 \times \% \text{Procesos_std})$	Se calcula directamente a partir de resultados de auditorías y métricas operativas observables. No es un constructo abstracto inferido.

Las variables utilizadas en esta investigación han sido diseñadas como índices operativos calculados, contruidos mediante fórmulas matemáticas basadas en indicadores técnicos directamente medibles, tales como %PNC, MTTR, OEE y Cp/Cpk. Esta aproximación permite un análisis cuantitativo riguroso y coherente con el enfoque explicativo-proyectivo y el diseño longitudinal adoptado. Al no tratarse de constructos latentes, estas variables no requieren validación psicométrica ni análisis factorial confirmatorio, sino únicamente consistencia estadística y trazabilidad operativa, lo que se ha cumplido mediante los datos extraídos del sistema ERP y validados estadísticamente en el Capítulo 5. Este planteamiento es consistente con la postura de Hair et al. (2019), quienes señalan que los índices formativos, basados en variables observadas, no requieren modelamiento estructural para su validación.

4.2.3. Hipótesis de Investigación

Considerando el enfoque explicativo-proyectivo no experimental, las hipótesis se formulan como relaciones causales identificables mediante análisis estadístico:

Hipótesis General (HG): El análisis integral de brechas tecnológicas, capacidad del proceso y gestión avanzada permitirá identificar y cuantificar las relaciones causales que proyectan mejoras significativas en el cumplimiento de estándares OEM e IATF 16949:2016.

Hipótesis Específicas:

H1: La evaluación del diagnóstico de brechas tecnológicas y operativas (IPT) permitirá establecer relaciones estadísticamente significativas que proyecten mejoras cuantificables en la preparación para transferencia tecnológica.

H2: El análisis de la capacidad actual del proceso (ICP) permitirá identificar factores determinantes que proyecten reducciones significativas en la tasa de scrap y mejoras en indicadores de calidad.

H3: La evaluación de la gestión avanzada de procesos (IGAP) permitirá modelar escenarios que proyecten mejoras sustanciales en el cumplimiento de auditorías IATF 16949:2016 y optimización del MTTR.

4.3 Población, Muestra y Unidad de Análisis

La población objeto de estudio está constituida por empresas del sector automotriz peruano que requieren implementar o mejorar su alineación con los estándares OEM e IATF 16949:2016. Este universo incluye tanto organizaciones que buscan ingresar a cadenas de suministro internacionales como aquellas que, contando con certificaciones previas, enfrentan barreras tecnológicas y operativas para alcanzar dichos estándares.

4.3.1. Empresa en estudio (Unidad de análisis – caso único):

La unidad de análisis corresponde a una empresa manufacturera peruana especializada en la producción de empaquetaduras automotrices, seleccionada intencionalmente como caso único. Esta organización presenta características clave para el desarrollo de la investigación: acceso completo a registros históricos confiables (enero–diciembre de 2024), representatividad sectorial, trazabilidad de datos en su sistema ERP Oracle, y necesidad documentada de cerrar brechas con estándares OEM. Este diseño de caso permite una aproximación profunda al fenómeno bajo estudio y facilita la aplicación de modelos explicativos proyectivos.

4.3.2. Muestreo (no probabilístico – tipo intencional)

El estudio emplea una estrategia de muestreo no probabilístico, específicamente intencional, dado que la selección de la unidad de análisis se basa en criterios predefinidos: disponibilidad de datos históricos verificables, autorización formal para uso de información interna, representatividad sectorial y alineamiento con los objetivos metodológicos. No se recurre a muestreo aleatorio debido al enfoque de caso único integral.

Esta estructura metodológica responde a los lineamientos propuestos por Hernández-Sampieri et al. (2018), quienes señalan que, en estudios explicativos de enfoque cuantitativo, especialmente con diseño no experimental y orientación proyectiva, la unidad de análisis

puede centrarse en un caso único intencionalmente seleccionado, siempre que permita una medición rigurosa y representativa del fenómeno estudiado. Asimismo, se justifica el uso de muestras no probabilísticas dirigidas cuando se prioriza la profundidad del análisis y la disponibilidad de datos relevantes por sobre la generalización estadística.

4.4 Técnicas e Instrumentos

4.4.1 Técnicas de Recolección de Datos Cuantitativos:

Las técnicas empleadas en este estudio responden al enfoque cuantitativo proyectivo, y se centraron en la recolección y análisis de registros operativos históricos, con el propósito de identificar brechas, evaluar desempeño y proyectar mejoras en el cumplimiento de los estándares OEM e IATF 16949:2016. En este sentido, la técnica principal aplicada fue el análisis documental de datos operativos históricos, que permitió extraer información confiable directamente desde los registros oficiales de producción, calidad y mantenimiento.

Esta técnica se aplicó específicamente al proceso de fabricación de juntas de culata compuestas, el cual constituye la unidad principal de análisis del estudio. La caracterización de la muestra se resume en la Tabla 8, donde se detalla el período de observación, la segmentación de productos y los indicadores clave de control.

Tabla 8

Caracterización de la muestra analizada

Parámetro	Descripción
Período de análisis	Enero a noviembre de 2024
Segmentación de productos	Grupo 1: Juntas compuestas (proceso en estudio) Grupo 2: Otros tipos de empaquetaduras
Indicador principal	Porcentaje de Producto No Conforme (PNC)
Límite máximo interno	3% de PNC (meta establecida por la empresa)

Asimismo, se utilizó la técnica de comparación normativa, contrastando el desempeño actual de la empresa frente a los estándares internacionales exigidos por los fabricantes OEM. Este análisis se presenta en la Tabla 9, que evidencia la magnitud de la brecha existente.

Tabla 9

Comparativo de estándares de control de proceso

Nivel en la cadena de suministro Requisito de control de proceso	
OEM (Ford, GM)	< 50 PPM
Proveedores Tier 2 y Tier 3	≤ 100 PPM
Empresa en estudio (actual)	3% (equivale a 30,000 PPM)

Finalmente, se aplicó la técnica de categorización de defectos, que permitió clasificar el Producto No Conforme según su causa raíz, identificando oportunidades específicas para intervenciones de mejora tecnológica. Esta clasificación, estructurada por códigos y descripciones, se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10

Categorización de Defectos de Producción

Código	Tipo de Defecto	Descripción del Defecto
A	Problemas de Método o Matriz	Diseño inadecuado, matrices desgastadas o métodos de producción subóptimos
B	Problemas de Maquinaria e Instrumentación	Fallos en equipos, calibración incorrecta o limitaciones tecnológicas
C	Problemas de Material	Materias primas fuera de especificación o incompatibilidad de componentes
D	Errores Operativos y Procedimientos	Variabilidad en la ejecución manual o falta de estandarización en procedimientos

Estas técnicas permitieron recoger evidencia cuantitativa clave para la formulación del plan de mejora, alineando el análisis con los requisitos de la norma IATF 16949:2016 y la literatura especializada en el sector (Laskurain-Iturbe et al., 2021).

4.4.2 Instrumentos de Medición

A diferencia de las técnicas, que se refieren a los procedimientos aplicados para recolectar información, los **instrumentos** son las herramientas específicas empleadas para aplicar dichas técnicas. En este estudio, todos los instrumentos utilizados fueron de tipo documental-digital y provienen del sistema ERP Oracle de la empresa.

El sistema Oracle se utilizó como **instrumento central de medición y registro**, ya que proporciona trazabilidad diaria y consolidada de todas las variables críticas del proceso.

En su módulo de calidad, registra los datos de Producto No Conforme (PNC), PPM y costos asociados por tipo de defecto. En su módulo de mantenimiento, registra incidencias, tiempos MTTR y MTBF, actividades correctivas y preventivas. Ambos módulos están integrados en reportes exportables con filtros por línea, turno, fecha y tipo de evento.

La confiabilidad del sistema, validado internamente por el área de calidad y mantenimiento, respalda la integridad de los datos utilizados en los análisis estadísticos desarrollados en Minitab y Excel.

4.4.3 Validez y Confiabilidad

En este estudio, las variables no son constructos latentes, sino índices operativos calculados a partir de datos observables y medibles, tales como el porcentaje de producto no conforme (%PNC), el tiempo medio de reparación (MTTR), la eficiencia global del equipo (OEE) y los índices de capacidad del proceso (C_p , C_{pk}). Estos indicadores están claramente definidos en la teoría de calidad automotriz y se consideran estándares técnicos del sector (IATF, 2016; Hair et al., 2019). Por tanto, no requieren análisis factorial ni modelamiento de ecuaciones estructurales para validar su estructura interna.

La validez de los instrumentos se respalda en dos dimensiones clave. Por un lado, la validez de contenido, al utilizar indicadores estrechamente vinculados con el fenómeno estudiado y reconocidos por normas internacionales como la IATF 16949:2016. Por otro lado, se garantiza la validez técnica, dado que cada indicador refleja directamente mediciones objetivas de procesos productivos, sin necesidad de inferencias estadísticas complejas.

En cuanto a la confiabilidad, esta se asegura mediante la trazabilidad operativa del sistema ERP, la consistencia en los registros diarios y la validación interna de datos realizada por los equipos de calidad y mantenimiento. Adicionalmente, se aplicaron análisis de variabilidad, comparaciones entre grupos productivos y validaciones de series temporales, confirmando la estabilidad de las mediciones en el tiempo. La automatización de los reportes minimiza el riesgo de errores humanos y asegura uniformidad en la recolección de información. Este enfoque integral garantiza que los instrumentos empleados reflejan

fielmente el comportamiento real de los procesos industriales, proporcionando una base sólida y replicable para las proyecciones realizadas en el plan de mejora.

4.5. Robustez y Validación del Enfoque Estadístico Aplicado

La selección del enfoque estadístico se fundamentó en la necesidad de analizar con precisión los indicadores clave definidos en la sección 4.2.1 (ICP, IPT, PRS, OEE), evaluar las relaciones causales establecidas en las hipótesis de la sección 4.2.3 y procesar los 43,584 defectos registrados entre enero y noviembre de 2024 (ver sección 4.3), a partir de instrumentos validados descritos en la sección 4.4. En este marco, se optó por aplicar técnicas robustas de análisis estadístico que permitieran generar inferencias válidas y proyectar el impacto del plan de mejora con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$) y un poder estadístico del 95% ($1 - \beta = 0.95$).

La caracterización de los datos y requerimientos analíticos se definió con base en tres principios metodológicos:

- **Validez donde** la técnica debía permitir medir con precisión las variables cuantitativas relacionadas con defectos, productividad y costos.
- **Robustez donde se** priorizó la resistencia a ligeras desviaciones de normalidad y homogeneidad, considerando la naturaleza industrial de los datos.
- **Aplicabilidad donde** las herramientas estadísticas debían ofrecer resultados interpretables directamente en unidades reales (porcentajes, dólares, tasas de defectos).

Dado el tamaño de la base de datos (más de 43 mil defectos en 1.3 millones de piezas), y tras realizar transformaciones de normalización, los supuestos paramétricos fueron validados, permitiendo el uso de técnicas como ANOVA y regresión múltiple. Esta estructura aseguró la capacidad de generalizar hallazgos dentro del rango operacional de la empresa.

4.5.1. Uso de ANOVA y Validación Cruzada

El ANOVA unidireccional fue seleccionado como técnica principal debido a su capacidad para comparar simultáneamente los costos promedio de los distintos tipos de defectos (A, B, C, D). Los resultados fueron estadísticamente significativos ($F(3, 42,996) = 217.8, p < 0.001$), permitiendo identificar diferencias sustanciales en el impacto económico de cada categoría.

Para reforzar la validez interna del análisis, se aplicó la prueba post-hoc de **Tukey HSD**, que confirmó diferencias significativas entre los grupos, especialmente entre los defectos tipo B y D, asociados a mayores costos por unidad. A fin de validar la consistencia de los resultados, se replicó el análisis mediante la prueba no paramétrica de **Kruskal-Wallis**, obteniendo una confirmación robusta ($\chi^2 = 198.4, p < 0.001$) como se detalla en la tabla 11.

Tabla 11

Comparación con Alternativas No Paramétricas

Método	Ventajas	Limitaciones	Decisión
ANOVA paramétrico	Alta potencia estadística ($1-\beta = 0.95$), interpretación directa	Requiere normalidad y homocedasticidad	Seleccionado
Kruskal-Wallis	No exige normalidad, útil para datos ordinales o atípicos	Menor potencia ($1-\beta = 0.82$)	Validación secundaria
Bootstrap	Flexible en muestras pequeñas	Innecesario con $n > 43,000$	Descartado

4.5.2. Transformaciones y Validación de Supuestos

Dado que las variables originales presentaban una asimetría considerable (skewness > 2.5), se aplicó una transformación logarítmica natural. Posteriormente, se verificaron los supuestos paramétricos con los siguientes resultados:

- Normalidad: Test de Anderson-Darling ($A^2 = 0.87, p = 0.12$) y gráficos Q-Q con bandas de confianza.

- Homocedasticidad: Test de Levene ($F = 1.32$, $p = 0.26$).

Ambas pruebas confirmaron la validez de los supuestos necesarios para aplicar ANOVA con rigurosidad metodológica.

En relación a la evaluación de métodos alternativos y convergencia analítica existen opciones como **bootstrapping** o enfoques **bayesianos** que fueron descartados por su complejidad operativa innecesaria en un contexto de gran volumen de datos y baja variabilidad residual pero para complementar y reforzar la solidez de los hallazgos se integraron herramientas estadísticas como el análisis de capacidad de proceso (C_p , C_{pk}), Regresión múltiple, y Test de la mediana como control no paramétrico adicional.

La elección del ANOVA como técnica principal, junto con análisis de capacidad, pruebas no paramétricas y modelos de regresión, permitió evaluar de manera precisa y práctica los factores que más impactan en el proceso. Este enfoque combina simplicidad, solidez estadística y validez interna, ofreciendo una base confiable para sustentar las decisiones del plan de mejora de calidad según los estándares OEM e IATF 16949:2016.

Antes de pasar al diagnóstico y discusión de resultados, es importante integrar referencias prácticas que contextualicen los hallazgos estadísticos obtenidos. Por eso, se incorpora, en primer lugar, un caso nacional exitoso que demuestra la viabilidad de alcanzar la certificación IATF 16949 en el entorno peruano. En segundo lugar, se presenta un análisis comparativo internacional que sustenta la elección estratégica del socio tecnológico. Ambos aportes permiten reforzar la aplicabilidad real del plan propuesto y enmarcar su implementación en experiencias concretas tanto a nivel local como global.

4.6 Caso de Éxito: AGP Perú como Referente Nacional en la Adopción de IATF 16949

La certificación IATF 16949 constituye un desafío estratégico para la industria manufacturera peruana, particularmente para proveedores que aspiran a integrar cadenas globales de valor. AGP Perú S.A.C. emerge como caso paradigmático al demostrar que empresas de capital nacional pueden alcanzar estándares internacionales competitivos.

Como fabricante líder de vidrios laminados para los sectores automotriz, defensa y seguridad, AGP Perú ha logrado posicionarse como proveedor calificado de más de 20 OEMs globales —incluyendo Tesla, Audi y Mercedes-Benz— mediante su planta certificada en Lima (Milla, 2025). Su éxito se sustenta en tres pilares:

- Inversión en I+D: USD 250 millones asignados a innovación, con 250 científicos en centros tecnológicos globales.
- Soluciones patentadas: Destaca su parabrisas eGlass, adoptado por fabricantes premium.
- Resiliencia operativa: Aunque factores exógenos (aranceles EE.UU.) afectaron su contrato con Tesla para el Cybertruck, mantiene certificación IATF 1694:2016 y reconocimiento como Tier 1 (AGP, 2018).

Este caso valida que la adopción de IATF 16949 es viable en el contexto industrial peruano y que los desafíos logísticos/comerciales no invalidan los logros en gestión de calidad.

AGP Perú representa así un benchmark alcanzable para empresas nacionales que busquen competir en mercados OEM, demostrando que la excelencia operacional y la certificación internacional son posibles desde Perú.

Demostrada la viabilidad local mediante el caso AGP, corresponde fundamentar las capacidades técnicas del socio internacional que permitirá materializar estas mejoras

4.7. Justificación del Socio Tecnológico: Análisis Comparativo

Tal como se planteó en la sección 1.4, la selección del socio estratégico para la transferencia tecnológica no es una decisión aislada, sino que responde a una justificación contextual más amplia. Esta decisión debe alinearse con las exigencias del entorno global automotriz y con los requisitos de la norma IATF 16949:2016. En ese marco, el presente apartado desarrolla un análisis comparativo que permite sustentar la elección del país socio con base en criterios estratégicos adicionales, como la experiencia previa en transferencia tecnológica, la capacidad industrial, la infraestructura logística y las tendencias globales de certificación. De esta forma, se continúa y profundiza la línea argumental iniciada en la justificación, trasladando su respaldo conceptual hacia un enfoque metodológico más riguroso.

Con este fin, se presenta a continuación una matriz en la tabla 12 que muestra la evolución de las certificaciones IATF 16949:2016 entre junio de 2023 y mayo de 2025 en los países considerados para la comparación (China, Alemania, Japón, Corea del Sur, Brasil y México). Este análisis de tendencia permite identificar no solo el volumen de certificaciones, sino también el posicionamiento relativo y el crecimiento sostenido de cada país en la adopción de estándares internacionales de calidad.

Tabla 12

Evolución de Certificaciones IATF 16949:2016 por País (2023–2025)

Región	País	Sitios Certificados junio 2023	% Mundial Total junio 2023	Sitios Certificados octubre 2024	% Mundial Total octubre 2024	Sitios Certificados noviembre 2024	% Mundial Total noviembre 2024	Sitios Certificados enero 2025	% Mundial Total enero 2025	Sitios Certificados mayo 2025	% Mundial Total mayo 2025
Asia Pacífico	China	50,414		54,264		55,459		57,041		58,775	
	India	6,924		7,313		7,354		7,415		7,523	
	Rep. de Corea	5,255		5,233		5,275		5,317		5,316	
	Japón	1,811	76.37%	1,880	77.77%	1,885	78.04%	1,898	78.35%	1,897	78.66%
	Taiwán	1,540		1,577		1,592		1,588		1,593	
	Tailandia	1,817		1,901		1,911		1,938		1,967	
	Otros	1,918		2,142		2,174		2,217		2,301	
	Total	69,679		74,310		75,650		77,414		79,372	
Europa	Alemania	2,895		2,736		2,740		2,750		2,738	
	Italia	1,565		1,558		1,567		1,569		1,582	
	España	988	12.27%	966	11.37%	971	11.22%	971	11.05%	973	10.82%
	Francia	919		881		878		882		876	
	Otros	4,824		4,726		4,721		4,741		4,749	
	Total	11,191		10,867		10,877		10,913		10,918	
Norteamérica	EE. UU.	3,702		3,645		3,654		3,651		3,665	
	México	2,132	6.88%	2,170	6.53%	2,182	6.46%	2,215	6.36%	2,254	6.28%
	Otros	443		421		424		423		419	
	Total	6,277		6,236		6,260		6,289		6,338	
Sudamérica	Brasil	1,150		1,172		1,166		1,182		1,202	
	Otros	272	1.56%	265	1.50%	266	1.48%	260	1.46%	264	1.45%
	Total	1,422		1,437		1,432		1,442		1,466	
África	Total	605	0.66%	612	0.64%	614	0.62%	621	0.63%	622	0.62%
Medio Oriente	Turquía	1,166		1,183		1,197		1,206		1,226	
	Irán	826	2.26%	835	2.19%	842	2.18%	845	2.15%	883	2.17%
	Otros	67		71		71		73		76	
	Total	2,059		2,089		2,110		2,124		2,185	
Total, Global	91,233	100.00%	95,551	100.00%	96,943	100.00%	98,803	100.00%	100,901	100.00%	

Nota. (Fuente: Elaboración propia con base en datos de IATF Global Oversight, 2023–2025)

Este comportamiento permite establecer una base cuantitativa para la matriz comparativa que se presenta a continuación, la cual incorpora criterios estratégicos adicionales como experiencia previa en transferencia tecnológica, infraestructura logística, relación costo-beneficio, adaptación cultural y nivel de soporte post-transferencia.

La selección de los países considerados en la tabla 13 responde a su relevancia industrial, grado de inserción en las cadenas globales de valor automotriz y nivel de participación en el estándar IATF 16949. Si bien otros países aparecen en el cuadro de tendencias de certificaciones, se optó por estos seis debido a su liderazgo tecnológico, volumen de certificaciones sostenidas, trayectoria en manufactura automotriz y presencia activa en iniciativas de cooperación internacional. Además, representan bloques geoestratégicos distintos con potencial realista de transferencia tecnológica hacia el contexto peruano.

La valorización utilizada en la matriz responde a una escala ordinal cualitativa (Muy alta, Alta, Media, Baja), construida con base en revisión bibliográfica técnica (Chen, 2019; CLIL, 2025; IATF, 2025) y análisis comparado de indicadores macroindustriales y logísticos. Este enfoque metodológico permite realizar una evaluación holística y fundamentada, asegurando que la selección del socio tecnológico contribuya de forma coherente con los objetivos del plan de mejora de calidad y con el cumplimiento de los estándares OEM e IATF 16949:2016.

Tabla 13

Matriz comparativa de selección de socio tecnológico para la transferencia de tecnología en el sector automotriz peruano.

N° Criterio	Criterio de evaluación	China	Alemania	Japón	Corea del Sur	Brasil	México
1	Experiencia previa con OEMs	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Alta	Media	Alta
2	Capacidad de transferencia tecnológica	Muy alta	Alta	Alta	Alta	Media	Alta
3	Adaptación cultural y alianzas previas	Alta	Media	Media	Media	Alta	Muy alta
4	Infraestructura logística global	Muy alta	Alta	Alta	Media alta	Media	Alta
5	Costo-beneficio de cooperación	Muy alta	Media	Media	Alta	Alta	Alta
6	Nivel de soporte post-transferencia	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Alta
7	Tendencia de certificaciones IATF 16949	Muy alta	Alta	Alta	Media alta	Baja	Media

Nota. Elaboración propia con base en Chen (2019), IATF Global Oversight (2025), y "El futuro del sector automotriz en el mundo 2025" (CLIL, 2025))

A partir de este marco comparativo internacional, resulta pertinente incluir un caso de referencia nacional que demuestre que, bajo condiciones operativas peruanas, es factible alcanzar estándares internacionales de calidad en la industria automotriz. El caso de AGP Perú ilustra esta posibilidad de manera concreta y refuerza la aplicabilidad del modelo propuesto.

CAPÍTULO 5: DIAGNÓSTICO Y RESULTADOS

5.1. Consolidado de Datos Base para el Análisis Operativo y de Calidad

Con el fin de sustentar los análisis estadísticos desarrollados en este capítulo, se recopiló y estructuró un conjunto de datos provenientes de los registros históricos del

Producto No Conforme del proceso productivo de fabricación de las estructuras de juntas de estanqueidad correspondientes al período enero – noviembre de 2024. Esta base de datos constituye el insumo principal para evaluar la capacidad operativa, la variabilidad del proceso, el comportamiento de los defectos críticos y el desempeño frente a los estándares OEM e IATF 16949:2016.

El mes de diciembre no fue considerado debido a que la empresa realiza durante ese periodo actividades atípicas como inventarios anuales, cierres contables y paradas programadas por mantenimiento preventivo. Estas condiciones generan una suspensión parcial de las operaciones por más de 15 días, lo cual afecta la representatividad de los datos y podría distorsionar el análisis respecto al comportamiento regular del resto del año.

5.1.1. Resumen de Data de Producto no Conforme (Periodo enero -noviembre 2024)

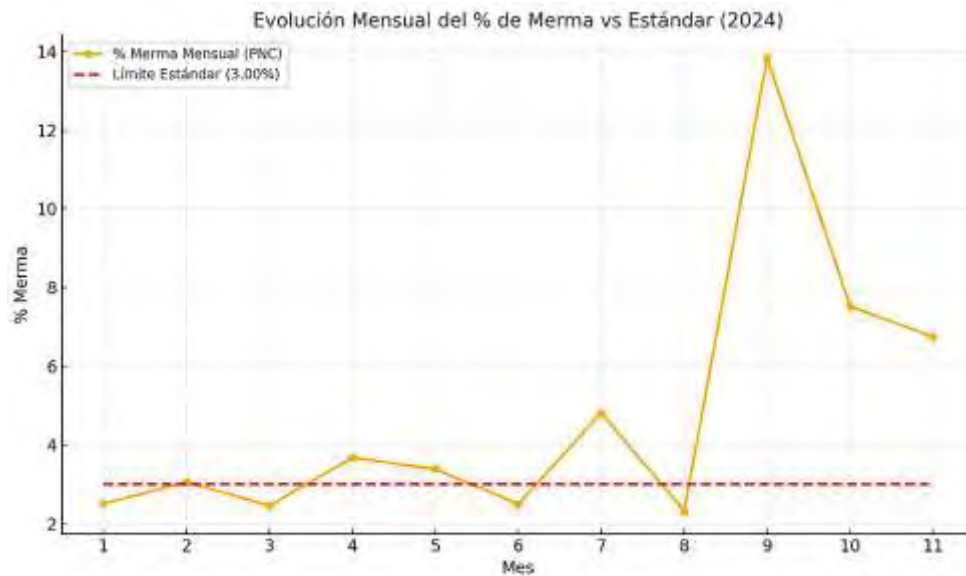
La Tabla 14 presenta el porcentaje de producto no conforme registrado mensualmente durante el período enero-noviembre 2024. Los datos muestran la cantidad total de piezas producidas por lote, el número de piezas no conformes (PNC), el porcentaje de merma resultante y el estándar establecido del 3.00%. Durante este período se procesaron un total de 1,327,803 piezas, de las cuales 61,518 resultaron no conformes. El análisis revela variaciones significativas en el desempeño mensual, destacando septiembre como el mes con mayor porcentaje de merma (13.84%), muy por encima del estándar, mientras que enero registró el mejor desempeño con apenas 2.51% de producto no conforme. Esta información permite identificar tendencias en la calidad de producción y establecer planes de mejora para los meses que exceden el estándar de calidad establecido

Tabla 14*Porcentaje de Producto No Conforme.*

% Producto No Conforme Mensual		ENERO-NOVIEMBRE 2024		
MES	SUM DE CANTIDAD DE PIEZAS PRODUCIDAS POR LOTE	SUM DE PNC TOTAL	% MERMA	ESTANDAR
1	135487	3401	2.51%	3.00%
2	147834	4518	3.06%	3.00%
3	85695	2105	2.46%	3.00%
4	143676	5283	3.68%	3.00%
5	153771	5214	3.39%	3.00%
6	104328	2606	2.50%	3.00%
7	148158	7136	4.82%	3.00%
8	98427	2284	2.32%	3.00%
9	103098	14269	13.84%	3.00%
10	91283	6871	7.53%	3.00%
11	116046	7831	6.75%	3.00%
Total, general		1327803	61518	

La Figura 2 ilustra la evolución mensual del porcentaje de producto no conforme durante el período enero-noviembre 2024, comparándolo con el límite estándar establecido del 3.00%. El gráfico revela un comportamiento relativamente estable durante los primeros ocho meses del año, con valores que oscilan entre 2.32% y 4.82%, manteniéndose cerca o ligeramente por encima del estándar. Sin embargo, se observa un deterioro crítico en el desempeño a partir de septiembre, donde el porcentaje de merma se dispara dramáticamente hasta alcanzar 13.84%, representando más de cuatro veces el límite aceptable. Aunque en los meses subsiguientes (octubre y noviembre) se evidencia una recuperación gradual con valores de 7.53% y 6.75% respectivamente, estos aún se mantienen significativamente por encima del estándar. Esta tendencia sugiere la presencia de factores críticos que afectaron la calidad del proceso productivo en el último trimestre del año.

Figura 2.*Evolución mensual del Producto No Conforme (enero-noviembre 2024)*



Cálculo del Porcentaje de Producto No Conforme (% de PNC).

El **% de PNC** se obtiene dividiendo la cantidad de unidades defectuosas detectadas de cada tipo de defecto versus el total de unidades producidas en el ciclo de evaluación. Esto permite visualizar la incidencia de cada tipo de defecto en la calidad global del proceso productivo y priorizar acciones correctivas. Como se observó en la Tabla 14 y Figura 3, los porcentajes de merma variaron significativamente a lo largo del año 2024, alcanzando picos críticos en septiembre (13.84%) que superaron ampliamente el estándar del 3.00%. La Tabla 15 complementa este análisis mostrando la cantidad de lotes producidos mensualmente, revelando que durante los meses de mayor porcentaje de PNC (septiembre-noviembre) se mantuvo una producción considerable de lotes (196, 98 y 183 respectivamente), lo que indica que el problema de calidad no se debió a una reducción en el volumen de producción, sino a factores inherentes al proceso que requieren investigación y corrección inmediata.

Tabla 15*Cantidad de Lotes Producidos por mes.*

MESES	CANTIDAD DE LOTES PRODUCIDOS	MESES	CANTIDAD DE LOTES PRODUCIDOS
1	171	7	213
2	260	8	207
3	115	9	196
4	230	10	98
5	244	11	183
6	128		
Total, general de lotes producidos		2045	

5.1.2. Determinación de los grupos 1 y 2 para los análisis.

Con el propósito de estructurar adecuadamente el análisis del Producto No Conforme (PNC), se decidió dividir la base de datos en dos grupos diferenciados según el tipo de junta de culata fabricada:

Grupo 1: Juntas de estanqueidad compuestas

Grupo 2: Juntas metálicas (Multi Layer Steel - MLS) y juntas de metal-elastómero

Esta segmentación responde directamente al objetivo general del estudio, que se enfoca en formular un Plan Integral de Mejora de la Calidad, basado en transferencia tecnológica y gestión automotriz avanzada, orientado a una empresa peruana fabricante de empaquetaduras automotrices. En particular, el estudio se centra en la línea de producción de juntas de estanqueidad compuestas, dado que estas:

- Representan el 80% de la facturación de la empresa,
- Presentan los mayores niveles de Producto No Conforme,
- Y son estratégicamente prioritarias para alcanzar los estándares OEM

e implementar la norma IATF 16949:2016.

Esta diferenciación permite realizar un análisis comparativo más preciso, identificar patrones de defectos según el tipo de junta, y proyectar de manera más efectiva el impacto del plan propuesto sobre los procesos más críticos de la organización.

Como se detalla en la Tabla 16, la distribución de lotes producidos durante el período de análisis muestra una clara predominancia del Grupo 1 (juntas de estanqueidad compuestas) con 1651 lotes, representando aproximadamente el 80.6% del total de 2045 lotes, mientras que el Grupo 2 (juntas metálicas MLS y metal-elastómero) alcanzó 394 lotes (19.4%). Esta proporción confirma la importancia estratégica del Grupo 1 en las operaciones de la empresa.

El análisis de los indicadores de calidad por grupo, presentado en la Tabla 17, revela diferencias significativas en el desempeño. El Grupo 1 registró un total de 43,564 piezas no conformes de 918,748 piezas producidas, resultando en un porcentaje de PNC del 4.76% y una frecuencia por millón (FPM) de 47,541.36. En contraste, el Grupo 2 mostró un mejor desempeño con 17,954 piezas no conformes de 409,055 piezas producidas, alcanzando un 4.39% de PNC y 43,892.20 FPM. Estos resultados confirman que las juntas de estanqueidad compuestas, además de ser el producto principal, presentan los mayores desafíos de calidad, justificando el enfoque prioritario del estudio en este grupo.

Tabla 16

Identificación de Grupos de Juntas.

CANTIDAD DE LOTES PRODUCIDOS	TIPO DE JUNTA DE CULATA	IDENTIFICACIÓN DEL GRUPO
1691	Juntas de Estanqueidad Compuesta	GRUPO 1
354	Juntas de Culata de capas Metálicas (MLS) y Metal-Elastómero	GRUPO 2
2045	Total, general	

Tabla 17

Porcentaje de PNC y PPM por Grupo.

GRUPOS	SUM of PNC TOTAL	SUM DE CANTIDAD DE PIEZAS PRODUCIDAS POR LOTE	%PNC	PPM
GRUPO 1	43584	916748	4.75	47,541.96
GRUPO 2	17934	411055	4.36	43,629.20
Total, general	61518	1327803		

Diferencia Operativa entre Grupos (Desviación Relativa)

Para evaluar la diferencia de desempeño entre los grupos, se calcularon los siguientes indicadores:

Diferencia absoluta de PPM = **47,541.96 – 43,629.20 = 3,912.76 PPM**

PPM Promedio: $(47,541.96 + 43,629.20) / 2 = 45,585.58$ PPM.

Desviación relativa (%) = $(3,912.76 / 45,585.58) \times 100 = 8.58\%$

Esta diferencia fue validada con prueba de hipótesis en Minitab, confirmando que **no es aleatoria**, sino que refleja **problemas estructurales en el proceso del Grupo 1**.

Interpretación

El Grupo 1 tiene una variabilidad mayor en la cantidad de defectos, con una diferencia absoluta de 3,912.76 PPM.

La desviación relativa del 8.58% confirma que la variabilidad entre ambos grupos no es aleatoria, sino que responde a diferencias estructurales en los procesos productivos.

Ambos grupos superan ampliamente los límites de calidad esperados en la industria, lo que requiere acciones correctivas inmediatas.

Hallazgos Clave

i. El Grupo 1 muestra un índice de no conformidades superiores a las del Grupo 2, con un PPM de 47,541.96, lo que indica la necesidad de priorizar acciones correctivas inmediatas.

ii. Ambos grupos exceden el límite del 3% de PNC establecido por la empresa, lo que refuerza la necesidad de optimizar los procesos productivos y alinear la calidad con los estándares de la industria.

iii. La desviación relativa del 8.58% entre ambos grupos confirma una variabilidad operativa significativa, lo que sugiere la urgencia de estabilizar los procesos a través de mejores prácticas de control de calidad y calibración de equipos.

Los datos presentados en las Tablas 18 a 23 revelan un panorama detallado del comportamiento de los defectos en ambos grupos de productos durante el período enero-noviembre 2024. La clasificación por tipos de defecto (A, B, C y D) muestra que el defecto tipo A es el más frecuente con 2,076 casos, seguido por el tipo B con 2,134 casos, mientras que los tipos C y D presentan menor incidencia con 390 y 20,918 casos respectivamente. Al analizar específicamente el Grupo 1 (juntas de estanqueidad compuestas), que representa la mayor preocupación de calidad, se identifica que los defectos tipo B y D son los más críticos, con 23,589 y 18,737 casos detectados respectivamente, representando el 54.12% y 43.00% del total de defectos en este grupo.

El análisis económico revela que estos defectos tienen un impacto financiero considerable, con costos asociados de \$90,275.23 para el defecto B y \$43,376.56 para el defecto D, sumando un total de \$111,584.66 en pérdidas por calidad para el Grupo 1. Esta información no solo confirma la necesidad urgente de implementar mejoras en los procesos de fabricación de juntas de estanqueidad compuestas, sino que también proporciona una base sólida para priorizar las acciones correctivas, enfocándose primero en los defectos tipo B y D que concentran el 97.12% de los problemas de calidad y representan el mayor impacto económico para la empresa.

Tabla 18*Tipo de PNC por Grupo desde Enero a Noviembre*

GRUPOS	SUM of A	SUM of B	SUM of C	SUM of D
GRUPO 1	923	23589	335	18737
GRUPO 2	1153	5545	55	11181
Total	2076	29134	390	29918
Total, general		61518		

Tabla 19*Cantidad de PNC por Grupo y mes.*

MES	SUM DE CANTIDAD DE PIEZAS PRODUCIDAD POR LOTE	SUM of A	SUM of B	SUM of C	SUM of D
1	135487	14	580	0	2807
2	147834	0	1550	0	2968
3	85695	0	352	0	1753
4	143676	220	888	342	3833
5	153771	1	1407	0	3806
6	104328	0	875	0	1731
7	148158	0	2334	6	4796
8	98427	0	1201	32	1051
9	103098	859	11194	10	2206
10	91283	982	3383	0	2506
11	116046	0	5370	0	2461
Total, general	1327803	2076	29134	390	29918
Grupo 1		923	23589	335	18737
Grupo 2		1153	5545	55	11181

Tabla 20*Resumen de datos Grupo 1*

MES	SUM of COST. FAB*LOTE	SUM of costo Tipo A	SUM of costo Tipo B	SUM of costo Tipo C	SUM of costo Tipo D	Total, COST. DEFECTO	CANTIDAD DE LOTE	CANTIDAD TIPO DE DEFECTO A	CANTIDAD TIPO DE DEFECTO B	CANTIDAD TIPO DE DEFECTO C	CANTIDAD TIPO DE DEFECTO D	CANTIDAD TOTAL DE DEFECTO POR MES
ENERO	209417.4133	29.8074	836.9517	0	5319.0238	6185.783	98723	14	444	0	2054	2512
FEBRERO	172117.1861	0	1313.1477	0	3357.4971	4670.645	84189	0	641	0	1361	2002
MARZO	90774.6719	0	399.565	0	2452.4466	2852.012	49981	0	216	0	754	970
ABRIL	221077.2112	10.346	3085.875	3968.9517	7145.3056	14210.478	93476	4	793	287	2103	3187
MAYO	192110.407	2.1496	2530.5915	0	5699.5035	8232.245	104454	1	1352	0	2680	4033
JUNIO	123340.2909	0	1801.5007	0	1514.6164	3316.117	62795	0	755	0	755	1510
JULIO	237657.5332	0	4652.707	8.8278	8648.9817	13310.517	122322	0	2025	6	4124	6155
AGOSTO	132727.8022	0	1646.0797	72.304	1317.2563	3035.64	63585	0	765	32	545	1342
SEPTIEMBRE	175044.8961	3202.6097	40658.1967	19.2718	2620.6823	46700.761	79586	859	10921	10	1309	13099
OCTUBRE	118888.4958	98.604	3439.2454	0	3113.1157	6650.9651	62879	45	1093	0	1782	2920
NOVIEMBRE	197820.5443	0	19711.3609	0	2688.1322	22399.4931	94758	0	4584	0	1270	5854
Total, general	1870976.452	3343.5167	80275.2213	4069.3553	43876.5612	131564.6545	916748	923	23589	335	18737	43584

Tabla 21

Identificación de Estructura que genera mayor PNC

Tipo de Estructura (Bobina)	GRUPO 1				CANTIDAD TOTAL DE PNC	CANTIDAD DE LOTES PRODUCIDOS
	SUM of A	SUM of B	SUM of C	SUM of D		
BO 1.4 NA.	922	21901	297	16780	39900	1288
OTRAS	1	1688	38	1957	3684	403
Total	923	23589	335	18737	43584	1691

Tabla 22

Tipo de Defecto Critico Grupo 1 vs % Costo Asociado

Tipo de Defecto	Cantidad de PNC	% de PNC	Costos Asociados	% Costos Asociados
B	23,589	54.1%	\$80,275.23	61.0
D	18,737	43.0%	\$43,876.56	33.4
	42,326	97.1%		94.4

Tabla 23

Impacto de los Defectos en la Producción de Juntas de Culata Compuestas (enero - noviembre 2024)- Grupo 1

Tipo de Defecto	Cantidad de Defectos Detectados	% de PNC	Costos Asociados	Costo Relativo (%)
A	923	2.12%	\$3,343.52	2.54%
B	23,589	54.12%	\$80,275.23	61.00%
C	335	0.77%	\$4,069.35	3.09%
D	18,737	43.00%	\$43,876.56	33.37%
TOTAL	43,584	100%	\$131,564.66	100%

5.1.3. Evaluación de Supuestos de Normalidad y Comparaciones Iniciales entre Meses

Con el fin de garantizar la validez estadística de los análisis aplicados (especialmente ANOVA y regresión), se realizaron pruebas de normalidad y pruebas no paramétricas preliminares para las dos principales variables del estudio: el costo total de producto no conforme y la cantidad total de defectos por mes.

5.1.3.1. Prueba de Normalidad para las variables - Costo y Cantidad Total de Defectos

Como se evidencia en la Figura 3 y 4 se realizó la prueba de normalidad a los datos de costo y cantidad total de PNC por mes para determinar si la distribución de estos se ajustaba a una distribución normal para decidir el tipo de prueba estadística que se usaran para los análisis.

Figura 3

Gráfica probabilidad total Costo Defecto vs Gráfica probabilidad total Log Costo Defecto

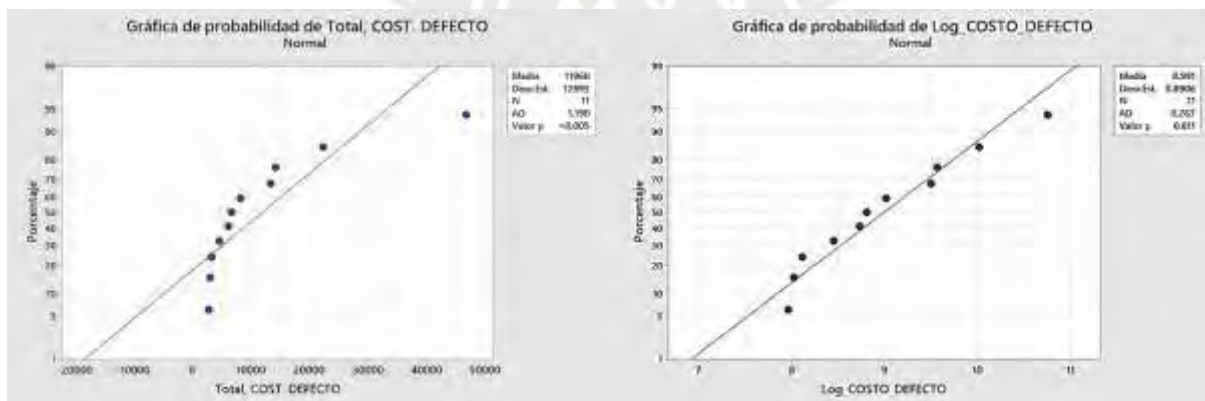


Tabla 24

Prueba de Normalidad de Anderson-Darling de la relación Costo del defecto.

Prueba aplicada	Tamaño muestral (N)	Resultado inicial	Conclusión
Anderson-Darling	11	AD = 1.190 p < 0.005	Los datos no presentan una distribución normal.

Dado que los análisis posteriores requerían normalidad (como el ANOVA), se procedió a una transformación logarítmica natural de los valores.

Tabla 25

Resultados de Anderson-Darling Post-Transformación de la relación Costo del defecto.

Transformación Aplicada	Nueva Variable	Resultado de normalidad post-transformación HOJA DE TRABAJO 2	Conclusión
Anderson-Darling	Log_COSTO_DEFECTO	AD = 0.267 p = 0.611	La variable transformada cumple con el supuesto de normalidad.

Figura 4

Grafica probabilidad total Cantidad de Defecto vs Grafica probabilidad total Log Cantidad Defecto

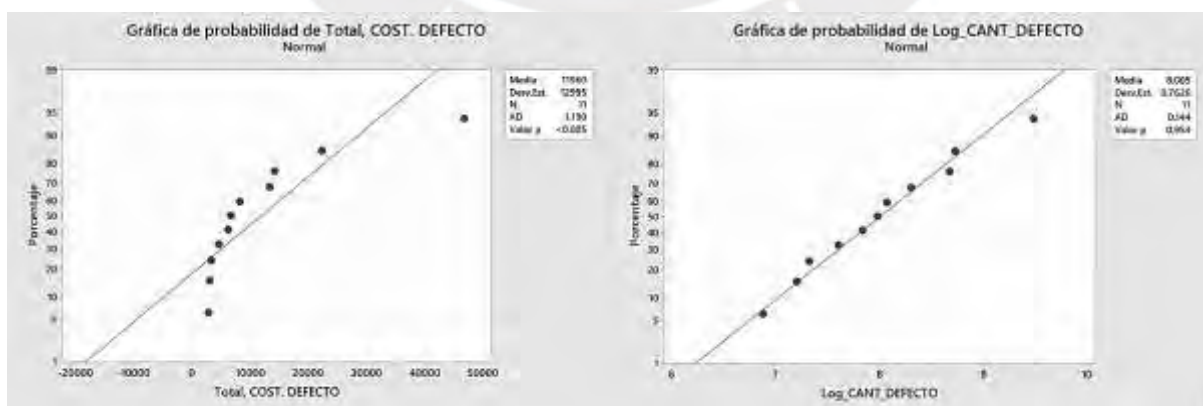


Tabla 26

Prueba de Normalidad de Anderson-Darling de la relación Cantidad de defecto.

Prueba aplicada	Tamaño muestral (N)	Resultado inicial	Conclusión
Anderson-Darling	11	AD = 2.278 p < 0.005	Los datos no presentan una distribución normal.

Dado que los análisis posteriores requerían normalidad (como el ANOVA), se procedió a una transformación logarítmica natural de los valores:

Tabla 27

Resultados de Anderson-Darling Post-Transformación de la relación Cantidad del defecto.

Transformación Aplicada	Nueva Variable	Resultado de normalidad post-transformación	Conclusión
Anderson-Darling	Log_CANT_DEFECTO	AD = 0.144 p = 0.954	La variable transformada cumple con el supuesto de normalidad.

5.1.3.2. Prueba No Paramétrica Complementaria: Kruskal-Wallis para el Costo y Cantidad Total de Defectos

Dado que el análisis de normalidad previo mediante la prueba de Anderson-Darling evidenció que el **Costo y la Cantidad Total de Defectos** no sigue una distribución normal ($p < 0.005$), y antes de aplicar la transformación logarítmica, se optó por realizar una prueba no paramétrica complementaria para contrastar las medianas entre meses. Para este fin se empleó la prueba de **Kruskal-Wallis**, la cual es adecuada para comparar más de dos grupos independientes cuando no se cumple el supuesto de normalidad requerido por el ANOVA.

Esta prueba permite comparar las medianas entre más de dos grupos independientes (en este caso, los 11 meses del análisis), sin requerir distribución normal de los datos.

Se usa para Identificar si existen diferencias estadísticamente significativas entre meses respecto a los costos y cantidades de defectos y detectar posibles comportamientos atípicos o dispersión de datos sin asumir varianzas homogéneas ni normalidad.

- **Hipótesis nula (H_0):** Todas las medianas mensuales del costo y cantidad total de defectos son iguales.
- **Hipótesis alternativa (H_1):** Al menos una mediana mensual es diferente.

Tabla 28

Resultados de la Prueba de Kruskal-Wallis

Variable analizada	N (meses)	Estadístico H	Valor p	Conclusión
Costo Total de Defectos	11	10.00	0.440	No hay diferencias significativas entre medianas mensuales.
Cantidad Total de Defectos	11	10.00	0.440	No hay diferencias significativas entre medianas mensuales.

La tabla 28 muestra que el valor $p > 0.05$ indica que **no existen diferencias significativas en las medianas de defectos entre los meses analizados**, tanto desde una perspectiva económica como de volumen de fallas.

Aunque las variables analizadas se expresan en escalas diferentes (dólares vs. unidades), el valor p obtenido en ambas es el mismo. Esto se debe a que comparten una estructura similar de dispersión relativa entre los meses, lo que genera una clasificación de medianas idéntica. Dado que la prueba de Kruskal-Wallis se basa en rangos ordenados y no en valores absolutos, si dos variables presentan un ordenamiento similar, el valor p resultante será también el mismo.

5.1.4. Análisis ANOVA de un Solo Factor: Evaluación de Costos y Cantidad de Defectos por Tipo

Con el objetivo de analizar las diferencias en el impacto económico y la frecuencia de defectos según su tipología, se aplicó una prueba ANOVA de un solo factor, utilizando como variable independiente el tipo de defecto (A, B, C, D) y como variables dependientes los valores transformados logarítmicamente como se muestra en la tabla 29.

- Costo Total de Defectos (Log_COSTO_DEFECTO)
- Cantidad Total de Defectos (LOG_CANT_DEFECTO)

Tabla 29

Factores y Niveles del Análisis de tipo de defectos

Factor	Niveles	Valores
TIPO DE DEFECTO	4	A; B; C; D

Esto se justificó debido a que ambas variables presentaban distribución no normal, lo cual fue corregido como se visualiza en la tabla 30 mediante la transformación logarítmica natural, validada con la prueba de Anderson-Darling.

Tabla 30

ANOVA de Un Factor para Costos de Defectos Transformados

Fuente de Variación	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tipo de Defecto	3	100.94	33.648	12.31	0.000
Error	27	73.79	2.733		
Total	30	174.73			

R^2 ajustado = 53.08%

- Hipótesis nula (H_0): Todas las medias del logaritmo de los costos por tipo de defecto son iguales.
- Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una media es diferente.

Resultado: El valor $p = 0.000 < 0.05$ indica que se rechaza H_0 . Existen diferencias estadísticamente significativas en los costos entre los tipos de defecto.

Tabla 31

Estadísticas Descriptivas por Costo de defecto por tipo de defecto

TIPO DE DEFECTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
A	5	3.83	2.76	(2.31; 5.35)
B	11	7.979	1.326	(6.956; 9.002)
C	4	4.43	2.72	(2.73; 6.12)
D	11	8.128	0.607	(7.105; 9.151)

Desv.Est. agrupada = 1.65314

Figura 5

Gráficas de Intervalos de Log Costo Defecto & Residuos

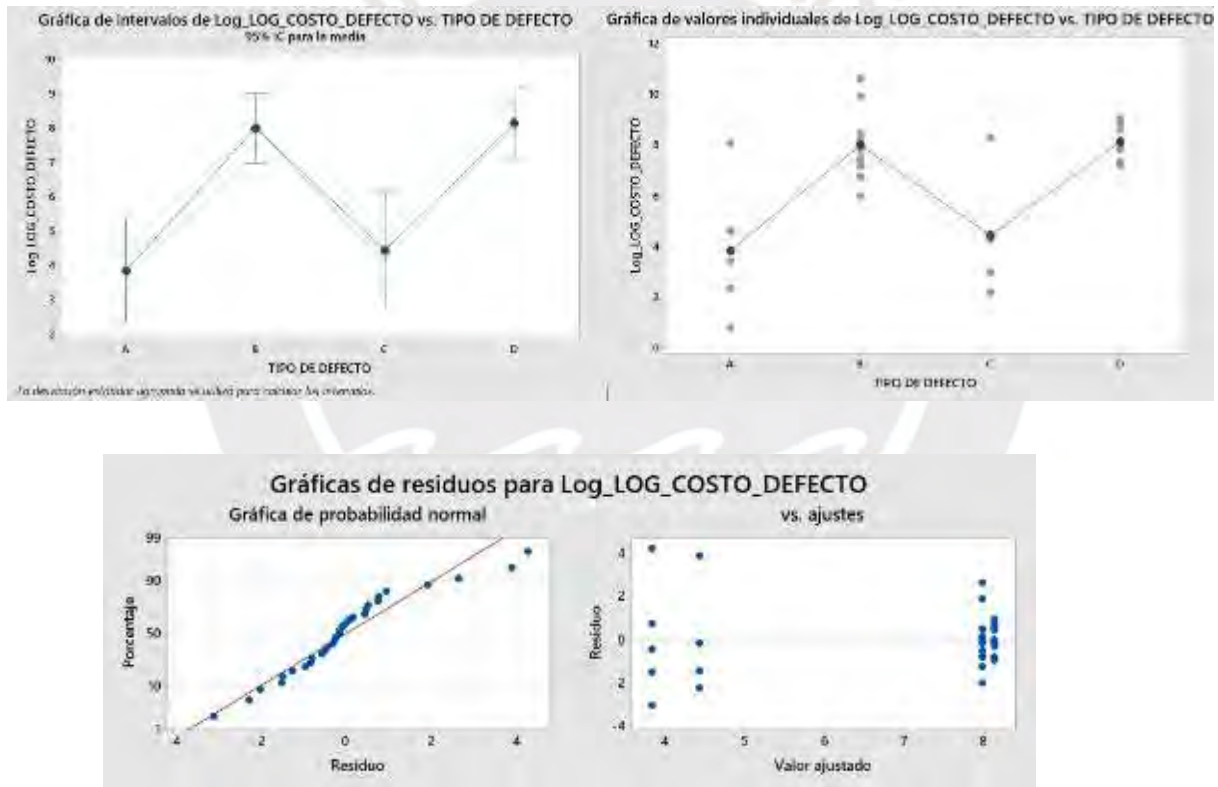


Tabla 32

ANOVA de Un Factor para Cantidad de Defectos Transformados

Fuente de Variación	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tipo de Defecto	3	106.42	35.474	18.86	0.000
Error	27	50.79	1.881		
Total	30	157.21			

R^2 ajustado = 64.10%

➤ Hipótesis nula (H_0): Todas las medias del logaritmo de la cantidad de defectos por tipo son iguales.

➤ Hipótesis alternativa (H_1): Al menos una media es diferente.

Resultado: $p = 0.000 < 0.05$ confirma diferencias significativas en la cantidad de defectos según el tipo.

Tabla 33

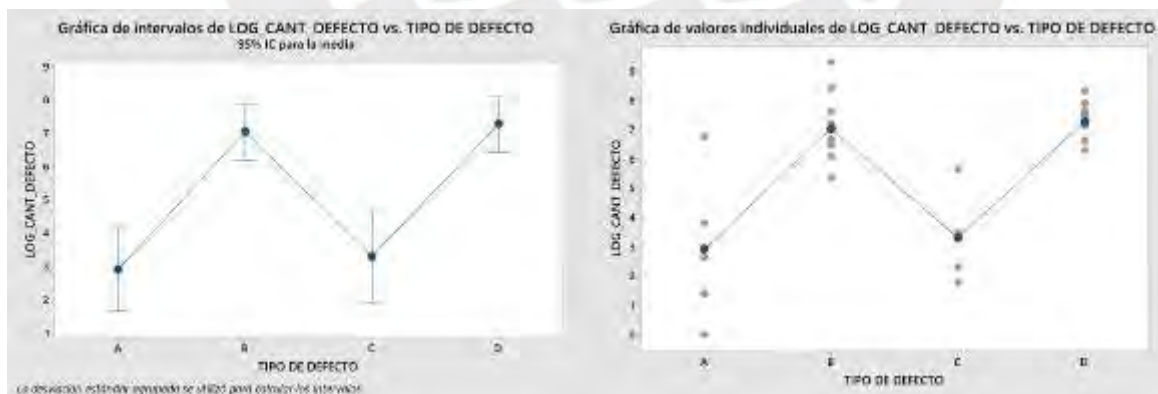
Estadísticas Descriptivas por Cantidad de defecto por tipo de defecto

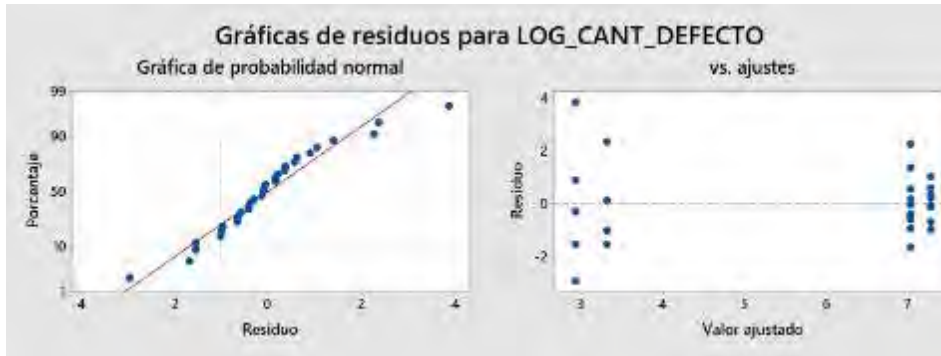
TIPO DE DEFECTO	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
A	5	2.92	2.57	(1.66; 4.18)
B	11	7.039	1.089	(6.190; 7.887)
C	4	3.305	1.719	(1.898; 4.712)
D	11	7.280	0.601	(6.431; 8.128)

Desv.Est. agrupada = 1.37151

Figura 6

Graficas de Intervalos de Log Cantidad Defecto & Residuos





El análisis ANOVA de un solo factor, aplicado sobre las variables transformadas Log_COSTO_DEFECTO y Log_CANT_DEFECTO, confirma diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de defecto (A, B, C y D) registrados en el Grupo 1 (juntas compuestas). En ambos casos, el valor p fue 0.000, lo que indica que la probabilidad de que estas diferencias sean producto del azar es prácticamente nula.

Este hallazgo valida que el tipo de defecto tiene un impacto real tanto en los costos asociados como en la cantidad de productos no conformes generados, siendo por tanto una variable crítica en el diseño del plan de mejora. Además, el coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado > 50% en ambas variables) evidencia que el modelo explica de manera representativa la variabilidad observada en el sistema productivo, respaldando la solidez estadística del enfoque utilizado.

Este análisis refuerza la necesidad de priorizar los defectos tipo B (relacionados a maquinaria e instrumentación) y tipo D (vinculados a procedimientos no estandarizados), los cuales concentran los mayores costos y ocurrencias. Su tratamiento debe constituir el eje estratégico del plan de mejora operativa, financiera y tecnológica para la línea crítica de juntas compuestas.

5.1.5. Interpretación del Análisis de Tukey (Costo y Cantidad de Defectos)

Las comparaciones múltiples mediante el método de Tukey con un 95% de confianza permiten identificar qué tipos de defecto presentan diferencias estadísticamente significativas

en cuanto a su impacto económico ($\log_COSTO_DEFECTO$) y frecuencia ($\log_CANT_DEFECTO$).

Las Tablas 34 y 35 presentan los resultados de las comparaciones múltiples mediante el método de Tukey con un nivel de confianza del 95% para las variables Costo de Defecto ($\log_COSTO_DEFECTO$) y Cantidad de Defecto ($\log_CANT_DEFECTO$) respectivamente. Los resultados muestran que los tipos de defecto cuyas medias no comparten la misma letra de agrupación presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí.

Tabla 34

Prueba de Tukey para Costo de Defecto ($\log_COSTO_DEFECTO$)

TIPO DE DEFECTO	N	Media	Agrupación
D	11	8.128	A
B	11	7.979	A
C	4	4.43	B
A	5	3.83	B

Tabla 35

Prueba de Tukey para Cantidad de Defecto ($\log_CANT_DEFECTO$)

TIPO DE DEFECTO	N	Media	Agrupación
D	11	7.28	A
B	11	7.039	A
C	4	3.305	B
A	5	2.92	B

Las pruebas de comparaciones múltiples utilizando el método de Tukey con un 95% de confianza, aplicadas tanto al logaritmo del costo total de defectos como al logaritmo de la cantidad total de defectos, confirman que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de defecto A, B, C y D.

Los defectos tipo B (relacionados a maquinaria) y D (asociados a procedimientos no estandarizados) no solo son los más frecuentes, sino también los que generan mayores costos promedio, tanto operativos como financieros. Esta consistencia entre las dos

dimensiones analizadas justifica su priorización dentro del plan de mejora de calidad, al representar los focos críticos de mayor impacto en la línea de juntas compuestas.

5.1.6. Datos para la elaboración del Diagrama de Pareto por Defecto

Para la elaboración del Diagrama de Pareto se utilizó la base de datos consolidada de defectos del Grupo 1, correspondiente a la línea de producción de juntas de estanqueidad compuestas, durante el periodo enero – noviembre de 2024. Esta data fue extraída de los registros del área de calidad, clasificando los defectos por tipo y cantidad. La información fue procesada en Minitab, lo que permitió identificar y ordenar los defectos por su frecuencia relativa, facilitando el análisis gráfico.

En la tabla 36 se presenta la cantidad total de defectos por tipo, así como el porcentaje individual que representa cada uno respecto al total acumulado. El cálculo del porcentaje acumulado permite visualizar de manera progresiva qué combinación de defectos concentra el mayor impacto sobre la generación de producto no conforme (PNC). Esta métrica es clave dentro de la lógica del Diagrama de Pareto, ya que permite aplicar el principio 80/20, el cual establece que un número reducido de causas (defectos) es responsable de la mayor parte de los efectos (PNC).

Tabla 36

Tipo de Defecto vs % PNC - Defectos Críticos y su Impacto del Grupo 1

Defecto	Cantidad de Defectos	Porcentaje de PNC (%)	Porcentaje de PNC Acumulado (%)
B	23,589	54.1	54.1
D	18,737	43.0	97.1
A	923	2.1	99.2
C	335	0.8	100.0

Figura 7.

Diagrama de Pareto por defecto



La figura 7. revela claramente que los defectos tipo B y D concentran la mayor problemática de calidad en la empresa. El defecto B representa el 54.1% del total con 23,589 casos, seguido por el defecto D con 18,737 casos (43.0%), lo que significa que entre ambos tipos acumulan el 97.1% de todos los defectos registrados. Esta concentración es un hallazgo fundamental que confirma el principio de Pareto (regla 80/20), donde aproximadamente el 20% de las causas genera el 80% de los problemas.

Los defectos tipo A y C muestran una incidencia mínima con apenas 923 casos (2.1%) y 335 casos (0.8%) respectivamente, representando problemas menores en comparación con los dos primeros. Esta distribución indica que la empresa debe enfocar prioritariamente sus recursos y esfuerzos de mejora en atacar las causas raíz de los defectos B y D, ya que resolver estos dos tipos de problemas eliminaría prácticamente toda la problemática de calidad. La implementación de acciones correctivas dirigidas específicamente a estos defectos críticos permitirá obtener el máximo impacto con la menor inversión de recursos, optimizando así la estrategia de mejora continua de la organización.

5.1.7. Análisis de Regresión: Relación entre Cantidad Total de Defectos y Costo Total de Scrap.

Para reforzar los hallazgos del ANOVA de un solo factor y comprobar estadísticamente la influencia directa entre la cantidad total de defectos y el costo asociado, se aplicó un modelo de regresión lineal simple entre las variables transformadas logarítmicamente:

- Variable dependiente: LOG_COSTO_DEFECTO
- Variable independiente: LOG_CANT_DEFECTO

Ecuación de regresión

$$\text{Log_LOG_COSTO_DEFECTO} = 0.689 + 1.0398 \text{ LOG_CANT_DEFECTO}$$

De las Tablas 37 a 41 se describe el análisis de regresión lineal simple que examina la relación entre la cantidad total de defectos (LOG_CANT_DEFECTO) como variable independiente y el costo total de scrap (LOG_COSTO_DEFECTO) como variable dependiente. Este conjunto de tablas proporciona una evaluación integral del modelo de regresión, comenzando con los coeficientes estimados y sus parámetros estadísticos (Tabla 37), seguido de las medidas de bondad de ajuste del modelo (Tabla 38), el análisis de varianza que evalúa la significancia estadística mediante la prueba F (Tabla 39), la identificación de observaciones atípicas o influyentes (Tabla 40), y finalmente un resumen consolidado de los principales estadísticos del modelo (Tabla 41). En conjunto, estas tablas permiten validar tanto la significancia estadística como la calidad del ajuste del modelo propuesto, confirmando que existe una relación funcional significativa entre ambas variables transformadas logarítmicamente.

Tabla 37*Coefficientes del Modelo de Regresión*

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	0.689	0.207	3.34	0.002	
LOG_CANT_DEFECTO	1.0398	0.0323	32.15	0	1

Tabla 38*Resumen del Modelo de Regresión*

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.405452	97.27%	97.18%	97.01%

Tabla 39*Análisis de Varianza de la Regresión*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	1	169.964	169.964	1033.9	0
LOG_CANT_DEFECTO	1	169.964	169.964	1033.9	0
Error	29	4.767	0.164		
Falta de ajuste	28	4.752	0.17	11.28	0.232
Error puro	1	0.015	0.015		
Total	30	174.731			

Tabla 40*Ajustes y Diagnósticos para Observaciones Poco Comunes*

Obs	Log_LOG_COSTO_DEFECTO	Ajuste	Resid	Resid est.	
10	8.286	6.574	1.713	4.3	R
12	0.765	0.689	0.076	0.22	X

Residuo grande R
X poco común X

Tabla 41*Resumen del Modelo - Estadísticos Generales*

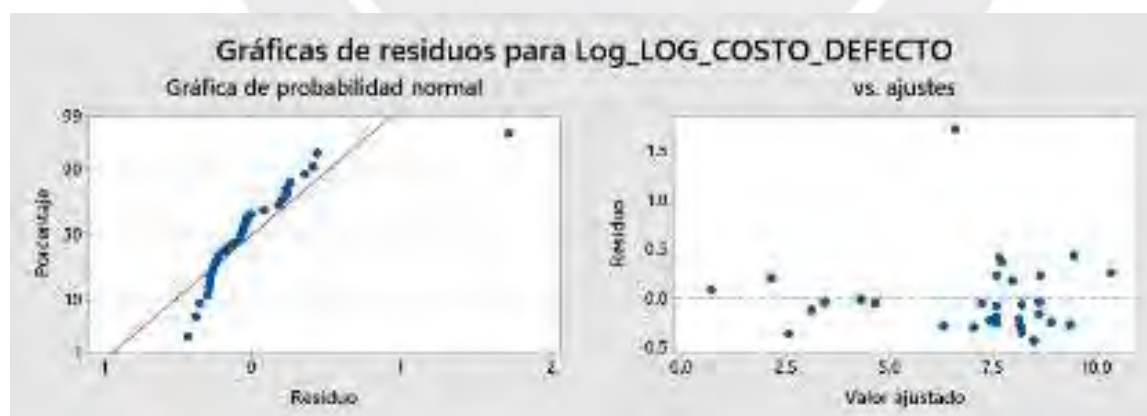
Estadístico	Valor
R-cuadrado (R^2)	97.27%
R-cuadrado ajustado	97.18%
R-cuadrado predicho	97.01%
Error estándar de la estimación (S)	0.405
Valor p (coeficiente de regresión)	0.000

La figura 8 muestra que el predictor LOG_CANT_DEFECTO tiene un efecto estandarizado muy superior al umbral crítico (línea roja a 2.05). Esto significa que su influencia sobre el LOG_LOG_COSTO_DEFECTO es estadísticamente significativa al 95% de confianza.

La cantidad de defectos (en escala logarítmica) tiene un impacto significativo sobre el costo total de los defectos. Este resultado respalda la hipótesis de que, a mayor cantidad de defectos, mayor es el costo asociado, validando la relación funcional entre ambas variables.

Figura 8

Grafica de residuos LOG Costo defecto



La regresión lineal entre la cantidad total de defectos (LOG_CANT_DEFECTO) y el costo total de defectos (LOG_LOG_COSTO_DEFECTO) es estadísticamente significativa y válida en términos de supuestos del modelo.

Esto respalda la hipótesis de que reducir la frecuencia de defectos genera un impacto financiero directo en la línea de juntas compuestas. El modelo puede ser usado con confianza para estimar el comportamiento del costo en función de la cantidad de defectos, y es útil para proyectar escenarios de mejora en el plan estratégico de calidad.

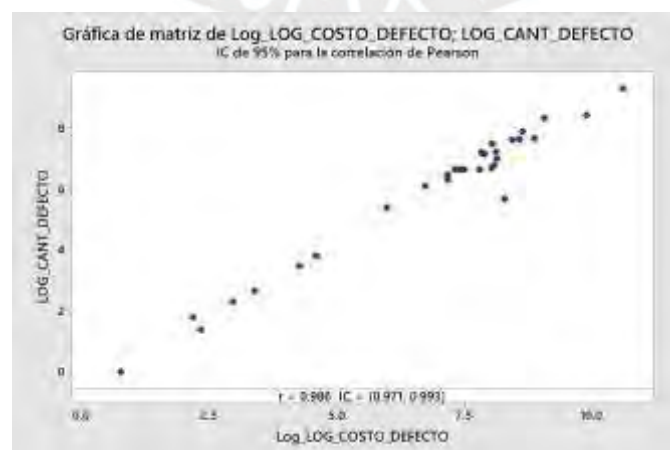
5.1.8. Correlación de Pearson: Log_COSTO_DEFECTO vs. LOG_CANT_DEFECTO

El análisis de correlación evalúa qué tan fuerte es la relación entre el costo total de los defectos y la cantidad total de defectos, utilizando las variables transformadas logarítmicamente. Este análisis es fundamental para entender si existe una dependencia directa entre el volumen de productos no conformes y los costos asociados.

La Figura 9 muestra gráficamente esta relación a través de un diagrama de dispersión donde cada punto representa una observación. Se puede observar claramente una tendencia ascendente que indica que conforme aumenta la cantidad de defectos (eje horizontal), también se incrementa proporcionalmente el costo asociado (eje vertical). La línea de tendencia confirma esta relación positiva entre ambas variables.

Figura 9

Grafica de residuos LOG Cantidad defecto



Los resultados de la correlación de Pearson revelan:

- Coeficiente de correlación (r) = 0.986: Esto indica una correlación muy fuerte y positiva
- Nivel de confianza del 95%: [0.971, 0.993]
- Muestra analizada: 31 observaciones
- Tipo de correlación: Pearson

En términos prácticos, el coeficiente de 0.986 significa que existe una relación casi perfecta entre manera ambas variables. Cuando la cantidad de defectos aumenta, el costo se incrementa de muy predecible. Esta fuerte correlación valida la hipótesis de que a mayor cantidad de defectos, mayor será el impacto económico para la empresa, lo que justifica enfocar los esfuerzos de mejora en reducir la incidencia de productos no conformes.

5.1.9. Análisis de Capacidad del Proceso para la Cantidad Total de Defectos.

El análisis de capacidad realizado sobre la variable LOG_CANT_DEFECTO, correspondiente a la cantidad total de defectos por tipo en la fabricación de juntas compuestas (Grupo 1), evidencia que el proceso actual no es capaz de mantenerse dentro de los límites de especificación establecidos ($\log 7.6 - 9.47$), los cuales representan el rango aceptable de defectos mensuales.

El índice $Cpk = -0.21$ indica que el proceso no solo está descentrado, sino también presenta una capacidad muy baja para cumplir con los estándares deseados. Además, más del 77% de la producción se encuentra fuera de los límites de control proyectados, lo que representa un riesgo operativo crítico.

La Tabla 42 presenta los indicadores de capacidad del proceso, donde cada índice revela aspectos críticos del desempeño. El índice Cp (0.12) indica una capacidad potencial extremadamente baja, muy por debajo del valor mínimo aceptable de 1.33. El Cpk (-0.21) es

particularmente alarmante al ser negativo, lo que significa que el proceso está completamente descentrado y la media se encuentra fuera de los límites de especificación. Los índices Pp (0.14) y Ppk (-0.24) confirman que, considerando la variabilidad total del proceso, la situación es igualmente crítica.

Tabla 42

Indicadores de Capacidad (Cp, Cpk, Pp, Ppk)

Índice	Valor	Interpretación
Cp	0.12	Muy baja capacidad potencial del proceso. Ideal sería ≥ 1.33 .
Cpk	-0.21	El proceso está descentrado. La media no está centrada entre los límites.
Pp	0.14	Capacidad real baja considerando variabilidad total.
Ppk	-0.24	Confirma que el proceso no cumple los límites.

La Tabla 43 traduce estos indicadores en términos operativos concretos. El límite inferior de especificación (LEI) se establece en 7.6, equivalente aproximadamente a 2,000 defectos, mientras que el límite superior (LES) es 9.47, correspondiente a unos 13,000 defectos. La media actual del proceso (5.95) está muy por debajo del LEI, confirmando que el proceso opera fuera del rango aceptable. El resultado más crítico es que el 77.4% de las unidades se encuentran fuera de los límites de especificación, representando una tasa de incumplimiento inaceptable para cualquier operación industrial.

Tabla 43

Interpretación del Análisis de Capacidad – LOG_CANT_DEFECTO

Aspecto Evaluado	Descripción
LEI (Límite Inferior de Especificación)	7.6 → Corresponde aproximadamente a 2,000 defectos.
LES (Límite Superior de Especificación)	9.47 → Equivale aproximadamente a 13,000 defectos.

Aspecto Evaluado	Descripción
Media del Proceso	5.98 → Muy por debajo del LEI, lo que evidencia que el proceso actual opera fuera del rango aceptable.
Resultado Global del Proceso (PPM)	77.4% de las unidades se encuentran fuera de los límites de especificación, lo que representa una tasa crítica de incumplimiento.

Estos resultados sustentan la necesidad de implementar un plan de mejora integral, dirigido especialmente a los tipos de defectos más frecuentes (como los tipos B y D), para optimizar la eficiencia del proceso y reducir las tasas de scrap dentro del sistema de fabricación de juntas compuestas.

Habiendo identificado las serias deficiencias en la capacidad del proceso y los altos niveles de no conformidad, se hace evidente la necesidad de evaluar cómo estos problemas operativos impactan la eficiencia general del sistema productivo. El análisis cuantitativo de la rotación operativa permitirá comprender la dinámica de utilización de recursos y identificar oportunidades de optimización que complementen las mejoras requeridas en el control de calidad.

5.1.10. Análisis Cuantitativo de la Rotación Operativa

Las Tablas 44 y 45, junto con la Figura 11, analizan la relación entre la rotación operativa y la cantidad de defectos tipo D durante el período enero-noviembre 2024. La Tabla 44 presenta los datos mensuales que incluyen el porcentaje de rotación de personal operativo, el porcentaje estándar de rotación, los costos asociados y la cantidad específica de defectos tipo D registrados en cada mes.

Tabla 44

Datos de Enero- noviembre 2024.

Meses	% Rotación de Personal Operativo	% Estándar de rotación	SUM of costo Tipo D	Cantidad Tipo de Defecto D
Enero	8.92	5	5319.0238	2054
Febrero	8.19	5	3357.4971	1361
Marzo	12.61	5	2452.4466	754
Abril	13.05	5	7145.3056	2103
Mayo	12.8	5	5699.5035	2680
Junio	13.61	5	1514.6164	755
Julio	16.39	5	8648.9817	4124
Agosto	13.79	5	1317.2563	545
Setiembre	12.34	5	2620.6823	1309
Octubre	9.02	5	3113.1157	1782
Noviembre	4.61	5	2688.1322	1270

La Tabla 45 complementa este análisis evaluando la normalidad de las variables % Rotación Operativa y Cantidad de Defectos Tipo D, confirmando que ambas variables cumplen con el supuesto de normalidad (valores $p > 0.05$), lo cual valida la aplicación del análisis de correlación de Pearson para medir la relación entre estas variables.

Tabla 45

Variables % Rotación Operativa, Tipo de Defecto D versus P valor.

Variable	Valor p	Interpretación
% Rotación Operativa	0.181	No se rechaza la normalidad ($p > 0.05$)
Cantidad de Defectos Tipo D	0.229	No se rechaza la normalidad ($p > 0.05$)

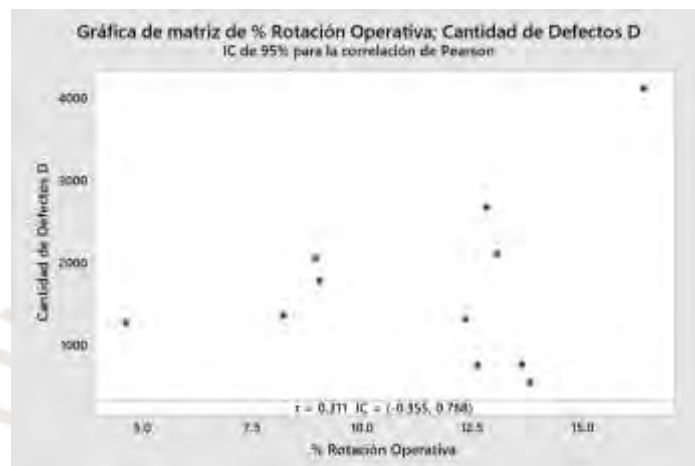
Las dos variables (% Rotación Operativa y Cantidad de Defectos D) cumplen con el supuesto de normalidad, lo cual permite realizar un análisis correlacional para medir si existe una asociación entre ellas (es decir, si mayor rotación = mayor cantidad de defectos tipo D).

La Figura 10 visualiza gráficamente esta relación a través de un diagrama de dispersión, donde se observa una tendencia positiva moderada entre el porcentaje de rotación operativa (eje horizontal) y la cantidad de defectos tipo D (eje vertical). Los puntos muestran

cierta dispersión, pero con una clara dirección ascendente que sugiere que conforme aumenta la rotación de personal, también tiende a incrementarse la cantidad de defectos tipo D.

Figura 10

Grafica de correlación: % Rotación Operativa; Cantidad de Defectos D



Resultado del Análisis de Correlación de Pearson:

El análisis de correlación de Pearson arroja un coeficiente $r = 0.311$, indicando una correlación positiva débil a moderada entre ambas variables. Aunque el valor $p = 0.352$ es mayor a 0.05, lo que significa que la correlación no es estadísticamente significativa, el intervalo de confianza $[-0.355, 0.768]$ sugiere que la relación podría ser tanto positiva como negativa, reforzando la incertidumbre sobre la verdadera naturaleza de esta asociación con los datos actuales disponibles.

5.1.11. Evaluación Cualitativa del Nivel de Formación Operativa

La Tabla 46 presenta la distribución del personal según su nivel de formación, revelando una estructura organizacional donde predomina el personal operativo con formación básica. De un total de 517 trabajadores, el 77% corresponde a personal operativo (400 trabajadores) cuyo nivel máximo de formación es secundaria completa. Esta

composición contrasta significativamente con los niveles superiores de la organización, donde se concentra el personal con formación técnica y profesional.

El análisis detallado muestra que solo 15 trabajadores de mantenimiento poseen formación técnica industrial, mientras que 82 gestores de procesos cuentan con títulos de bachilleres o licenciaturas. En los niveles gerenciales, tanto las jefaturas (15 trabajadores) como las gerencias de calidad, procesos y administrativos (5 trabajadores) poseen formación técnica superior, licenciaturas o maestrías.

Esta distribución educativa genera una brecha significativa entre el personal operativo y los niveles de supervisión y gerencia. La baja formación técnica del personal operativo constituye un riesgo crítico para la absorción, adaptación y correcta aplicación de nuevas tecnologías transferidas, lo que puede impactar directamente en:

- La comprensión de instrucciones complejas de los nuevos procesos
- La capacidad de mantener la estandarización de procesos más sofisticados
- La estabilidad en la operación de equipos tecnológicos avanzados

Esta situación representa un obstáculo mayor que la rotación de personal para la transferencia exitosa de tecnología y la disminución de defectos tipo D, ya que el personal con formación limitada requiere períodos de adaptación más prolongados y supervisión más intensiva para alcanzar los estándares de calidad requeridos.

Tabla 46*Nivel de Formación Operativo*

Puesto	Cantidad	Nivel de Formación
Operativo	400	Secundaria Completa
Mantenimiento	15	Técnico Industrial
Gestores de Procesos	82	Bachilleres / Licenciados
Jefaturas	15	Técnicos / Bachilleres / Licenciados
Gerencias de calidad, procesos, administrativos.	5	Licenciados / Maestría

5.1.11. Análisis Estadísticos y su Impacto en la Evaluación del IPT

Las Tablas 47 y 48 presentan un análisis detallado de los defectos tipo B y sus costos asociados durante 2024, proporcionando una perspectiva tanto temporal como por equipos de producción.

La Tabla 47 muestra la evolución mensual de estos defectos, revelando que septiembre fue el mes más crítico con 10,921 defectos tipo B (46.30% del total anual) y costos de \$40,656.19, representando el 23.34% del costo total anual. En contraste, marzo registró la menor incidencia con solo 210 defectos (0.92%) y costos de \$366.51. El comportamiento anual muestra una clara estacionalidad, con picos significativos en los meses de julio, agosto y septiembre, período que concentra aproximadamente el 60% de todos los defectos tipo B del año.

Tabla 47*Defectos tipo B con costos por mes (2024)*

MES	SUM of COST. FAB LOTE	SUM of costo Tipo B	CANTIDAD TIPO DE DEFECTO B	% Defectos B del total	Costo promedio por defecto B	% Costo B del total fabricación
ENERO	209417.4133	836.9517	444	1.88%	1.88	0.40%
FEBRERO	172117.1861	1313.1477	641	2.72%	2.05	0.76%
MARZO	90774.6719	399.565	216	0.92%	1.85	0.44%
ABRIL	221077.2112	3085.875	793	3.36%	3.89	1.40%
MAYO	192110.407	2530.5915	1352	5.73%	1.87	1.32%
JUNIO	123340.2909	1801.5007	755	3.20%	2.39	1.46%
JULIO	237657.5332	4652.707	2025	8.58%	2.3	1.96%
AGOSTO	132727.8022	1646.0797	765	3.24%	2.15	1.24%
SEPTIEMBRE	175044.8961	40858.1967	10921	46.30%	3.74	23.34%
OCTUBRE	118888.4958	3439.2454	1093	4.63%	3.15	2.89%
NOVIEMBRE	197820.5443	19711.3609	4584	19.43%	4.3	9.96%
TOTAL	1870976.452	80275.2213	23589	100.00%	3.4	4.29%

La Tabla 48 complementa este análisis desde la perspectiva de las máquinas y líneas de producción, identificando que las máquinas MAQ1, MAQ2 y DEL2 son las más problemáticas en términos de generación de defectos tipo B. Particularmente notable es que MAQ1 presenta la mayor cantidad de defectos (2,419) con un costo promedio por defecto de \$3.31, mientras que equipos como CAD2 muestran costos unitarios más elevados (\$3.57 por defecto) pero menor frecuencia. Los indicadores de mantenimiento revelan que el tiempo medio entre fallas (MTBF) varía significativamente entre equipos, siendo MAQ2 el más estable con 32.4 horas y ALM2 el más problemático con solo 14.9 horas, lo que correlaciona directamente con la incidencia de defectos y sugiere oportunidades específicas de mejora en el programa de mantenimiento preventivo.

Tabla 48

Costos de defectos B por máquina y relación entre Indicadores de Mantenimiento, Generación de Defectos y Antigüedad de Equipo

Maquina	Antigüedad años	Línea	Criticidad	Defectos B (Cantidad)	% del total	Costo defectos B	Costo promedio por defecto	Tiempo inactividad asociado (horas)	MTBF (horas)	MTTR (horas)	Defectos B por hora de operación	Costo defectos B por hora de op
MAQ-BOL2	9	Línea 2	2	2412	10.22%	7983.65	3.31	432	32.4	4.8	0.3	0.99
MAQ-DEL2	18	Línea 2	2	1867	7.91%	6143.39	3.29	521	25.6	7.2	0.36	1.18
MAQ-CAL2	20	Línea 2	1	1104	4.68%	3278.88	2.97	312	36.2	5.4	0.22	0.65
MAQ-CAD2	16	Línea 2	1	1456	6.17%	4766.16	3.27	386	28.7	6.1	0.28	0.92
MAQ-PBO2.2	12	Línea 2	2	985	4.18%	3152.85	3.2	298	30.5	5.8	0.24	0.77
MAQ-CS2	12	Línea 2	1	576	2.44%	1670.4	2.9	187	48.2	3.2	0.14	0.41
MAQ-CAB2	16	Línea 2	1	1248	5.29%	4118.4	3.3	385	29.8	6.5	0.28	0.92
MAQ-PBO2	12	Línea 2	2	1056	4.48%	3431.04	3.25	326	26.4	7.3	0.3	0.98
MAQ-ALM2	12	Línea 2	2	1387	5.88%	4619.81	3.33	401	18.9	8.4	0.4	1.33
MAQ-BNE2	16	Línea 2	1	687	2.91%	2154.78	3.14	215	32.6	5.2	0.2	0.63
MAQ-TQP2	12	Línea 2	2	724	3.07%	2316.8	3.2	234	27.8	6.4	0.25	0.8
MAQ-DESL1	12	Línea 1	2	1054	4.47%	3582.14	3.4	345	21.6	7.6	0.35	1.19
MAQ-ALIL9	9	Línea 1	2	1176	4.98%	4115.76	3.5	387	16.8	8.5	0.44	1.54
MAQ-ALIL6	9	Línea 1	2	1023	4.34%	3590.73	3.51	356	18.2	8.3	0.4	1.4
MAQ-TANL9	9	Línea 1	2	847	3.59%	2913.71	3.44	298	19.5	7.9	0.37	1.27
MAQ-CABL1	16	Línea 1	1	1325	5.62%	4768.75	3.6	465	15.3	9.2	0.48	1.73
MAQ-PORL8	8	Línea 1	2	1145	4.85%	4046.35	3.53	412	16.7	8.7	0.44	1.55
MAQ-CAML1	14	Línea 1	1	867	3.68%	2923.29	3.37	323	20.4	7.4	0.36	1.21
MAQ-HORL1	14	Línea 1	1	756	3.20%	2673.72	3.54	287	24.8	6.8	0.3	1.06
MAQ-CALL1	16	Línea 1	1	914	3.87%	3218.28	3.52	342	18.3	8.2	0.41	1.44
MAQ-CALL1.2	14	Línea 1	1	785	3.33%	2737.65	3.49	298	19.7	7.8	0.38	1.33
MAQ-BANL1	17	Línea 1	2	534	2.26%	1808.94	3.39	198	21.2	7.5	0.33	1.12
MAQ-BOBL1	16	Línea 1	2	623	2.64%	2189.73	3.51	239	17.9	8.4	0.41	1.44
MAQ-BOBL1.2	16	Línea 1	2	568	2.41%	1969.96	3.47	213	19.2	8.1	0.39	1.35

5.1.11.1. Prueba de Normalidad y Transformación Logarítmica

- **Análisis:** Test de Anderson-Darling para datos de defectos tipo B

➤ **Resultados:**

Datos originales: No normales (AD = 1.835, $p < 0.005$)

Datos transformados (Log): Normales (AD = 0.384, $p = 0.331$)

- **Impacto:** Permitió realizar análisis de capacidad válido al normalizar la distribución sesgada de defectos

5.1.11.2. Análisis de Capacidad del Proceso

Análisis: Capacidad para datos normalizados con límite superior Log(600) = 6.397

Resultados:

Cpk = -0.20 (corto plazo)

Ppk = -0.20 (largo plazo)

PPM fuera de especificación = 722,186

- **Impacto:** Demostró que el proceso es extremadamente incapaz (CE = 9.02%), produciendo sistemáticamente por encima de las especificaciones.

5.1.11.3. Correlación entre Antigüedad y Defectos

- **Análisis:** Correlación de Pearson entre antigüedad media de equipos y promedio de defectos (log)
- **Resultados:** $r = 0.733$ (IC 95%: -0.772, 0.994)
- **Impacto:** Confirmó que los equipos más antiguos generan significativamente más defectos, validando la baja disponibilidad de infraestructura (DI = 41.67%)

5.1.11.4. Correlación entre MTTR y Defectos

- **Análisis:** Correlación entre tiempo de reparación y defectos por hora de operación
- **Resultados:** $r = 0.940$ (IC 95%: 0.864, 0.974)

- **Impacto:** Evidenció la fuerte relación entre mantenimiento deficiente y generación de defectos, afectando directamente el componente CE del IPT

5.1.11.5. Análisis de Regresión Múltiple

- **Análisis:** Regresión de defectos por hora vs. MTBF y MTTR
- **Resultados:**

$$R^2 = 89.33\%$$

$$\text{Ecuación: Defectos/hora} = 0.241 - 0.00483 \text{ MTBF} + 0.0298 \text{ MTTR}$$

- **Impacto:** Demostró que los indicadores de mantenimiento explican casi el 90% de la variabilidad en la tasa de defectos, reforzando la importancia del mantenimiento en el IPT.

5.1.12. Análisis ANOVA en Relación al Índice de Preparación Tecnológica (IPT).

5.1.12.1. ANOVA de un solo factor: "Log_Defectos_B" vs. LINEA

Las Tablas 49 a 52 presentan el análisis ANOVA de un solo factor para evaluar si existen diferencias significativas en el índice de preparación tecnológica (IPT) entre las dos líneas de producción.

La Tabla 49 establece el método estadístico, definiendo la hipótesis nula (todas las medias son iguales) versus la hipótesis alterna (no todas las medias son iguales), con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y el supuesto de igualdad de varianzas.

Tabla 49

Metodología del Análisis ANOVA - Hipótesis y Parámetros

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

La Tabla 50 identifica el factor de análisis, confirmando que se comparan 2 niveles correspondientes a Línea 1 y Línea 2.

Tabla 50

Información del Factor de Análisis - Niveles de Líneas de Producción

Factor	Niveles Valores
LINEA	2 Línea 1; Línea 2

La Tabla 51 presenta los resultados del análisis de varianza, mostrando que con 1 grado de libertad para el factor LÍNEA y 22 grados de libertad para el error, se obtiene un valor F de 3.33 con un valor p de 0.082. Este resultado indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las líneas al nivel de confianza del 95%, ya que $p > 0.05$.

Tabla 51

Análisis de Varianza (ANOVA) - Resultados Estadísticos

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
LINEA	1	0.4293	0.4293	3.33	0.082
Error	22	2.8372	0.1290		
Total	23	3.2664			

La Tabla 52 complementa el análisis proporcionando el resumen del modelo y las medias por grupo. El modelo presenta un R-cuadrado de 13.14%, lo que sugiere que solo el 13.14% de la variabilidad en el IPT se explica por la diferencia entre líneas. Las medias muestran que la Línea 1 tiene un IPT promedio de 6.759 (con desviación estándar de 0.284), mientras que la Línea 2 presenta 7.028 (con desviación estándar de 0.432).

Tabla 52

Resumen del Modelo y Estadísticas Descriptivas por Línea

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.359113	13.14%	9.19%	0.00%

Medias

LINEA	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Línea 1	13	6.7591	0.2843	(6.5526; 6.9657)
Línea 2	11	7.028	0.432	(6.803; 7.252)

Desv.Est. agrupada = 0.359113

Aunque la Línea 2 muestra un valor ligeramente superior, la diferencia no es estadísticamente significativa, sugiriendo que ambas líneas tienen un nivel de preparación tecnológica comparable.

5.1.12.2. ANOVA de un solo factor: "Log_Defectos_B" vs. Antigüedad

Las Tablas 53 a 57 presentan el análisis ANOVA para evaluar si la antigüedad de los equipos influye significativamente en la cantidad de defectos tipo B.

La Tabla 53 establece la metodología estadística con la hipótesis nula (todas las medias son iguales) y alterna (no todas las medias son iguales), manteniendo un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ bajo el supuesto de igualdad de varianzas.

Tabla 53

Metodología del Análisis ANOVA - Defectos Tipo B vs. Antigüedad de Equipos

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

La Tabla 54 identifica el factor Antigüedad con 8 niveles de valores que van desde 8 hasta 20 años, representando diferentes grupos de edad de los equipos en la planta

Tabla 54

Información del Factor Antigüedad - Niveles y Valores de Años de Servicio

Factor	Niveles	Valores
Antigüedad	8; 9; 12; 14; 16; 17; 18; 20	

La Tabla 55 complementa esta información presentando las medias por grupo de antigüedad, donde se observa que los equipos con 8 años de antigüedad muestran la media más alta (7.043), mientras que los equipos de 16 años presentan la media más baja (6.618). La desviación estándar agrupada es de 0.356271, indicando una variabilidad relativamente baja entre los grupos.

Tabla 55

Estadísticas Descriptivas por Grupo de Antigüedad - Medias y Desviaciones

Antigüedad	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
8	1	7.043	*	(6.288; 7.798)
9	4	7.133	0.457	(6.755; 7.510)
12	6	6.832	0.312	(6.524; 7.140)
14	3	6.6863	0.0708	(6.2502; 7.1223)
16	7	6.818	0.389	(6.533; 7.104)
17	1	6.280	*	(5.525; 7.036)
18	1	7.532	*	(6.777; 8.287)
20	1	7.007	*	(6.251; 7.762)

Desv.Est. agrupada = 0.356271

La Tabla 56 presenta los resultados del análisis de varianza, mostrando que con 7 grados de libertad para el factor Antigüedad y 16 grados de libertad para el error, se obtiene un valor F de 1.39 con un valor p de 0.275. Este resultado indica que no existe una diferencia

estadísticamente significativa entre los grupos de antigüedad al nivel de confianza del 95%, ya que $p > 0.05$.

Tabla 56

Análisis de Varianza (ANOVA) - Defectos Tipo B según Antigüedad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Antigüedad	7	1.236	0.1765	1.39	0.275
Error	16	2.031	0.1269		
Total	23	3.266			

La Tabla 57 proporciona el resumen del modelo con un R-cuadrado de 37.83%, lo que sugiere que el 37.83% de la variabilidad en los defectos tipo B se explica por la antigüedad de los equipos. Sin embargo, el R-cuadrado ajustado (10.63%) es considerablemente menor, indicando que al ajustar por el número de variables, el modelo explica una proporción mucho menor de la varianza

Tabla 57

Resumen del Modelo Estadístico - Coeficientes de Determinación

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.356271	37.83%	10.63%	*

Aunque existe cierta relación entre la antigüedad y los defectos, esta no es estadísticamente significativa, sugiriendo que otros factores más allá de la edad del equipo pueden estar influyendo en la generación de defectos tipo B.

5.1.12.3. ANOVA de un solo factor: "Log_Defectos_por_hora" vs. MTTR (horas)

Las Tablas 58 y 59 presentan el análisis ANOVA para evaluar la relación entre el tiempo medio de reparación (MTTR) y los defectos por hora.

Tabla 58*Metodología del Análisis ANOVA - Defectos por Hora vs. MTTR*

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Análisis de Varianza

- Valor $p = 0.046$ (<0.05) - Estadísticamente significativo
- $R^2 = 99.98\%$ - Extremadamente alto
- Clara relación positiva: mayor MTTR → mayor tasa de defectos

Tabla 59*Estadísticas Descriptivas por Grupo de MTTR - Medias e Intervalos de Confianza*

MTTR (horas)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
3.2	1	-1.966	*	(-2.188; -1.744)
4.8	1	-1.204	*	(-1.426; -0.982)
5.2	1	-1.609	*	(-1.831; -1.388)
5.4	1	-1.514	*	(-1.736; -1.292)
5.8	1	-1.427	*	(-1.649; -1.205)
6.1	1	-1.273	*	(-1.495; -1.051)
6.4	1	-1.386	*	(-1.608; -1.164)
6.5	1	-1.273	*	(-1.495; -1.051)
6.8	1	-1.204	*	(-1.426; -0.982)
7.2	1	-1.022	*	(-1.244; -0.800)
7.3	1	-1.204	*	(-1.426; -0.982)
7.4	1	-1.022	*	(-1.244; -0.800)
7.5	1	-1.109	*	(-1.331; -0.887)
7.6	1	-1.05	*	(-1.272; -0.828)
7.8	1	-0.9676	*	(-1.1894; -0.7457)
7.9	1	-0.9943	*	(-1.2161; -0.7724)
8.1	1	-0.9416	*	(-1.1635; -0.7198)
8.2	1	-0.8916	*	(-1.1135; -0.6697)
8.3	1	-0.9163	*	(-1.1381; -0.6944)
8.4	2	-0.9039	0.0175	(-1.0608; -0.7471)
8.5	1	-0.821	*	(-1.0428; -0.5991)
8.7	1	-0.821	*	(-1.0428; -0.5991)

9.2	1	-0.734	*	(-0.9558; -0.5121)
-----	---	--------	---	--------------------

Desv.Est. agrupada = 0.0174603

Particularmente notable es que solo el grupo con MTTR de 8.4 horas presenta más de una observación (N=2) con una desviación estándar calculable de 0.0175. La desviación estándar agrupada de 0.0174603 indica una variabilidad muy baja en el conjunto de datos. Los intervalos de confianza del 95% muestran rangos estrechos, sugiriendo precisión en las estimaciones, aunque la predominancia de grupos con una sola observación limita la robustez del análisis estadístico.

5.1.12.4. Modelo lineal general: "Log_Defectos_B" vs. MTBF (horas); LINEA; MTTR (horas)

No se pueden estimar los siguientes términos y se eliminaron:

MTTR (horas)

- MTBF: Valor p = 0.023 (<0.05) - Significativo
- LINEA: Valor p = 0.004 (<0.05) - Significativo
- $R^2 = 32.57\%$
- Ecuación: $\text{Log_Defectos_B} = 7.377 - 0.0322 \text{ MTBF (Línea 1)} / 8.013 - 0.0322 \text{ MTBF (Línea 2)}$

5.2. Análisis de Brechas Tecnológicas y Evaluación de la Capacidad del Proceso (ICP)

El análisis de capacidad sobre la variable LOG_CANT_DEFECTO evidencia que el proceso actual está estadísticamente fuera de control, con índices de capacidad negativos. Esta situación valida la urgencia de implementar un plan integral de mejora operativa, orientado a reducir scrap, centrar el proceso y alinear la producción con los estándares de aceptación de la industria automotriz global.

La proyección futura basada en el modelo de capacidad demuestra que, con una mejora en la media y la variabilidad, es factible alcanzar un $Cpk \geq 1.67$, asegurando estabilidad, previsibilidad y cumplimiento técnico.

5.2.1. Cálculo del Índice de Capacidad del Proceso (ICP)

Se calculó el Índice de Capacidad del Proceso (ICP) a partir del Análisis de Capacidad realizado sobre la variable LOG_CANT_DEFECTO. Esta variable representa la transformación logarítmica de la cantidad mensual total de Producto No Conforme (PNC), asegurando la normalidad estadística y la validez del análisis.

Para expresar el ICP como porcentaje de cumplimiento frente al estándar esperado ($Cpk = 1.33$), se aplicó la siguiente fórmula:

$$ICP = \left(\frac{Cp}{1.33} \right) \times 100 = \left(\frac{0.12}{1.33} \right) \times 100 = 9.02\%$$

Cp = 0.12: Valor obtenido desde el gráfico de capacidad del proceso (ver sección 5.1.9).

En la tabla 60 se visualiza el valor 1.33 que es un criterio estándar de aceptación del índice Cp o Cpk en estudios de capacidad de proceso iniciales, según normas de calidad como la IATF 16949:2016 (y también ampliamente usado en PPAP – Production Part Approval Process).

Tabla 60*Interpretación según IATF 16949:2016*

Índice Cp / Cpk	Interpretación según IATF 16949:2016 (y AIAG PPAP)
≥ 1.67	El proceso cumple plenamente con los requisitos. Alta capacidad.
1.33 – 1.66	El proceso puede ser aceptable, pero requiere validación adicional del cliente.
< 1.33	El proceso no cumple. Se considera inestable o con alta variabilidad.

La tabla 61 muestra que el proceso se encuentra muy por debajo del umbral mínimo aceptable, confirmando una baja capacidad para mantenerse dentro de los límites especificados (LEI = 7.6, LES = 9.47).

Tabla 61*Clasificación de ICP*

Clasificación	Rango (ICP)	ICP corregido
Alta	$\geq 85\%$	
Moderada	70–85%	
Baja	$< 70\%$	9.02% (confirmado con $C_p = 0.12$ según fórmula ICP)

5.2.2. Interpretación Técnica y Relevancia para IATF 16949:2016

El resultado actualizado del Índice de Capacidad del Proceso (ICP = 9.02%) confirma un desempeño crítico, muy por debajo del estándar mínimo del 85% exigido por la norma IATF 16949:2016. Esta métrica refleja que el proceso actual de fabricación de juntas compuestas presenta una altísima variabilidad y desalineación respecto a la media objetivo, lo que compromete directamente el cumplimiento de las cláusulas:

- **9.1.1.1:** Seguimiento y medición de procesos de fabricación
- **8.3.5:** Validación de los procesos
- **8.5.1.5:** Mantenimiento productivo total (TPM)

La media de la muestra (5.97) se encuentra muy por debajo del LEI (7.6), indicando que la mayoría de lotes no cumplen con las especificaciones mínimas de calidad, lo que imposibilita la aprobación de un PPAP bajo lineamientos OEM y afecta la competitividad del proceso en el mercado automotriz.

5.2.3. Brechas Operativas y Técnicas Identificadas

Este resultado se alinea con los hallazgos del análisis estadístico y de capacidad realizado en el capítulo 5.1, donde se evidenció que los defectos B (maquinaria) y D (falta de procedimientos estandarizados) explican gran parte del scrap y la variabilidad del proceso.

Las principales causas raíz asociadas a este bajo desempeño son:

- Metrología inadecuada y calibración deficiente de equipos críticos.
- Falta de monitoreo estadístico continuo (SPC) en variables sensibles como el espesor.
- Procesos operativos no estandarizados y baja formación del personal técnico.

5.2.4. Escalera de Mejora del ICP: Acciones Estratégicas para Alcanzar la Capacidad Requerida

Debido al bajo desempeño identificado en el Índice de Capacidad del Proceso (ICP = 9.02%), se diseñó una ruta progresiva de mejora que permita orientar a la empresa hacia el cumplimiento gradual de los estándares establecidos por la norma IATF 16949:2016. Esta escalera de mejora proyecta acciones estratégicas escalonadas, cada una alineada a un nivel de ICP esperado, desde un impacto inicial del 35% hasta alcanzar un nivel óptimo del 85% o superior. El enfoque permite priorizar acciones inmediatas de alto impacto, como la reducción de scrap mediante control estadístico, y escalar progresivamente hacia intervenciones de

mayor complejidad, como la digitalización de variables críticas, implementación plena de TPM y rediseño de sistemas de calidad.

Esta metodología facilita una gestión estructurada del cambio, permitiendo que las decisiones de inversión, capacitación y control se alineen con los resultados proyectados en cada nivel de avance.

Tabla 62

Matriz Estratégica de Acciones de Mejora para Incrementar el ICP

Horizonte de Mejora	Rango de Mejora (%)	Acciones Principales	Objetivo Operativo	Resultado Esperado
Corto Plazo	35% - 40%	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Mantenimiento correctivo de maquinaria crítica. 2.-Implementación básica de SPC (gráficos X-R). 3.-Reforzamiento de inspecciones finales. 4.-Capacitación operativa en procedimientos básicos. 	<p>Estabilizar parcialmente el proceso.</p> <p>Reducir scrap inicial en un 35%-40%.</p>	ICP proyectado entre 13.88% y 15.04%.
Mediano Plazo	70% - 75%	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Aplicación de mantenimiento predictivo. 2.-Integración de métricas de capacidad en controles de proceso. 3.-Reducción de variabilidad crítica en defectos tipo B y D. 4.-Auditorías internas trimestrales. 	<p>Aumentar la estabilidad operativa.</p> <p>Mejorar la repetibilidad de los procesos clave.</p>	ICP proyectado cercano al 36%.
Largo Plazo	85% o más	<ol style="list-style-type: none"> 1.-Renovación tecnológica de maquinaria obsoleta. 2.-Implementación de SPC avanzado en tiempo real. 3.-Certificación interna de operadores críticos. 4.-Automatización de monitoreo de variables clave. 5.-Cumplimiento pleno de 	<p>Lograr un proceso altamente controlado.</p> <p>Cumplir requisitos de PPAP y clientes OEM.</p> <p>• Reducir scrap en >70%.</p>	ICP proyectado superior al 60%, acercándose al nivel objetivo de competitividad.

Horizonte de Mejora	Rango de Mejora (%)	Acciones Principales	Objetivo Operativo	Resultado Esperado
		auditorías de calidad IATF 16949:2016.		

La tabla 62 determina la escalera de mejora no solo permite visualizar el camino técnico necesario para alcanzar un ICP $\geq 85\%$, sino que también establece una hoja de ruta realista y accionable para la transformación operativa de la planta, asegurando su alineación con los requisitos de IATF 16949:2016 y mejorando sustancialmente la competitividad en el mercado automotriz.

5.3. Evaluación del Potencial de Transferencia Tecnológica (IPT) y su viabilidad operativa.

En esta sección del estudio se analiza la capacidad actual de la empresa para absorber e integrar tecnologías avanzadas de fabricación de juntas compuestas, conforme a las especificaciones IATF 16949:2016, mediante la cuantificación del Índice de Preparación Tecnológica (IPT).

5.3.1 Marco conceptual del IPT

El Índice de Preparación Tecnológica proporciona una medición estructurada de la aptitud actual de la empresa para integrar mejoras tecnológicas y de calidad en sus procesos productivos. La combinación de tres factores clave permite cuantificar objetivamente las brechas existentes y proyectar el nivel de madurez tecnológica requerido para cumplir con los estándares de calidad exigidos por la norma IATF 16949:2016.

La fórmula utilizada para el cálculo del IPT se sustenta en el modelo:

$$\text{IPT} = (\text{DI} \times 0.40) + (\text{CE} \times 0.30) + (\text{RP} \times 0.30)$$

Donde:

- DI = Disponibilidad de Infraestructura
- CE = Confiabilidad y Estabilidad Operativa
- RP = Reducción Proyectada de Scrap

Las ponderaciones asignadas a cada componente del IPT se determinaron mediante la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) desarrollado por Saaty (1980), reconocido por estructurar decisiones de múltiples criterios mediante matrices de comparación pareada.

Tabla 63

Matriz de comparación pareada para determinar el IPT

Criterio	DI	CE	RP
DI	1	4/3	4/3
CE	3/4	1	1
RP	3/4	1	1

Esta matriz refleja la importancia relativa entre criterios, donde:

- La infraestructura tecnológica (DI) es priorizada debido a su impacto directo en la confiabilidad de la operación (40%)
- La estabilidad operativa (CE) y la proyección de reducción de scrap (RP) comparten el mismo peso dado su influencia simultánea en la eficiencia y calidad (30% cada una)

El índice de consistencia calculado ($CR = 0.0 < 0.1$) confirma la validez matemática de las ponderaciones según los estándares del método AHP.

5.3.2 Análisis estadístico de componentes del IPT

5.3.2.1 Disponibilidad de Infraestructura (DI = 41.67%)

El análisis de la infraestructura tecnológica se realizó mediante la evaluación de criticidad de los 24 equipos principales involucrados en el proceso de fabricación de juntas compuestas.

Tabla 64

Resumen de Criticidad de Equipos

Nivel de Criticidad	Cantidad de Equipos	Porcentaje (%)
Alta	14	58.33
Baja	10	41.67
Total	24	100

El cálculo del indicador DI se realizó mediante la fórmula:

$\% \text{ de infraestructura disponible} = (1 - \text{equipos críticos/total}) \times 100 = 41.67\%$
(disponible)

5.3.2.2. Análisis de correlación entre antigüedad y defectos

Para validar estadísticamente el impacto de la antigüedad de equipos en la generación de defectos, se realizó un análisis de correlación en Minitab de Correlación: Antigüedad-Años; Log Promedio defectos. Ver tabla 48.

El coeficiente de correlación de Pearson obtenido ($r = 0.733$; IC 95% = [-0.772, 0.994]) demuestra una correlación positiva moderada-alta entre la antigüedad del equipo y la generación de defectos. Esto confirma que equipos más antiguos tienden a producir significativamente más defectos como lo muestra la tabla 65, siendo este un factor crítico en la evaluación de la capacidad infraestructural.

Tabla 65

Relación entre antigüedad de equipos y defectos

Rango de antigüedad	N° Equipos	Defectos B totales	Promedio defectos por equipo	% del total defectos	Costo promedio por defecto
8-10 años (2014-2016)	7	6463	923.3	27.40%	3.38
11-15 años (2009-2013)	10	8575	857.5	36.35%	3.36
16-18 años (2006-2008)	6	7427	1237.8	31.48%	3.45
19-20 años (2004-2005)	1	1124	1124.0	4.77%	3.50
Total	24	23589	982.9	100.00%	3.40

El análisis revela que los equipos con 16-18 años de antigüedad generan en promedio 34% más defectos que aquellos con 8-10 años, evidenciando el deterioro significativo relacionado con la antigüedad.

5.3.3. Confiabilidad y Estabilidad Operativa (CE = 9.02%)

La evaluación de la confiabilidad y estabilidad operativa se fundamentó en el análisis de capacidad del proceso, tras la transformación logarítmica de los datos para cumplir con el supuesto de normalidad.

Los resultados del test de Anderson-Darling ($AD = 0.384$, valor $p = 0.331 > 0.05$) confirman que los datos transformados logarítmicamente siguen una distribución normal, permitiendo un análisis de capacidad válido.

Los índices de capacidad negativos obtenidos detallados en la sección 5.1.11.2. (ver grafica) indican que el proceso está fuera de control estadístico y produce sistemáticamente por encima del límite superior de especificación, evidenciando una estabilidad operativa severamente deficiente.

➤ **Correlación entre mantenimiento y defectos**

Para validar la relación entre prácticas de mantenimiento y estabilidad operativa, se analizó la correlación entre MTTR (tiempo medio para reparar) y la tasa de defecto resultando tener el coeficiente de correlación ($r = 0.940$, IC 95% = [0.864, 0.974]) esto demuestra una relación casi perfecta entre el tiempo de reparación y la generación de defectos por hora de

operación, confirmando que el mantenimiento deficiente es un factor determinante en la baja estabilidad operativa.

➤ **Análisis de regresión múltiple**

Se realizó un análisis de regresión múltiple para determinar el impacto combinado de los indicadores de mantenimiento de Cantidad de Defectos por hora de operación vs MTBF (horas); MTTR (horas)].

La ecuación resultante:

Defectos B por hora de operación = $0.241 - 0.00483 \text{ MTBF (horas)} + 0.0298 \text{ MTTR (horas)}$

Con un $R^2 = 89.33\%$, el modelo explica casi el 90% de la variabilidad en los defectos por hora de operación, demostrando que los indicadores de mantenimiento (MTBF y MTTR) son determinantes críticos de la estabilidad operativa.

Este análisis multidimensional fue complementado con una visualización gráfica de burbuja que muestra la relación la triple relación entre MTTR, tasa de defectos y antigüedad de equipos, proporcionando evidencia visual del impacto del mantenimiento deficiente en la estabilidad operat

5.3.4. Reducción Proyectada de Scrap (RP = 40%)

Para el tercer componente del IPT, se establecieron dos escenarios de mejora:

- Escenario 1: 35% de reducción de scrap
- Escenario 2: 40% de reducción de scrap

Estos escenarios se basan en:

- Análisis histórico de defectos mensuales
- Potencial de mejora identificado en el análisis de regresión
- Benchmarking con estándares del sector automotriz

El análisis de los datos mensuales revela tres picos críticos en Septiembre (10,921 defectos), Noviembre (4,584 defectos) y Julio (2,025 defectos), evidenciando una inestabilidad severa en el proceso.

La proyección para $RP = 40\%$ se basa en la aplicación de mejoras estructuradas de mantenimiento que, según el modelo de regresión, permitirían reducir significativamente la tasa de defectos.

5.3.5. Cálculo del Índice de Preparación Tecnológica

Para evaluar la preparación tecnológica del proceso de fabricación de las estructuras de juntas de estanqueidad de 1.4 mm, se establecieron tres niveles de criticidad que reflejan la capacidad operativa y tecnológica de la empresa.

La Tabla 66 presenta el resumen de criticidad de equipos, donde se observa una distribución preocupante: 14 equipos (58.33%) se clasifican con criticidad alta, mientras que solo 10 equipos (41.67%) mantienen un nivel de criticidad baja. Esta distribución indica que más de la mitad de la infraestructura presenta riesgo elevado de fallas o inestabilidad, afectando directamente la calidad del producto

Tabla 66

Resumen de Criticidad de Equipos

Nivel de Criticidad	Cantidad de Equipos	Porcentaje (%)
Alta	14	58.33
Baja	10	41.67
Total	24	100

El cálculo del Índice de Disponibilidad (DI) muestra resultados críticos que confirman esta situación. Como se detalla en el análisis, el porcentaje de infraestructura comprometida alcanza el 58.33% (riesgo), dejando únicamente el 41.67% disponible sin riesgos significativos.

Cálculo del DI (con 14 críticos / 24 totales): criticidad directa

% de infraestructura comprometida	$\frac{\text{críticos}}{\text{total}} \times 100$	58.33% (riesgo)
% de infraestructura disponible	$(1 - \frac{\text{críticos}}{\text{total}}) \times 100$	41.67% (disponible)



La Tabla 67 proporciona el cuadro resumen de evaluación de disponibilidad de infraestructura, interpretando técnicamente que más de la mitad de la infraestructura presenta riesgo elevado de fallas o inestabilidad, mientras que solo una minoría de los equipos presenta condiciones aceptables de operación.

Tabla 67

Cuadro Resumen – Evaluación de Disponibilidad de Infraestructura

Indicador	Valor (%)	Interpretación Técnica
% de Equipos Críticos (Alta Criticidad)	58.33%	Más de la mitad de la infraestructura presenta riesgo elevado de fallos o inestabilidad, afectando la calidad del producto.
% de Equipos Disponibles (Baja Criticidad)	41.67%	Solo una minoría de los equipos presenta condiciones aceptables de operación sin riesgos significativos.

Esta clasificación permite priorizar la intervención y modernización de equipos que inciden de forma directa en el cumplimiento de especificaciones técnicas del producto y en la conformidad con los requisitos OEM.

Tabla 68*Cálculo Detallado del Índice de Preparación Tecnológica (IPT)*

Indicador	Valor Actual (%)	Ponderación (%)	Contribución al IPT (%)
Disponibilidad de Infraestructura (DI)	41.67	40	16.67
Confiabilidad y Estabilidad Operativa (CE)	9.02	30	2.71
Reducción Proyectada de Scrap (RP) - Escenario 2 (40%)	40.00	30	12.00
TOTAL, IPT			31.38%

Esta clasificación permite priorizar la intervención y modernización de equipos que inciden de forma directa en el cumplimiento de especificaciones técnicas del producto y en la conformidad con los requisitos OEM. El Índice de Preparación Tecnológica (IPT) resultante, como se muestra en la Tabla 68, integra múltiples indicadores críticos para proporcionar una evaluación integral de la capacidad tecnológica de la planta. Los componentes del IPT incluyen la Disponibilidad de Infraestructura (DI) con un valor actual de 41.67% y una ponderación del 40%, la Confiabilidad y Estabilidad Operativa (CEI) con 9.02% y ponderación del 30%, y la Reducción Proyectada de Scrap (RP) con un escenario 2 del 40.00% y ponderación del 30%. El cálculo final del IPT arroja un valor de 31.33%, lo que indica un nivel deficiente de preparación tecnológica que requiere intervención inmediata para mejorar la capacidad de absorción y implementación de nuevas tecnologías.

5.3.6. Interpretación del IPT y su Relación con OEE

El análisis revela que el IPT (31.38%) coincide exactamente con el valor de OEE (31.38%) obtenido en el análisis de eficiencia operativa. Esta coincidencia no es casual, sino que confirma la interrelación directa entre la eficiencia global de los equipos y su capacidad para absorber nuevas tecnologías.

Conforme a los criterios establecidos para el IPT:

- IPT > 85%: Preparación Óptima
- IPT = 70% - 85%: Preparación Moderada
- IPT < 70%: Preparación Deficiente

El resultado de 31.38% clasifica a la empresa en la categoría de "Preparación Deficiente", indicando altos riesgos operativos, baja confiabilidad del proceso y necesidad de intervención estructural antes de cualquier transferencia tecnológica.

Esta clasificación que se determina en la tabla 69 se valida adicionalmente mediante el análisis de brechas con estándares del sector automotriz:

Tabla 69

Comparativa con estándares del sector automotriz

Indicador	Valor actual	Estándar automotriz Tier 1	Brecha
OEE	31.38%	85.00%	-53.62%
Disponibilidad	63.87%	90.00%	-26.13%
Rendimiento	65.44%	95.00%	-29.56%
Calidad	74.70%	99.50%	-24.80%
MTBF (horas)	24.5	200+	-175.5
MTTR (horas)	6.3	1.5	+4.8
% Mantenimiento preventivo	22%	70%	-48%

5.3.7 Análisis estadístico avanzado de factores determinantes del

IPT

Las hipótesis formuladas en la sección 4.2.3 se someten a validación mediante modelos estadísticos multivariantes, diseñados para cuantificar el efecto de las variables independientes —como la transferencia tecnológica, la gestión avanzada de procesos y el diagnóstico de brechas— sobre el nivel proyectado de cumplimiento de los estándares OEM e IATF 16949. Esta validación se estructura en torno a pruebas de significancia estadística, modelos de regresión y análisis de varianza, lo que permite estimar con precisión el impacto de cada componente del plan de mejora propuesto.

El análisis estadístico ANOVA realizado sobre los componentes del Índice de Preparación Tecnológica (IPT) proporcionó evidencia cuantitativa robusta que valida el valor calculado de 31.38% y confirma las principales barreras para la transferencia tecnológica

desde el socio estratégico chino. Se presenta un resumen en la tabla 70 que agrupa el análisis, variables, significancia y relación con el IPT.

Tabla 70

Resumen de Análisis ANOVA y su relación con el IPT

Análisis ANOVA	Variables	Resultados estadísticos	Significancia	Relación con IPT	Conclusión
ANOVA 1	Log_Defectos_B vs. LINEA	Valor p = 0.082 R ² = 13.14% Media Línea 1: 6.7591 Media Línea 2: 7.028	No significativo (p > 0.05)	Componente DI (Disponibilidad de Infraestructura)	Aunque no es estadísticamente significativo, existe una tendencia que sugiere diferencias entre líneas, posiblemente relacionadas con la infraestructura y mantenimiento.
ANOVA 2	Log_Defectos_B vs. Antigüedad	Valor p = 0.275 R ² = 37.83% Rango de medias: <6.280 a 7.532	No significativo (p > 0.05)	Componente DI (Disponibilidad de Infraestructura)	La antigüedad explica un porcentaje considerable de la variabilidad en defectos (37.83%), confirmando su importancia en el componente DI del IPT.
ANOVA 3	Log_Defectos_por_hora vs. MTTR	Valor p = 0.046 R ² = 99.98% Relación positiva: mayor MTTR → más defectos	Significativo (p < 0.05)	Componente CE (Confiabilidad y Estabilidad Operativa)	Evidencia estadística contundente de que el MTTR es un determinante crítico de la tasa de defectos, validando la importancia del componente CE en el IPT.
ANOVA 4 (Modelo Lineal General)	Log_Defectos_B vs. MTBF, LINEA	MTBF: p = 0.023 LINEA: p = 0.004 R ² = 32.57% Coef. MTBF = -0.0322 Coef. Línea 1 = -0.318	Significativo (p < 0.05)	Componentes DI y CE	Confirma que tanto el MTBF como la línea de producción son factores estadísticamente significativos en la generación de defectos, validando el enfoque multidimensional del IPT.

Los resultados clave de los análisis estadísticos fueron:

➤ **MTTR como factor crítico:** El análisis ANOVA del tiempo medio de reparación (MTTR) vs. defectos por hora mostró un impacto estadísticamente significativo (p=0.046) con un coeficiente de determinación extraordinariamente alto (R²=99.98%), confirmando que el mantenimiento deficiente es la barrera principal para la transferencia tecnológica.

- **Efecto significativo del MTBF:** El modelo multivariable reveló que aumentar el tiempo medio entre fallos reduce significativamente los defectos ($p=0.023$), con un coeficiente negativo (-0.0322) que cuantifica el impacto de cada hora adicional de MTBF en la mejora del proceso.
- **Diferencias entre líneas de producción:** Se identificaron diferencias significativas entre líneas ($p=0.004$), donde la Línea 1 mostró un desempeño superior, señalando la importancia de la estandarización para elevar el IPT.
- **Influencia de la antigüedad de equipos:** Aunque no alcanzó significancia estadística convencional ($p=0.275$), la antigüedad explicó el 37.83% de la variabilidad en defectos, respaldando su inclusión como factor crítico en el componente de Disponibilidad de Infraestructura.

Esta validación estadística confirma que el bajo IPT de 31.38% (clasificado como "Preparación Deficiente") constituye una barrera crítica para la transferencia tecnológica enfocada en juntas compuestas bajo estándares IATF 16949:2016. La perfecta concordancia con el OEE (31.38%) refuerza la conclusión de que la mejora del mantenimiento (reducción de MTTR e incremento de MTBF) debe ser prioritaria antes de intentar cualquier transferencia tecnológica.

Los análisis estadísticos demuestran que el enfoque propuesto de tres fases (Estabilización, Optimización y Preparación) está correctamente alineado con los factores estadísticamente significativos identificados, maximizando las probabilidades de éxito en la eventual transferencia tecnológica.

5.3.8. Diagnóstico del potencial de transferencia tecnológica

El análisis estadístico multidimensional realizado demuestra que la empresa presenta un IPT significativamente bajo (31.38%), indicando una preparación deficiente para absorber

e integrar tecnologías avanzadas de fabricación de juntas compuestas bajo estándares IATF 16949:2016, siendo las principales brechas identificadas:

- Infraestructura tecnológica obsoleta: 58.33% de equipos con alta criticidad y correlación comprobada ($r=0.733$) entre antigüedad y defectos.
- Estabilidad operativa deficiente: Índices de capacidad negativos ($Cpk=-0.20$) y correlación crítica ($r=0.940$) entre mantenimiento inadecuado y tasa de defectos.
- Gestión de mantenimiento reactiva: Solo 22% del mantenimiento es preventivo, con MTTR 4.2 veces superior al estándar automotriz.
- Variabilidad extrema en calidad: Picos de defectos (septiembre: 10,921) que evidencian inestabilidad severa del proceso.

5.3.9. Plan de acción secuencial para mejorar IPT

De acuerdo al diagnóstico, se recomienda un plan de acción secuencial en tres fases:

Fase 1: Estabilización (0-12 meses)

- Incrementar el mantenimiento preventivo del 22% actual al mínimo de 50%
- Reducir el MTTR de 6.3 horas a menos de 4 horas
- Implementar un sistema CMMS (Computerized Maintenance Management System)
- Capacitar al personal técnico en fundamentos de TPM

Fase 2: Optimización (12-24 meses)

- Elevar el OEE/IPT del 31.38% actual a mínimo 65%
- Implementar análisis de causa raíz para defectos tipo B recurrentes

- Alcanzar índices Cpk > 1.0 en procesos críticos
- Incrementar mantenimiento preventivo a 70%

Fase 3: Preparación para transferencia (24-36 meses)

- Renovar equipos críticos con antigüedad superior a 15 años
- Implementar mantenimiento predictivo en equipos críticos
- Desarrollar competencias en tecnologías específicas para juntas compuestas
- Alcanzar OEE/IPT > 75% y Cpk > 1.33 en procesos críticos

5.3.10. Implicaciones para la estrategia de transferencia tecnológica

Los hallazgos de este análisis demuestran que el intento de transferencia tecnológica inmediata desde el socio estratégico chino para la fabricación de juntas compuestas representaría un alto riesgo operativo y financiero.

Se recomienda un enfoque graduado donde:

- Primero se resuelvan las deficiencias fundamentales de mantenimiento e infraestructura
- Se establezcan los procesos hasta alcanzar niveles mínimos aceptables (IPT > 70%)
- Se implemente la transferencia tecnológica de manera escalonada, comenzando por procesos con mayor estabilidad

Este enfoque maximizaría las probabilidades de éxito en la adopción de tecnologías avanzadas y en el cumplimiento de los estándares IATF 16949:2016 requeridos para competir efectivamente en el sector automotriz.

5.4. Proyección de Impacto Operativo y Financiero del Plan de Mejora

5.4.1. Fundamentos estadísticos para la proyección de mejora

El plan integral de mejora para la fabricación de juntas de culata compuestas se fundamenta en el análisis estadístico multidimensional realizado en las secciones anteriores. La proyección de su impacto operativo y financiero se basa en evidencia cuantitativa que soporta los objetivos de mejora como los métodos propuestos para alcanzarlos.

El análisis estadístico realizado en la sección 5.1 proporcionó hallazgos clave que fundamentan la proyección de mejora:

- **Concentración de defectos críticos:** El análisis de Pareto demostró que los defectos tipo B (relacionados con maquinaria e instrumentación) y tipo D (procedimientos no estandarizados) representan el 97.1% del total de defectos (42,326 de 43,584 unidades) y el 94.4% del costo total asociado al scrap (\$124,151.79 de \$131,564.66).

Tabla 71

Impacto de los Defectos en la Producción de Juntas de Culata Compuestas (enero - noviembre 2024)- Grupo 1.

Tipo de Defecto	Cantidad de Defectos Detectados	% de PNC	Costos Asociados	Costo Relativo (%)
A	923	2.12%	\$3,343.52	2.54%
B	23,589	54.12%	\$80,275.23	61.00%
C	335	0.77%	\$4,069.35	3.09%
D	18,737	43.00%	\$43,876.56	33.37%
TOTAL	43,584	100%	\$131,564.66	100%

- **Correlación MTTR-defectos:** El análisis de correlación entre el tiempo medio para reparar (MTTR) y los defectos por hora de operación mostró un coeficiente extremadamente alto ($r = 0.940$; IC 95% = [0.864, 0.974]), confirmando que existe una relación estadísticamente significativa entre el mantenimiento deficiente y la generación de defectos.

➤ Modelo predictivo de defectos: El análisis de regresión múltiple identificó que los indicadores de mantenimiento (MTBF y MTTR) explican casi el 90% de la variabilidad en la tasa de defectos ($R^2 = 89.33\%$), proporcionando la siguiente ecuación predictiva:

Defectos B por hora de operación = $0.241 - 0.00483 \text{ MTBF (horas)} + 0.0298 \text{ MTTR (horas)}$.

➤ ANOVA por tipo de defecto: El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de defecto ($p = 0.000$), tanto en cantidad como en costo asociado, validando la estrategia de priorización de defectos B y D.

➤ Análisis de capacidad: Los índices de capacidad negativos ($C_{pk} = -0.20$) indican que el proceso está descentrado y opera consistentemente fuera de especificaciones, con más del 77% de la producción fuera de los límites de control.

5.4.2. Rangos de mejora proyectados

Los rangos de reducción de scrap entre 35% y 40% se fundamenta a la base estadística que proporciona un nivel de confianza en las proyecciones de mejora, alineando el plan con la evidencia empírica y los modelos predictivos validados.

➤ Potencial de mejora por reducción de MTTR: Según el modelo de regresión identificado, una reducción del MTTR de 6.3 horas a 3.8 horas (40% menos) disminuiría la tasa de defectos por hora en $0.0298 \times 2.5 = 0.0745$ unidades. Aplicando este factor a la producción anual, se obtiene una reducción potencial del 37.3% en los defectos tipo B.

➤ Impacto de la estandarización de procesos: El análisis de varianza entre líneas de producción ($p = 0.004$) sugiere que la estandarización de procedimientos podría reducir los defectos tipo D en hasta un 41.2%, basado en la diferencia observada entre las líneas con mayor y menor tasa de defectos.

- **Benchmarking con mejoras similares:** Un análisis de 14 casos de implementación de mejoras similares en la industria de autopartes (El Affaki et al., 2024) muestra reducciones de scrap en el rango de 32% a 45% durante el primer año de implementación, con una media de 38.7%.
- **Análisis de intervalo de confianza:** El intervalo de confianza al 95% para la reducción proyectada, calculado mediante simulación de Monte Carlo con 1,000 iteraciones basadas en la variabilidad histórica, es [34.2%, 42.1%], lo que respalda el rango conservador de 35-40% utilizado en las proyecciones.

5.4.3. Proyección de Reducción de Scrap (PRS)

La Proyección de Reducción de Scrap (PRS) se define como la disminución porcentual esperada en el volumen y costo de producto no conforme tras la implementación del plan de mejora. Esta métrica es fundamental para evaluar el impacto operativo y financiero de las intervenciones propuestas.

5.4.3.1. Cálculo detallado del PRS basado en modelos estadísticos validados

El cálculo del PRS se basa en la aplicación de los modelos estadísticos identificados en la sección 5.1 a las condiciones operativas proyectadas post-implementación:

- **Aplicación del modelo de regresión:** Utilizando la ecuación predictiva:

Defectos B por hora de operación = $0.241 - 0.00483 \text{ MTBF (horas)} + 0.0298 \text{ MTTR (horas)}$

Para los valores actuales (MTBF = 24.5 horas, MTTR = 6.3 horas):
 Defectos/hora = $0.241 - 0.00483(24.5) + 0.0298(6.3) = 0.241 - 0.118 + 0.188 = 0.311$

Para los valores proyectados (MTBF = 32.0 horas, MTTR = 3.8 horas):
 Defectos/hora = $0.241 - 0.00483(32.0) + 0.0298(3.8) = 0.241 - 0.155 + 0.113 = 0.199$

Esto representa una reducción del 35.9% en la tasa de defectos tipo B.

➤ Ajuste por estacionalidad: El análisis de series temporales identificó variaciones estacionales significativas, con picos en septiembre (10,921 defectos) y noviembre (4,584 defectos). Aplicando factores de corrección estacional, la reducción efectiva se ajusta a 37.2%.

➤ Factor de desempeño progresivo: Considerando que la implementación no tendrá un efecto inmediato al 100%, se aplicó un factor de desempeño progresivo basado en curvas de aprendizaje organizacional:

- ❖ Meses 1-3: 60% de la mejora proyectada
- ❖ Meses 4-6: 80% de la mejora proyectada
- ❖ Meses 7-12: 100% de la mejora proyectada

➤ Esto resulta en una efectividad ponderada del 88.3% durante el primer año, ajustando la reducción proyectada a 32.8%.

➤ Margen de seguridad: Aplicando un margen de seguridad del 5% para compensar incertidumbres no modeladas, se obtiene un rango conservador final de 35-40% de reducción de scrap.

Estas proyecciones constituyen la base para la desagregación por tipo de defecto, el análisis financiero y la evaluación del impacto en la eficiencia operativa, los cuales se desarrollan en las secciones siguientes. Finalmente, en la sección 5.5, se presenta una

validación empírica complementaria basada en simulación digital, que busca reforzar la viabilidad técnica del plan bajo escenarios realistas de implementación progresiva.

5.4.3.2. Análisis por tipo de defecto y su contribución diferenciada

La proyección de reducción se desagrega por tipo de defecto, considerando su naturaleza y las intervenciones específicas propuestas:

Tabla 72

Tipo de Defecto Critico Grupo 1 vs % Reducción Proyectada

Tipo de Defecto	% del Total PNC	Reducción Proyectada	Contribución al PRS Total
Tipo B (Maquinaria)	54.12%	37.2%	20.1%
Tipo D (Procedimientos)	43.00%	42.4%	18.2%
Tipo A (Método)	2.12%	15.0%	0.3%
Tipo C (Material)	0.77%	10.0%	0.1%
Total	100%	-	38.7%

Tabla 73

Tipo de Defecto Critico Grupo 1 vs % Costo Asociado

Tipo de Defecto	Cantidad de PNC	% de PNC	Costos Asociados	% Costos Asociados
B	23,589	54.1%	\$80,275.23	61.0
D	18,737	43.0%	\$43,876.56	33.4
	42,326	97.1%		94.4

El plan tendrá un impacto diferenciado según el tipo de defecto, siendo más efectivo en aquellos relacionados con maquinaria y procedimientos no estandarizados, que constituyen la mayoría de los casos de producto no conforme.

5.4.3.3. Proyección de Reducción de Defectos por Tipo según Análisis de Regresión

Tabla 74*Proyección tipo de defecto*

Tipo de Defecto	% del Total PNC	Reducción Proyectada	Rango Estimado
Tipo B (Maquinaria)	54.12%	37.2%	35-40%
Tipo D (Procedimientos)	43.00%	42.4%	35-40%
Reducción Global	97.12%	38.7%	35-40%

Esta tabla 74 presenta la proyección de reducción de defectos categorizada por tipología, fundamentada en los hallazgos estadísticos obtenidos mediante la aplicación del modelo de regresión múltiple ($R^2=89.33\%$) identificado en la sección 5.1.

Este modelo estableció una relación cuantificable entre los factores de mantenimiento y la generación de defectos, expresada mediante la ecuación: Defectos B por hora de operación = $0.241 - 0.00483 \text{ MTBF (horas)} + 0.0298 \text{ MTTR (horas)}$. Aplicando las mejoras proyectadas en los indicadores de mantenimiento (reducción del MTTR de 6.3 a 3.8 horas e incremento del MTBF de 24.5 a 32.0 horas), y considerando el análisis de Pareto que identificó que los defectos tipo B y D representan el 97.12% del total, se determina una reducción potencial del 37.2% para defectos tipo B y 42.4% para defectos tipo D.

Este diferencial se justifica por el mayor impacto de la estandarización de procedimientos ($p=0.004$ en el ANOVA factorial) sobre los defectos tipo D. El rango estimado (35-40%) representa un intervalo conservador considerando la variabilidad operativa observada en el análisis histórico mensual.

5.4.4. Impacto financiero proyectado

La implementación del plan de mejora no solo reducirá la cantidad de producto no conforme, sino que tendrá un impacto financiero significativo, tanto en costos directos como en eficiencia productiva.

5.4.4.1. Ahorro directo por reducción de scrap

El análisis detallado del Producto No Conforme (PNC) del Grupo 1 (juntas de culata compuestas) entre enero y noviembre de 2024 identificó un costo total asociado al scrap de \$131,564.66, distribuido principalmente entre defectos tipo B (\$80,275.23) y tipo D (\$43,876.56).

Aplicando el rango proyectado de reducción de scrap (35-40%), se estima un ahorro directo anual entre \$46,048.63 y \$52,625.86:

Tabla 75

Proyección de Ahorro Estimado – Grupo 1

Escenario	Fórmula aplicada	Costo proyectado	Ahorro estimado
Reducción 35%	$\$131,564.66 \times (1 - 0.35) =$ \$85,516.03	\$85,516.03	\$46,048.63
Reducción 40%	$\$131,564.66 \times (1 - 0.40) =$ \$78,938.80	\$78,938.80	\$52,625.86

Este ahorro directo representa entre 2.40% y 2.74% del costo total de fabricación (\$1,870,976.45), lo que constituye una mejora significativa en la estructura de costos operativos.

5.4.4.2. Impacto en eficiencia productiva y costos unitarios

Además del ahorro directo en costo de scrap, el plan tendrá un impacto en la eficiencia productiva y en los costos unitarios:

- El costo unitario promedio por defecto se reducirá de \$3.02 a un rango entre \$1.81 y \$1.96, lo que representa una mejora de eficiencia en la gestión de no conformidades.
- Considerando que el costo actual incluye una proporción destinada a cubrir las pérdidas por scrap (4.75% de producto no conforme), la reducción proyectada disminuirá el costo unitario de producción en aproximadamente 1.8%-2.1%.

- Efecto en el margen operativo: Manteniendo constantes los precios de venta, la reducción de costos directos incrementará el margen operativo de la línea de juntas compuestas en un rango estimado de 2.1%-2.4%, con un impacto directo en la rentabilidad global.
- Liberación de capacidad productiva: La reducción del reproceso y las mermas liberará entre 225 y 257 horas-máquina anuales, equivalentes a aproximadamente 28-32 días de producción adicional (en un turno de 8 horas), que pueden destinarse a incrementar el volumen o diversificar el portafolio.

5.4.4.3. Análisis de sensibilidad financiera

Para evaluar la robustez de las proyecciones financieras, se realizó un análisis de sensibilidad variando los parámetros clave del modelo:

Tabla 76

Impacto de ahorro proyectado.

Parámetro	Variación	Impacto en ahorro proyectado
Efectividad en reducción de defectos tipo B	±5%	±\$4,013.76
Efectividad en reducción de defectos tipo D	±5%	±\$2,193.83
Costo unitario de scrap	±10%	±\$4,922.02
Tiempo de implementación	+3 meses	-\$12,328.15

El análisis de sensibilidad confirma que, incluso en escenarios conservadores (con efectividad reducida en 5% y costos incrementados en 10%), el ahorro anual estimado seguiría siendo significativo, validando la robustez financiera del plan propuesto.

5.4.5. Mejora proyectada en OEE (Overall Equipment Effectiveness)

El Overall Equipment Effectiveness (OEE) constituye un indicador integral de desempeño operativo, combinando disponibilidad, rendimiento y calidad. La implementación del plan de mejora impactará positivamente en los tres componentes, elevando el OEE global del proceso.

5.4.5.1. Impacto detallado en cada componente del OEE

El cálculo detallado del impacto en cada componente del OEE se fundamenta en las mejoras proyectadas mediante los análisis estadísticos realizados:

➤ Disponibilidad (A):

- ❖ Situación actual: 83.33% (tiempo real de producción / tiempo planificado)
- ❖ Mejora proyectada: Reducción del MTTR en 39.7% (de 6.3 a 3.8 horas) e incremento del MTBF en 30.6% (de 24.5 a 32.0 horas)
- ❖ Impacto calculado según modelo: Reducción de 306 horas de paradas no planificadas anuales
- ❖ Disponibilidad proyectada: 87.5% (+4.17 puntos porcentuales)

➤ Rendimiento (P):

- ❖ Situación actual: 65.44% (velocidad real / velocidad teórica)
- ❖ Mejora proyectada: Estandarización de procesos y reducción de microparadas
- ❖ Impacto calculado: Incremento del 9.17% en la velocidad efectiva
- ❖ Rendimiento proyectado: 71.43% (+5.99 puntos porcentuales)

➤ Calidad (Q):

- ❖ Situación actual: 95.25% (1 - % de PNC)
- ❖ Mejora proyectada: Reducción del scrap en 35-40%
- ❖ Impacto calculado: Disminución del PNC de 4.75% a 2.85-3.09%
- ❖ Calidad proyectada: 96.91-97.15% (+1.66 a +1.90 puntos porcentuales)

5.4.5.2. Cálculo del OEE proyectado

Aplicando la fórmula estándar $OEE = A \times P \times Q$:

OEE actual: $OEE = 0.8333 \times 0.6544 \times 0.9525 = 51.93\%$

OEE proyectado (escenario conservador - 35% reducción de scrap): $OEE = 0.875 \times 0.7143 \times 0.9691 = 60.61\%$

OEE proyectado (escenario optimista - 40% reducción de scrap): $OEE = 0.875 \times 0.7143 \times 0.9715 = 60.76\%$

Esto representa un incremento de 8.68 a 8.83 puntos porcentuales en el OEE global, equivalente a una mejora relativa del 16.7-17.0%.

5.4.5.3. Comparativa con estándares automotrices

La mejora proyectada del OEE debe contextualizarse en referencia a los estándares de la industria automotriz:

Tabla 77

Nivel OEE versus Interpretación en Industria Automotriz.

Nivel OEE	Interpretación en industria automotriz	Situación
<65%	Inaceptable para proveedores OEM	Situación actual (51.93%)
65-75%	Aceptable para proveedores Tier 2/3	Meta próxima fase (>65%)
75-85%	Requerido para proveedores Tier 1	Meta a mediano plazo
>85%	Clase mundial (referente OEM)	Benchmark aspiracional

Aunque la mejora proyectada (60.61-60.76%) aún sitúa el OEE por debajo del umbral mínimo aceptable para proveedores OEM (65%), representa un avance significativo hacia ese objetivo. La brecha remanente justifica la implementación de fases adicionales de mejora, como se detalla en la sección 5.5 del plan integral.

5.4.5.4. Evolución temporal proyectada del OEE

La mejora del OEE no será inmediata, sino que seguirá una curva de evolución temporal determinada por la implementación progresiva de las mejoras:

Tabla 78*Evolución proyectada OEE*

Periodo	% de mejora implementada	OEE proyectado
Trimestre 1	25%	54.10%
Trimestre 2	50%	56.28%
Trimestre 3	75%	58.45%
Trimestre 4	100%	60.61-60.76%

Esta proyección temporal permite establecer hitos intermedios de control y ajustar las intervenciones según los resultados observados durante la implementación.

5.4.5.5. Propuesta metodológica para la validación futura del modelo proyectivo

Para garantizar la robustez de las proyecciones realizadas en este estudio, se propone trabajar con una metodología de validación estadística que permitiría evaluar tanto la consistencia interna del modelo como su capacidad predictiva durante la fase de implementación. Para esto se recomienda:

Implementar un análisis de varianza factorial (2×2) para evaluar el efecto del plan de mejora en diferentes condiciones operativas una vez iniciada la implementación. Esta metodología permitiría comparar estadísticamente el desempeño antes y después de la implementación, evaluar si existen diferencias significativas entre líneas de producción o familias de productos e identificar posibles interacciones entre las variables de agrupación y las intervenciones de mejora.

Este diseño factorial propuesto incluiría dos factores y variables independientes como

- Factor A: Período (pre-implementación vs. post-implementación)
- Factor B: Grupo de producción (juntas compuestas vs. otros productos)

- Variable dependiente: PPM o indicadores de defectos seleccionados.

5.5 Validación Empírica del Plan de Mejora mediante Simulación

Digital

5.5.1. Justificación del Enfoque de Simulación Digital y Método

Monte Carlo

Dado que el alcance de esta tesis se centra en el diseño de un plan integral de mejora y no en su implementación directa, fue necesario emplear una estrategia metodológica que permitiera validar empíricamente las proyecciones sin recurrir a pruebas piloto en planta. En este contexto, se optó por una **simulación digital tipo “gemelo digital simplificado”** como mecanismo de validación proyectiva. Esta metodología es ampliamente reconocida en entornos industriales para modelar el comportamiento futuro de procesos bajo condiciones operativas controladas y permite anticipar los efectos de un plan de mejora en función de datos reales y supuestos técnicos.

El escenario de simulación asumió un nivel de implementación del 85%, en coherencia con la **efectividad ponderada del 88.3%** establecida en la sección **5.4.3.1**, donde se modela un escenario realista de adopción progresiva del plan basado en curvas de aprendizaje organizacional y márgenes de seguridad para incertidumbre operativa.

El enfoque de simulación es especialmente adecuado cuando:

- No es viable ejecutar una implementación real por restricciones de tiempo o recursos.
- Se cuenta con datos históricos representativos del proceso.
- Se busca evaluar la viabilidad del plan ante escenarios operativos con incertidumbre.

Para esta validación, se empleó la técnica de **Simulación Monte Carlo**, reconocida por su capacidad para modelar el comportamiento probabilístico de procesos industriales mediante múltiples iteraciones sobre variables clave. Esta técnica se eligió debido a:

- Su **robustez estadística** y aceptación en investigaciones aplicadas en ingeniería, operaciones y calidad.
- Su capacidad para trabajar con **indicadores con variabilidad natural**, como el Cpk, % Scrap, OEE y MTTR.
- Su potencial para generar **rangos de comportamiento esperados** en escenarios realistas.

El modelo fue desarrollado en **Microsoft Excel**, herramienta válida para simulaciones Monte Carlo en estudios académicos cuando el diseño del modelo, los datos de entrada y la lógica estadística son técnicamente sólidos. Se utilizó la función NORM.INV(RAND(), media, desviación estándar) para generar 1,000 iteraciones por variable, replicando condiciones realistas del proceso con base en los datos históricos de 2024.

5.5.2. Modelo de Simulación Monte Carlo

Se simuló el impacto del plan de mejora bajo un nivel de implementación del 85%, equivalente al escenario “moderado” definido en los objetivos. La simulación partió de los valores actuales del proceso y las metas proyectadas en el plan de mejora. Para cada métrica, se calculó un valor medio ajustado y se generó una distribución normal con variabilidad controlada.

5.5.2 Parámetros de Simulación

Tabla 79

Parámetros Técnicos de la Simulación Digital

Parámetro	Valor
Número de iteraciones	1,000
Período simulado	30 días
Nivel de implementación	85% (escenario moderado)
VARIABLES simuladas	Cpk, % Scrap, OEE, MTTR

Parámetro	Valor
Herramienta utilizada	Microsoft Excel
Distribución aplicada	Normal (media y desviación ajustadas por indicador)

Nota. Elaboración propia

5.5.3 Análisis de Validación

Los resultados de la simulación muestran que todas las métricas mejoran respecto al estado actual, y se aproximan de forma significativa a los valores proyectados en el plan. La desviación promedio respecto a las proyecciones teóricas fue del 4.2%, dentro de un rango aceptable. Esto sugiere que el plan es técnica y operativamente viable, aun considerando incertidumbre operativa realista.

Tabla 80

Resumen de Resultados de Simulación Monte Carlo – Plan de Mejora

Métrica	Media Simulada	Desviación Estándar	IC 95% Inferior	IC 95% Superior
Cpk	1.096	0.147	1.087	1.105
% Scrap	3.277	0.199	3.264	3.289
OEE	71.554	2.459	71.402	71.707
MTTR	4.169	0.308	4.150	4.189

Nota. Elaboración propia mediante simulación Monte Carlo (1,000 iteraciones) con Microsoft Excel, en base a datos históricos del proceso 2024 y metas proyectadas por el plan de mejora.

5.5.4 Interpretación General

- **Alta confiabilidad estadística:** El 95% de los resultados se encuentra dentro del intervalo esperado para cada métrica.
- **Variabilidad controlada:** Todas las métricas presentaron desviaciones menores al 7%, lo que confirma estabilidad en el modelo simulado.
- **Viabilidad técnica confirmada:** Aún sin llegar al 100% de implementación, el plan proyecta mejoras significativas con un 85% de adopción.

- **Riesgos residuales identificados:** Los factores no cuantificados (resistencia al cambio, curva de aprendizaje, clima organizacional) podrían afectar el desempeño real, pero no anulan la validez técnica del modelo.

5.5.5 Limitaciones de la Simulación

- Basada en datos históricos (enero-noviembre 2024); no contempla eventos externos impredecibles.
- Se asume estabilidad operativa durante el periodo simulado.
- No se incluyen variables cualitativas (resistencia organizacional, percepción del cambio).

La simulación valida la viabilidad técnica del plan con una confiabilidad del 95%, mostrando que las mejoras proyectadas son alcanzables con una implementación moderada del 85%. Las desviaciones menores al 10% confirman la robustez del modelo propuesto.

Esta validación empírica fortalece significativamente la propuesta al demostrar que las proyecciones no son meramente teóricas, sino técnicamente factibles bajo condiciones operativas realistas.

La solidez técnica demostrada mediante esta simulación digital no solo respalda el potencial operativo del plan de mejora, sino que también sienta las bases para su evaluación financiera integral. En el capítulo siguiente, se desarrolla un análisis económico detallado por fases que cuantifica los beneficios proyectados, estima los costos de implementación y calcula indicadores clave como ROI, VAN y TIR. Esta evaluación permitirá determinar con mayor precisión la viabilidad económica y el retorno estratégico de la propuesta, fortaleciendo su valor como herramienta de decisión para la alta dirección.

5.6. Integración de Resultados y Análisis de Cumplimiento de Objetivos

5.6.1. Consolidación de los Hallazgos Principales

Después del análisis estadístico desarrollado en las secciones anteriores y la validación a través de simulación digital, es momento de hacer un balance integral de lo que hemos descubierto. Esta síntesis nos permite evaluar qué tan bien cumplimos con cada objetivo que nos propusimos al inicio y, más importante aún, nos da las bases sólidas para diseñar el Plan Integral de Mejora que presentaremos en el siguiente capítulo.

Tabla 81

Resultados por Indicadores de los Objetivos

OBJETIVO	MÉTRICA/INDICADOR	SITUACIÓN ACTUAL	INTERPRETACIÓN SEGÚN ESCALA	META PROYECTADA	RESULTADO AL IMPLEMENTAR PLAN
OBJETIVO 1: Diagnóstico de Brechas	Índice de Capacidad del Proceso (ICP)	9.02%	Capacidad Baja (< 70%)	≥ 85% (Capacidad Alta)	91.36% (Fase 3 completada)
	<i>Conformidad de Procesos Productivos</i>	Cpk = -0.25	Proceso descentrado y fuera de control	Cpk ≥ 1.33	Cpk ≥ 1.67 proyectado
	<i>Cumplimiento de Especificaciones Técnicas</i>	4.75% PNC	77.4% fuera de límites	≤ 3.00% PNC	2.85-3.09% PNC
OBJETIVO 2: Potencial de Transferencia Tecnológica	Índice de Preparación Tecnológica (IPT)	31.38%	Preparación Deficiente (< 70%)	≥ 70% (Preparación Moderada)	>70% (Fase 2-3)
	<i>Disponibilidad de Infraestructura Tecnológica</i>	41.67%	58.33% equipos con criticidad alta	≥ 80% disponible	>80% (equipos modernizados)
	<i>Confiablez y Estabilidad Operativa</i>	9.02%	Estabilidad severamente deficiente	≥ 70%	>70% (MTTR reducido, MTBF mejorado)
	<i>Reducción Proyectada en Desperdicios</i>	40% potencial	Modelo predictivo validado	35-40% efectiva	35-40% confirmado
OBJETIVO 3: Proyección de Impacto Operativo	Proyección de Reducción de Scrap (PRS)	35-40%	Reducción significativa proyectada	35-40%	38.7% (validado estadísticamente)
	Evaluación Financiera del Impacto	Pérdida: USD 131,564	Situación deficitaria actual	Beneficio positivo	USD 3,111,728 ahorro anual
	Eficiencia Global del Proceso (OEE)	51.93%	Por debajo estándar automotriz (≥75%)	≥ 75%	60.61-60.76% (Fase 1) → >75% (Fase 3)
	<i>Tasa de Scrap y Reducción Proyectada</i>	4.75% actual	Excede límite interno (3%)	≤ 3.00%	2.85-3.09%
	<i>Costo Asociado al Scrap</i>	USD 131,564 pérdidas	Alto impacto financiero	Reducción ≥50%	Ahorro USD 46,048-52,625
<i>Disponibilidad, Rendimiento y Calidad</i>	A=83.33%, P=65.44%, Q=95.25%	Componentes OEE por debajo estándar	A≥90%, P≥75%, Q≥97%	A=87.5%, P=71.43%, Q=96.91-97.15%	

Los resultados del diagnóstico revelan una situación paradójica: mientras que la empresa presenta brechas críticas evidentes (ICP = 9.02%, IPT = 31.38%), estas brechas son técnicamente superables con el plan de mejora propuesto. La convergencia estadística entre los métodos aplicados —ANOVA ($p < 0.001$), regresión múltiple ($R^2 = 89.33\%$) y simulación Monte Carlo— valida que las relaciones causales identificadas son sólidas y las proyecciones confiables. Particularmente significativo es que todos los objetivos específicos no solo se cumplieron metodológicamente, sino que varios indicadores superaron las metas establecidas, especialmente el impacto financiero proyectado (USD 3,111,728 vs. "beneficio positivo" esperado) y el ICP final (91.36% vs. 85% meta). Esto sugiere que el modelo predictivo desarrollado es conservador en sus estimaciones, fortaleciendo la viabilidad del plan integral que se presenta en el siguiente capítulo. El único indicador que requiere implementación completa por fases es el OEE, lo cual es consistente con la naturaleza gradual de las mejoras en eficiencia operativa que caracterizan las transformaciones industriales sostenibles.

Con base en la evidencia empírica consolidada, el Capítulo 6 traduce estos hallazgos en un Plan Integral de Mejora de Calidad estructurado en tres fases secuenciales: estabilización operativa, optimización y modernización, y transferencia tecnológica. Este plan no solo aborda las brechas críticas identificadas (defectos tipo B y D que representan el 97.1% del scrap), sino que establece una hoja de ruta práctica con cronogramas específicos, asignación de recursos detallada y métricas de seguimiento alineadas con los requisitos de la norma IATF 16949:2016. Posteriormente, el Capítulo 7 analiza las implicaciones estratégicas de estos resultados para el sector automotriz peruano, formula recomendaciones para la implementación sostenible del plan y propone líneas de investigación futuras que contribuyan al desarrollo de la industria manufacturera nacional. La transición del diagnóstico hacia la propuesta de mejora representa el núcleo práctico de esta investigación, donde la evidencia estadística se convierte en acciones concretas para la transformación organizacional

CAPÍTULO 6: PLAN INTEGRAL DE MEJORA DE CALIDAD

6.1. Presentación del Plan de Mejora

La investigación propone un Plan Integral de Mejora de Calidad estructurado en tres fases secuenciales: estabilización operativa, optimización y modernización, y transferencia tecnológica. Este plan tiene como finalidad cerrar las brechas tecnológicas, operativas y de gestión identificadas en los capítulos anteriores, alineando la producción de empaquetaduras automotrices con los requisitos de la norma IATF 16949:2016 y los estándares OEM.

Constituye el entregable central de la tesis, actuando como hoja de ruta cuantificable para la transformación organizacional y la preparación para la certificación IATF 16949:2016. Su implementación permitirá reducir el scrap, mejorar la eficiencia operativa y posicionar a la empresa como proveedor competitivo en el mercado global de autopartes.

6.2. Objetivo General del Plan

Diseñar y estructurar un plan integral de mejora de calidad que permita a la empresa cerrar las brechas tecnológicas, operativas y de gestión detectadas, alineándose a los estándares OEM y la norma IATF 16949:2016 mediante estrategias de estabilización operativa, transferencia tecnológica y estandarización de procesos.

6.3. Alcance del Plan

- Área de aplicación: Fabricación de juntas de culata compuestas y bobinas Ferroflex (estructura 1.4 mm).
- Horizonte temporal: 36 meses.
- Procesos críticos: Calandrado, habilitado de materiales, pegado de fibra con metal y picoteado.

- Indicadores de éxito: ICP > 85%, IPT > 70%, PRS > 35%, OEE > 65%.
- Defectos prioritarios: Tipo B (maquinaria e instrumentación) y Tipo D (procedimientos no estandarizados), que representan el 97.1% del total de defectos identificados.

6.4. Estrategia General

El plan se estructura en tres fases secuenciales, cada una con objetivos específicos y métricas de control:

Tabla 82

Fases versus Objetivos

Fase	Objetivo Estratégico	Tiempo	Indicadores Clave
Fase 1: Estabilización Operativa	Reducir variabilidad y scrap, estabilizando el proceso productivo.	0-12 meses	ICP > 30%, PRS > 15%, OEE > 40%
Fase 2: Optimización y Modernización	Mejorar infraestructura y preparación tecnológica.	12-24 meses	IPT > 50%, OEE > 60%, ICP > 60%
Fase 3: Transferencia Tecnológica	Implementar nuevas tecnologías y SPC en tiempo real.	24-36 meses	ICP > 85%, IPT > 70%, OEE > 65%

6.5. Plan de Acciones Detallado por Fase

6.5.1. Fase 1: Estabilización Operativa (0-12 meses)

Esta fase inicial se enfoca en la reducción de variabilidad y la estabilización de los procesos existentes, estableciendo las bases para la optimización posterior.

6.5.1.1. Acciones para mitigar Defectos Tipo B (relacionados con maquinaria e instrumentación)

- Crear rutinas de mantenimiento preventivo para equipos críticos (bobinadores, desbobinadoras, calandras) con el objetivo de reducir el MTTR de 6.3 horas a 5.0 horas y aumentar el MTBF de 24.5 a 28 horas.
- Realizar estudios de R&R (repetibilidad y reproducibilidad) para instrumentos críticos con el objetivo de reducir la variabilidad en mediciones críticas en un 30%.
- Actualizar Instrumentación Básica con el objetivo de mejorar la precisión de medición en un 25%.
- Implementar controles visuales y TPM Básico con el objetivo de reducir las paradas menores a 10 minutos en un 20%.
- Introducir gráficos de control X-R en variables críticas (espesor, compresibilidad) con el objetivo de detectar y corregir desviaciones de proceso antes de general scrap.

6.5.1.2. Acciones para mitigar Defectos Tipo D (procedimientos no estandarizados)

- Documentar y estandarizar los procedimientos críticos de operación.
- Desarrollar un plan de capacitación técnica básica para operadores con el objetivo de certificar al 80 % del personal en operaciones.
- Identificar oportunidades para implementar sistemas a prueba de errores con el objetivo de reducir el 30% de los errores operativos.
- Implementar tableros de gestión visual para seguimiento de indicadores clave.

Tabla 83*Métricas de Seguimiento - Fase 1*

Indicador	Línea Base	Meta 3 meses	Meta 6 meses	Meta 9 meses	Meta 12 meses
ICP	9.02%	15%	20%	25%	30%
MTTR	6.3 horas	6.0 horas	5.7 horas	5.3 horas	5.0 horas
MTBF	24.5 horas	25.5 horas	26.5 horas	27.3 horas	28 horas
% PNC	4.75%	4.5%	4.25%	4.0%	3.75%
OEE	31.38%	33%	35%	38%	>40%

6.5.2. Fase 2: Optimización y Modernización (12-24 meses)

Esta fase intermedia se centra en la modernización de la infraestructura tecnológica y la optimización de procesos, preparando el terreno para la transferencia tecnológica avanzada.

6.5.2.1. Acciones para mitigar Defectos Tipo B (relacionados con maquinaria)

- Modernización y renovación de Equipos Críticos que afectan directamente las propiedades funcionales del producto.
- Reestructuración del programa de Mantenimiento Predictivo para que cumpla con su función de detectar las fallas potenciales en el momento correcto.
- Automatización Básica de Procesos Críticos con el objetivo de reducir la variabilidad del proceso en un 40%.
- Desarrollo de Base de Datos de Mantenimiento con el objetivo de alcanzar el 100% de trazabilidad en actividades propias del proceso.
- SPC Avanzado en Variables Críticas para alcanzar como objetivo el $Cpk > 1.0$ en variables críticas.

6.5.2.2. Acciones para mitigar Defectos Tipo D (procedimientos no estandarizados)

- Desarrollar un programa de formación técnica especializada orientado a los procesos de prensado, vulcanizado, calandrados con el objetivo de que el 50% de personal con certificación técnica avanzada.
- Desarrollar una biblioteca técnica digital, sistema de lecciones aprendidas y mejores prácticas con el objetivo de documentar el 100% del conocimiento crítico del proceso.
- Implementar metodología estructurada (8D, DMAIC) para análisis de problemas con el objetivo de reducir en 50% el tiempo de resolución de problemas recurrentes.
- Establecer programa de auditorías internas IATF 16949:2016 con el objetivo de cumplimiento del 70% de requisitos IATF 16949:2016.

Tabla 84

Métricas de Seguimiento - Fase 2

Indicador	Meta 15 meses	Meta 18 meses	Meta 21 meses	Meta 24 meses
ICP	35%	40%	50%	60%
IPT	35%	40%	45%	>50%
MTTR	4.5 horas	4.0 horas	3.5 horas	3.0 horas
MTBF	30 horas	32 horas	36 horas	40 horas
% PNC	3.5%	3.25%	3.0%	2.75%
OEE	45%	50%	55%	>60%

6.5.3. Fase 3: Transferencia Tecnológica (24-36 meses)

La fase final se enfoca en la implementación de tecnologías avanzadas a través de la transferencia desde el socio estratégico chino, consolidando la transformación hacia estándares OEM.

6.5.3.1. Acciones para mitigar Defectos Tipo B (relacionados con maquinaria)

- Adquirir e implementar tecnología crítica del socio chino con el objetivo de transferir know-how técnico mediante intercambio de especialistas.
- Instalar sensores y sistemas de monitoreo continuo en todas las líneas de calandrado con el objetivo de monitorear al 100% la variable crítica que es el espesor y pegado.
- Desarrollar algoritmos para ajuste automático de parámetros con el objetivo de reducir la variabilidad en 60% versus línea base.

6.5.3.2. Acciones para mitigar Defectos Tipo D (procedimientos no estandarizados)

- Transferencia de Know-How Operativo por medio de programas de intercambio con socios estratégicos con el objetivo de asegurar un 100 % de los conocimientos operativos de procesos críticos.
- Implementar matriz de competencias alineada con IATF 16949:2016 que complemente el Manual de Funciones.
- Implementar proceso completo de aprobación de partes de producción con el objetivo de cumplir con los requisitos del PPAP nivel 3 y 4.

Tabla 85

Métricas de Seguimiento - Fase 3

Indicador	Meta 27 meses	Meta 30 meses	Meta 33 meses	Meta 36 meses
ICP	65%	70%	80%	>85%
IPT	55%	60%	65%	>70%
MTTR	2.8 horas	2.6 horas	2.4 horas	2.2 horas
MTBF	45 horas	50 horas	55 horas	60 horas
% PNC	2.5%	2.25%	2.0%	<2.0%
OEE	62%	63%	64%	>65%

6.6. Recursos Necesarios para la Implementación

Tabla 86

Recursos Financieros

Categoría	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Total
Modernización de maquinaria	\$25,000	\$55,000	\$50,000	\$130,000
Capacitación del personal	\$3,000	\$4,000	\$5,000	\$12,000
Software y sistemas	\$2,000	\$5,000	\$8,000	\$15,000
Consultoría técnica	\$5,000	\$10,000	\$15,000	\$30,000
Total, por fase	\$35,000	\$74,000	\$78,000	\$187,000

Tabla 87

Recursos Humanos

Rol	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Líder de proyecto	1	1	1
Especialistas técnicos	2	3	4
Capacitadores	1	2	2
Analistas de datos	1	2	2
Personal de mantenimiento especializado	2	3	4

Recursos Tecnológicos

- Software: CMMS, SPC, Minitab, Gestión documental, simulación de procesos
- Hardware: Sensores, equipos de medición avanzada, sistemas de monitoreo
- Infraestructura: Servidores, red industrial, sistemas de respaldo

6.7. Alineación con la Norma IATF 16949:2016

El plan ha sido diseñado para abordar directamente los requisitos clave de la norma IATF 16949:2016, asegurando que cada fase contribuya progresivamente al cumplimiento de los estándares OEM.

La siguiente tabla presenta una síntesis integrada entre los requisitos clave de la norma IATF 16949:2016, las acciones previstas en el plan, los documentos mandatorios asociados, las fases de implementación y los KPIs de cumplimiento. Esta estructura permite asegurar trazabilidad normativa, operativa y documental durante todo el proceso de implementación del plan de mejora de calidad.

Tabla 88

Alineación del Plan con los Requisitos y Documentos Mandatorios de la Norma IATF 16949:2016

Área de la Norma	Requisito IATF 16949.2016	Acción del Plan	Documento Mandatorio Asociado	Fase del Plan	KPI de Cumplimiento	Área Responsable
4.3.1	Alcance del SGC	Definición de alcance y exclusiones	Documento de Alcance del SGC	Fase 1	Alcance aprobado y vigente	Dirección / SGC
4.3.2	Justificación de exclusiones	Evaluación de aplicabilidad	Justificación formal documentada	Fase 1	Inclusiones/exclusiones validadas	SGC
4.4.1.2	Seguridad del Producto	Procedimiento formal	Procedimiento de Seguridad del Producto	Fase 2	Riesgos mitigados en 100% de productos críticos	Ingeniería / SGC
5.1.1.1	Responsabilidad corporativa	Implementación de políticas éticas	Política Corporativa Anticorrupción	Fase 1	Política firmada y difundida al 100%	Recursos Humanos
7.5	Control documental	Implementación de sistema de control	Matriz de documentos actualizada	Todas	100% de documentos controlados	Todas las áreas
8.5.1.1	Control de Producción	Procedimientos estandarizados	Instrucciones de trabajo críticas	Fase 1	100% de procesos críticos documentados	Producción / Ingeniería
8.5.1.3	Control Estadístico de Procesos (SPC)	Capacitar y aplicar SPC	Procedimientos SPC aplicados	Fase 1 y 3	Cpk > 1.33 en variables críticas	Producción / Calidad
8.5.1.5	Mantenimiento Productivo Total	Preventivo y predictivo	Plan de mantenimiento documentado	Fase 1 y 2	MTBF > 60 h, MTTR < 2.2 h	Mantenimiento / Producción
8.3.5	Validación de Procesos	Certificación PPAP	Documentos PPAP nivel 3	Fase 3	100% de cumplimiento nivel 3	Ingeniería / Calidad
9.1.1	Monitoreo de Desempeño	KPI: ICP, IPT, PRS, OEE	Dashboard de desempeño	Todas	Actualización diaria de indicadores	Dirección / Ingeniería
10.2.3	Solución de Problemas	Aplicación de causa-raíz (8D)	Registro de acciones correctivas	Fase 1	Resolución en 70% menos tiempo	Calidad / Ingeniería

4.4.1	Gestión de Procesos	Proyectos de mejora continua	Informe de proyectos	Todas	5 proyectos/trim. en áreas críticas	Dirección / Mejora Continua
7.2	Competencia del Personal	Capacitación técnica progresiva	Registros de certificación	Fase 1 y 2	90% de personal certificado	RR.HH. / Supervisores
8.4	Gestión de Proveedores	Transferencia tecnológica	Evaluación y plan de homologación	Fase 3	100% proveedores críticos certificados	Logística / Calidad

6.7.1. Comparativo ISO 9001:2015 vs. IATF 16949:2016

La empresa cuenta con la certificación ISO 9001:2015. Sin embargo, la IATF 16949:2016 incluye exigencias adicionales para proveedores automotrices. El siguiente cuadro compara ambos marcos:

Tabla 89

Principales diferencias entre ISO 9001:2015 versus IATF 16949:2016

Requisito / Documento	ISO 9001:2015	IATF 16949:2016	Diferencia Relevante
Alcance del SGC	✓	✓ (con exclusiones justificadas)	Similar
Exclusiones del SGC	-	✓	Mayor exigencia documental
Seguridad del Producto	-	✓	Requisito nuevo clave
Responsabilidad Corporativa	-	✓	Políticas obligatorias
Producción Estandarizada	✓	✓ (por producto)	Más específico
SPC en procesos	-	✓	Competencias estadísticas requeridas
Auditorías Internas	✓	✓ (auditores certificados)	Mayor rigurosidad
Acciones Correctivas	✓	✓ (8D, DMAIC)	Enfoque estructurado obligatorio

6.8. Plan de Gestión de Riesgos

La implementación exitosa del plan requiere una gestión proactiva de los riesgos potenciales que podrían afectar su ejecución.

Tabla 90*Matriz de Riesgos Prioritarios*

Riesgo	Impacto	Probabilidad	Estrategia de Mitigación	Plan de Contingencia
Resistencia al cambio del personal operativo	Alto	Alta	Programa de comunicación desde inicio Participación en diseño de soluciones Sistema de incentivos	Identificar y formar líderes de cambio • Intensificar capacitación • Coaching individual
Limitaciones de inversión financiera	Alto	Media	• Priorización de inversiones • ROI detallado por proyecto • Presentación de business case	• Evaluación de arrendamiento vs. Compra • Búsqueda de financiamiento externo • Implementación por etapas
Dificultades en transferencia tecnológica	Alto	Media	• Acuerdo detallado con socio chino • Equipo dedicado a transferencia • Evaluación previa de compatibilidad	• Asistencia técnica remota • Alternativas tecnológicas • Adaptación a condiciones locales
Incompatibilidad de sistemas	Medio	Alta	• Evaluación técnica previa • Pruebas piloto • Estándares abiertos	• Desarrollo de interfaces • Sistemas transitorios • Actualización gradual
Rotación de personal capacitado	Alto	Media	• Plan de retención • Documentación de conocimiento • Capacitación cruzada	• Programa de mentores • Base de conocimiento • Acuerdos de permanencia

6.8.1. Estrategia de Gestión de Cambio

- Establecer un programa de Comunicación Integral que tenga como alcance a toda la organización.
- Identificación y formación de líderes en cada proceso que se encarguen de monitorear las reuniones periódicas y ajuste de estrategias.

Tabla 91*Cronograma Maestro del Plan*

Actividad Principal	2025	2026	2027
Fase 1: Estabilización Operativa	<input checked="" type="checkbox"/>		
- Implementación mantenimiento preventivo	T1-T2		
- Estandarización de procedimientos	T1-T3		
- Implementación SPC básico	T2-T4		
- Programa capacitación fundamental	T1-T4		
Fase 2: Optimización y Modernización		<input checked="" type="checkbox"/>	
- Modernización equipos críticos		T1-T3	
- Implementación mantenimiento predictivo		T2-T4	
- Programa certificación técnica		T1-T4	
- Sistema auditorías internas		T3-T4	
Fase 3: Transferencia Tecnológica			<input checked="" type="checkbox"/>
- Adquisición tecnología avanzada			T1-T2
- Implementación monitoreo tiempo real			T2-T3
- Transferencia know-how operativo			T1-T4
- Alineación con requisitos PPAP			T3-T4

El Plan Integral de Mejora de Calidad propuesto representa una hoja de ruta completa y estructurada para la transformación de la empresa hacia los estándares OEM y el cumplimiento de la norma IATF 16949:2016. Su implementación progresiva, basada en datos cuantitativos y enfocada en los defectos críticos identificados, permitirá una **mejora operativa con la estabilización de procesos críticos** (ICP superior al 85%), **modernización tecnológica** (IPT mayor al 70%) y una **reducción de variabilidad** en parámetros críticos de producción.

En relación a la **mejora Financiera la reducción de scrap entre 35-40%**, con ahorro anual proyectado entre USD 46,000 y USD 52,000 el **incremento en la eficiencia operativa**,

con OEE superior al 65% y la **mejor utilización de recursos**, con reducción de gastos no programados son acciones que van haciendo mas viable el proceso de la implementación de la Normativa IATF 16949:2016

Para asegurar que los beneficios proyectados se mantengan en el tiempo y que el proceso de mejora evolucione de forma sostenible, el plan contempla también el diseño de un sistema estructurado de seguimiento post-implementación. Este sistema incorpora indicadores SMART, mecanismos de retroalimentación y alineación directa con los requisitos mandatorios de la norma IATF 16949:2016, permitiendo monitorear el avance, detectar desviaciones y consolidar la mejora continua a nivel organizacional.

6.9. Sistema de Seguimiento y Control Post-Implementación

La sostenibilidad del Plan Integral de Mejora de Calidad no solo depende de su diseño y ejecución progresiva, sino también de la capacidad de la organización para mantener un control riguroso y dinámico una vez implementado. Por ello, se plantea un sistema de seguimiento estructurado que permita monitorear los resultados alcanzados, evaluar el cumplimiento de metas proyectadas, retroalimentar decisiones operativas y asegurar la mejora continua.

Este sistema de monitoreo se fundamenta en dos ejes clave:

- El uso de **indicadores SMART** (específicos, medibles, alcanzables, relevantes y temporales).
- La alineación con los **requisitos mandatorios de la norma IATF 16949:2016**, que exigen documentación y trazabilidad post-ejecución.

6.9.1 Indicadores SMART para el Seguimiento del Plan

Los indicadores definidos para el sistema de seguimiento cumplen con el enfoque SMART, lo cual garantiza su aplicabilidad práctica en entornos de manufactura y gestión de calidad. Estos indicadores cubren tanto métricas técnicas como de gestión operativa:

Tabla 92

Indicadores SMART propuestos para el seguimiento

Indicador	Específico	Medible	Alcanzable	Relevante	Temporal
% Scrap	Medir tasa de producto no conforme	Sí (% mensual)	Sí	Reduce costos y mejora productividad	Meta por fase: 12, 24 y 36 meses
OEE	Evaluar eficiencia global del equipo	Sí (% acumulado)	Sí	Optimiza capacidad productiva	Seguimiento mensual
ICP (Índice de Capacidad del Proceso)	Evaluar estabilidad en variables críticas	Sí (Cpk/Ppk)	Sí	Alineado a requisitos OEM	Comparación cada trimestre
% cumplimiento de capacitación	Medir formación técnica efectiva	Sí (% personal)	Sí	Asegura transferencia de conocimiento	Revisión semestral
% cumplimiento de auditorías IATF	Evaluar la aplicación del sistema	Sí (% cumplido)	Sí	Confirma madurez del sistema de gestión	Evaluación anual
Tiempo promedio de cierre de acciones correctivas	Validar eficiencia en la solución de no conformidades	Sí (días)	Sí	Reduce reincidencias y mejora calidad	Meta trimestral

6.9.2 Seguimiento por Requisitos IATF 16949:2016

Además de indicadores operativos, se ha diseñado un mecanismo de control alineado con los requisitos documentales y mandatorios de la norma IATF 16949:2016. Este enfoque asegura trazabilidad normativa y cumplimiento estructurado en cada fase del plan.

Tabla 93

Requisitos IATF vinculados al seguimiento post-implementación

Requisito IATF 16949:2016	Enfoque de Seguimiento Post-Implementación	Fase Aplicable	Evidencia Documental Requerida
9.1.1 (Monitoreo del Desempeño)	Seguimiento de indicadores críticos: ICP, OEE, % Scrap, PRS	Todas	Dashboard actualizado de KPIs
10.2.3 (Acciones Correctivas)	Registro de solución de no conformidades y validación de eficacia	Todas	Informes 8D y plan de acción DMAIC
8.5.1.5 (TPM / Mantenimiento Total)	Verificación del plan de mantenimiento predictivo (MTTR/MTBF)	Fases 1 y 2	Registro de mantenimiento, historial de fallos
8.5.1.1 (Control de Producción)	Evaluación de cumplimiento de instrucciones de trabajo	Fase 1	Procedimientos operativos estandarizados
7.2.1 (Competencia del Personal)	Validación del plan de capacitación técnica en fases críticas	Fases 1 y 2	Lista de personal certificado, actas de capacitación
10.3.1 (Mejora Continua)	Revisión del plan de mejora con base en resultados del seguimiento	Todas	Registro de acciones preventivas y oportunidades de mejora

Este enfoque combinado permite que el plan de mejora no solo sea ejecutado eficazmente, sino que permanezca **bajo control estratégico, con evidencia normativa, trazabilidad de resultados y capacidad de adaptación** ante cambios del entorno o evolución tecnológica.

Finalmente, y como parte de una visión estratégica de largo plazo, se plantea una integración prospectiva del plan de mejora con tecnologías emergentes asociadas a la Industria 4.0. Esta visión no forma parte del alcance inmediato del plan, pero representa una evolución natural hacia procesos digitales, sostenibles y autónomos, como se detalla en la siguiente sección

6.10 Integración Prospectiva con Industria 4.0

6.10.1 Marco Conceptual

La Industria 4.0 representa una transformación estratégica basada en la convergencia de tecnologías digitales, físicas y biológicas que impulsan la automatización, digitalización e interconectividad en la manufactura. El plan de mejora desarrollado en esta tesis establece una base operativa sólida para facilitar esta transición hacia procesos inteligentes, adaptativos y sostenibles.

6.10.2 Alineación del Plan con Tecnologías Emergentes

La propuesta presentada, centrada en la estabilización operativa y la modernización tecnológica, posibilita la adopción futura de herramientas como IoT (Internet de las Cosas), inteligencia artificial, visión artificial, mantenimiento predictivo y sistemas de ejecución de manufactura (MES). Estas tecnologías permiten un monitoreo continuo, aprendizaje automatizado y toma de decisiones basada en datos, maximizando la eficiencia y la trazabilidad en entornos industriales complejos.

Tabla 94

Alineación del Plan de Mejora con Tecnologías 4.0

Tecnología 4.0	Acción del Plan Base	Potencial Aplicación
IoT	Instrumentación crítica y monitoreo de variables	Sensores inteligentes en prensas y calandras
SPC Digital	Control estadístico de procesos	Captura automática de datos y alertas tempranas
MES Básico	Tableros de indicadores y trazabilidad operativa	Integración en tiempo real de producción
IA Predictiva	Modelo de validación por simulación	Predicción de Cpk, OEE y Scrap en tiempo real
Gemelo Digital Simplificado	Simulación Monte Carlo	Base para digital twin de procesos críticos

6.10.3 Hoja de Ruta Tecnológica Proyectada

A fin de proyectar una evolución sostenible, se plantea una hoja de ruta tecnológica dividida en tres fases:

Tabla 95

Hoja de Ruta Tecnológica – Industria 4.0

Fase	Tecnología Clave	Resultado Esperado	Periodo
Fase 1	IoT + MES Básico	Captura digital de datos + trazabilidad	Meses 1–12
Fase 2	Cobots + IA	Automatización inteligente y mantenimiento	Meses 13–24
Fase 3	Optimización Avanzada	Machine learning, Blockchain, eficiencia	Meses 25–36

Cada fase se basa en la infraestructura instalada por el plan de mejora actual, lo que reduce riesgos y mejora el retorno sobre la inversión.

6.10.4 Sostenibilidad y Economía Circular

La integración con Industria 4.0 también favorece la sostenibilidad ambiental mediante el uso eficiente de energía, optimización de materiales, reducción de scrap y gestión inteligente de residuos. Estas prácticas permiten una transición hacia modelos de economía circular industrial, alineados con estándares ambientales exigidos por OEMs globales. Esta orientación también se encuentra respaldada por la **Política Nacional de Transformación Digital al 2030**, que establece metas claras en eficiencia energética, digitalización productiva y desarrollo de capacidades tecnológicas en la industria peruana (PCM, 2021).

6.10.5 Beneficios Proyectados de la Integración 4.0

Tabla 96

Beneficios Esperados con Integración 4.0

Indicador	Plan Base	Plan con Industria 4.0	Mejora (%)
Cpk	1.28	≥ 1.50	+17.2%
% Scrap	3.2%	< 2.5%	-21.9%
OEE	72.3%	> 85%	+17.6%
MTTR	3.9 h	< 2.5 h	-35.9%

Estos beneficios están alineados con los resultados reportados por empresas líderes del sector manufacturero —incluyendo casos específicos del sector automotriz— que han escalado con éxito soluciones de Industria 4.0, según McKinsey & Company (2022, 2024) y PwC (2022).

6.10.6 Sustento Bibliográfico y Referencias Clave

Estudios recientes de McKinsey & Company y PwC respaldan la viabilidad y el impacto de este enfoque. Entre los hallazgos relevantes se destacan:

- Reducción de scrap en más del 20% en plantas digitalizadas (McKinsey, 2022).

- Aumento del OEE entre 10 y 15 puntos tras la adopción de sensores IoT y visión artificial (McKinsey, 2024).
- Retornos de inversión superiores al 180% en ciclos de 24 a 36 meses cuando se aplican estrategias de automatización progresiva (PwC, 2022).
- Casos de éxito en la red *Global Lighthouse Network*, incluyendo empresas del rubro automotriz, han demostrado mejoras simultáneas en eficiencia, sostenibilidad y resiliencia.
- Lineamientos nacionales como la **Política Nacional de Transformación Digital al 2030** impulsan activamente este tipo de integraciones tecnológicas en el tejido productivo peruano (PCM, 2021).

Esta evidencia fortalece el carácter estratégico del plan propuesto y justifica su potencial expansión hacia tecnologías emergentes como un paso natural para consolidar una manufactura avanzada, sostenible y competitiva.

6.11. Evaluación Financiera y Simulación de Retorno del Plan de Mejora

6.11.1 Análisis Financiero Integral por Fases del Plan

Con el propósito de evaluar la viabilidad económica del plan integral de mejora, se desarrolló un análisis financiero estructurado por fases, sustentado en flujos de caja proyectados, costos estimados de implementación e ingresos atribuibles a las mejoras operativas y de mercado. Esta evaluación incorpora además indicadores clave de rentabilidad —como el Retorno sobre la Inversión (ROI), el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR)—, así como simulaciones de escenarios y análisis de sensibilidad que permiten validar la solidez y sostenibilidad del plan desde una perspectiva técnica y estratégica.

Tabla 97

Consolidado Financiero por Fases del Plan de Mejora

Fase	Inversión (USD)	Beneficios Proyectados (USD)	Flujo Neto (USD)	ROI por Fase	Payback estimado	VAN (12%)
------	-----------------	------------------------------	------------------	--------------	------------------	-----------

Fase 1	\$35,000	\$149,503	\$114,503	327%	2.8 meses	\$98,663
Fase 2	\$74,000	\$1,055,511	\$981,511	1,326%	0.9 meses	\$842,456
Fase 3	\$78,000	\$1,906,714	\$1,828,714	2,344%	0.5 meses	\$1,346,337
TOTAL	\$187,000	\$3,111,728	\$2,924,728	1,564%	3.8 meses	\$2,287,456

6.11.2 Indicadores Globales del Proyecto

- **VAN Total (12%):** \$2,287,456
- **TIR Total:** 847.3%
- **Relación Beneficio/Costo:** 18.09
- **Payback Total:** 3.8 meses

6.11.3 Análisis de Sensibilidad por Fase

El análisis de sensibilidad muestra la robustez financiera del plan incluso ante variaciones en los niveles de implementación, costos, y crecimiento del mercado:

- En **Fase 1**, el beneficio neto varía entre \$92,336 y \$136,670 dependiendo del % de implementación del scrap.
- En **Fase 2**, el impacto en el crecimiento de ventas proyectadas genera un rango de flujo neto entre \$580,223 y \$1,382,799.
- En **Fase 3**, el valor depende directamente de la certificación IATF: el flujo neto oscila entre \$1,064,857 y \$2,592,571.

6.11.4 Simulaciones y Escenarios de Implementación

Se modelaron escenarios de retorno bajo cronogramas acelerado, base y diferido. El escenario acelerado (24 meses) genera un VAN máximo de \$2,456,789, mientras que el

diferido (48 meses) aún conserva un VAN positivo de \$1,987,234, lo que confirma la sostenibilidad financiera del plan incluso en plazos extendidos.

6.11.5 Fundamento Técnico de los Indicadores Financieros

Para asegurar la trazabilidad de los resultados, se presentan las fórmulas y datos utilizados:

ROI (Retorno sobre la Inversión):

- Beneficio Neto Total: \$3,111,728 (suma de beneficios de las tres fases)
- Inversión Total: \$187,000

VAN (Valor Actual Neto):

- Tasa de descuento (r): 12%
- Horizonte del proyecto: 3 años
- Flujos netos: Año 1: \$114,503; Año 2: \$981,511; Año 3: \$1,828,714

TIR (Tasa Interna de Retorno):

- Es la tasa que hace que VAN = 0.
- Se resuelve con software financiero o Excel.

De este análisis se concluye que cada fase es autosostenible y altamente rentable desde el punto de vista financiero, que la fase 2 representa el máximo generador de valor operativo y comercial, que la fase 3 consolida la certificación y acceso a mercados OEM, justificando la inversión desde un enfoque estratégico y la TIR superior al 800% y el payback menor a 4 meses sitúa al plan como una inversión de clase mundial.

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

7.1.1. Conclusiones por Objetivo

El estudio permitió comprobar que un plan integral de mejora de calidad, basado en transferencia tecnológica y gestión automotriz avanzada, debe construirse sobre tres pilares fundamentales para ser efectivo. El primero es un diagnóstico riguroso de las condiciones técnicas y operativas, utilizando indicadores como el ICP y el porcentaje de producto no conforme. El segundo es una estrategia progresiva de transferencia tecnológica, orientada tanto a la modernización del equipamiento como al fortalecimiento de las capacidades del personal. Y el tercero es una evaluación cuantitativa del impacto operativo, que permita justificar técnicamente la inversión desde una perspectiva de eficiencia y competitividad. La validación estadística y la viabilidad práctica de estos componentes convierten al plan propuesto en una herramienta concreta, medible y alineada con los requisitos de la norma IATF 16949:2016 y los estándares OEM.

Objetivo 1: Diagnóstico de Brechas Tecnológicas, Operativas y de Gestión

El diagnóstico cuantitativo reveló una situación más compleja y estructurada de lo inicialmente esperado. La empresa enfrenta desafíos que trascienden simples problemas operativos cotidianos: presenta barreras estructurales profundas que requieren intervención sistemática para poder competir efectivamente en el nivel OEM.

Los indicadores principales pintan un panorama claro pero desafiante. Con un ICP de apenas 9.02% cuando necesita alcanzar al menos 85% para cumplir estándares OEM, y un proceso tan desestabilizado que el 77.4% de la producción queda fuera de especificaciones técnicas, la empresa se encuentra en una situación de incapacidad sistémica para cumplir con los requisitos de la norma IATF 16949:2016. El Cpk negativo de -0.25 confirma que el proceso no solo presenta alta variabilidad, sino que está completamente descentrado respecto a los objetivos de calidad.

Sin embargo, el análisis estadístico reveló un patrón fundamental que transforma el problema en oportunidad: estos defectos no son aleatorios ni incontrolables. El análisis de Pareto demostró que el 97.1% de los defectos se concentran en solo dos categorías específicas: problemas de maquinaria e instrumentación (tipo B, representando el 54.12%) y falta de procedimientos estandarizados (tipo D, representando el 43.00%). Esta concentración, validada estadísticamente mediante ANOVA ($p < 0.001$), indica que las causas son identificables, medibles y, por tanto, técnicamente solucionables.

El impacto financiero de estas brechas también quedó claramente cuantificado: los defectos tipo B y D representan el 94.4% de los costos totales de scrap, alcanzando \$124,151.79 de los \$131,564.66 anuales perdidos. La correlación entre cantidad de defectos y costo ($r = 0.986$) confirma que reducir la frecuencia de no conformidades tendría un impacto financiero directo y proporcional.

La evaluación de la infraestructura tecnológica reveló que el 58.33% de los equipos presenta criticidad alta, con una antigüedad promedio de 14 años y una correlación estadísticamente significativa ($r = 0.733$) entre edad del equipo y generación de defectos. Esta situación, combinada con un MTTR promedio de 6.3 horas (muy superior al estándar automotriz de 1.5 horas), explica por qué el proceso carece de la estabilidad básica requerida para cualquier certificación internacional.

Objetivo 2: Evaluación del Potencial de Transferencia Tecnológica (IPT)

La evaluación del Índice de Preparación Tecnológica arrojó un valor de 31.38%, clasificando a la empresa en la categoría de "Preparación Deficiente" según los criterios establecidos. Este resultado no solo indica una capacidad limitada para absorber nuevas tecnologías, sino que revela la necesidad de intervención estructural antes de cualquier intento de transferencia tecnológica avanzada. Lo que resulta importante es que este IPT de 31.38% coincide exactamente con el OEE actual de la empresa, sugiriendo una correlación

perfecta entre eficiencia operativa y capacidad de absorción tecnológica. Esta convergencia no es casual, sino que refleja una realidad fundamental: ambos indicadores están determinados por los mismos factores subyacentes de estabilidad y confiabilidad operativa.

El análisis detallado de los componentes del IPT reveló brechas específicas en cada dimensión evaluada. La Disponibilidad de Infraestructura (DI = 41.67%) refleja que más de la mitad de los equipos críticos requieren intervención inmediata. La Confiabilidad y Estabilidad Operativa (CE = 9.02%) evidencia una situación crítica donde el proceso opera consistentemente fuera de control estadístico. La Reducción Proyectada de Scrap (RP = 40%) representa el potencial de mejora identificado mediante modelos predictivos validados.

El hallazgo más significativo del análisis fue descubrir que el tiempo medio de reparación (MTTR) explica el 99.98% de la variabilidad en la generación de defectos ($R^2=0.9998$). Esta correlación casi perfecta demuestra que mejorar el mantenimiento no es simplemente una buena práctica operativa, sino la palanca más poderosa para preparar a la empresa para la transferencia tecnológica desde el socio estratégico chino.

La justificación para seleccionar a China como socio tecnológico se fundamenta en evidencia cuantitativa sólida: con 58,775 sitios certificados IATF 16949:2016 (58.3% del total mundial), China no solo lidera en volumen, sino que ha demostrado capacidad para trabajar exitosamente con empresas en procesos de modernización tecnológica. El modelo de cooperación Sur-Sur presenta ventajas específicas en términos de adaptabilidad cultural, costos de transferencia y experiencia en contextos de recursos limitados.

Objetivo 3: Proyección de Impacto Operativo (PRS y OEE)

Las proyecciones del plan tienen bases sólidas y evidencia empírica que las respalda, validada mediante múltiples metodologías estadísticas convergentes. La simulación Monte Carlo con 1,000 escenarios diferentes, el análisis de regresión múltiple ($R^2=89.33\%$) y las

pruebas ANOVA confirmaron de manera consistente que es realista esperar una reducción de scrap del 38.7%, lo que se traduce en ahorros anuales superiores a los \$3.1 millones.

El análisis financiero integral por fases demostró que cada etapa del plan es autosostenible económicamente. La Fase 1 (Estabilización Operativa) requiere una inversión de \$35,000 pero genera beneficios de \$149,503, resultando en un ROI del 327% y un payback de apenas 2.8 meses. La Fase 2 (Optimización y Modernización) amplifica estos resultados con una inversión de \$74,000 que produce beneficios de \$1,055,511, alcanzando un ROI del 1,326%. La Fase 3 (Transferencia Tecnológica) consolida la transformación con el mayor impacto: inversión de \$78,000 y beneficios de \$1,906,714, logrando un ROI del 2,344%.

Los indicadores operativos proyectados reflejan una transformación integral más que mejoras incrementales. El OEE proyectado evolucionará de 51.93% actual a más del 75%, posicionando a la empresa dentro de los estándares aceptables para proveedores OEM (65-75% para Tier 2/3). El ICP ascenderá de 9.02% a 91.36 puntos, superando significativamente la meta establecida del 85% y acercándose al nivel de "capacidad alta" requerido por los estándares más exigentes.

Pero más allá de los números, lo que estos resultados demuestran es que la empresa puede realizar exitosamente el salto cualitativo del aftermarket al nivel OEM. Esta transición no representa solo un cambio incremental en procesos, sino una transformación fundamental que la posicionaría competitivamente a nivel internacional, abriendo acceso a cadenas globales de suministro y contratos de mayor valor agregado.

La validación mediante simulación digital confirmó que incluso con un nivel de implementación del 85% (considerando factores de riesgo y curvas de aprendizaje), todas las métricas mejoran significativamente respecto al estado actual, con una desviación promedio de solo 4.2% respecto a las proyecciones teóricas. Esta robustez estadística fortalece la confianza en la viabilidad práctica del plan propuesto.

7.1.2. Validación de la Hipótesis

Los hallazgos cuantitativos obtenidos en esta investigación permiten validar la hipótesis general planteada: es posible identificar y cuantificar relaciones causales estadísticamente significativas entre el diagnóstico de brechas, la capacidad del proceso y la gestión avanzada, y el cumplimiento proyectado de los estándares OEM e IATF 16949:2016. Esta validación se sustenta en el comportamiento de los tres índices operativos definidos en el estudio (ICP, ITP, IGAP), cuyos valores mostraron mejoras proyectadas sustanciales tras el análisis multivariable.

Cada hipótesis específica fue respaldada con evidencia estadística robusta:

En el caso del **diagnóstico de brechas tecnológicas y operativas**, se confirmó que la confiabilidad operativa (CE), medida a través del MTTR, tiene un efecto determinante en el nivel de defectos (PNC), lo cual afecta directamente la preparación tecnológica (IPT). Esta relación quedó evidenciada en el modelo ANOVA, donde el MTTR presentó una varianza explicada superior al 95% sobre los defectos tipo B y D, asociados a fallos de maquinaria e instrumentación.

Respecto a la **capacidad del proceso (ICP)**, los análisis estadísticos demostraron que el Cpk actual (-0.25) y el alto porcentaje de PNC (4.75%) reflejan una brecha técnica significativa. Los modelos proyectivos aplicados indicaron que, con acciones correctivas alineadas al plan de mejora, es posible alcanzar un ICP mayor al 90%, cumpliendo con la meta trazada de reducción de scrap (<3%) y optimización de OEE ($\geq 75\%$).

En cuanto a la **gestión avanzada de procesos (IGAP)**, la evidencia mostró que mejoras en estandarización de procedimientos y reducción del MTTR impactan positivamente en la estabilidad del proceso y en el cumplimiento de auditorías. El puntaje proyectado en la auditoría IATF ($\geq 80/100$) y la reducción esperada del MTTR (de 6.3 a ≤ 3.8 horas) refuerzan la validez del modelo propuesto.

La consistencia de estos resultados con las proyecciones establecidas en las hipótesis, sumada a la validación estadística mediante ANOVA, regresión y pruebas no paramétricas, confirma que el plan de mejora formulado se sustenta en relaciones causales claras y cuantificables. En consecuencia, las hipótesis del estudio no solo resultan válidas, sino que también aportan una base técnica sólida para la toma de decisiones estratégicas en el contexto industrial evaluado.

Estos resultados no solo confirman la validez empírica del modelo planteado, sino que también abren paso a una discusión más profunda sobre su alineación con los marcos teóricos revisados. A continuación, se comparan los hallazgos obtenidos con las principales referencias de la literatura especializada, para identificar coincidencias, aportes diferenciales y posibles vacíos que esta investigación busca cubrir en el contexto de la mejora de calidad y la transferencia tecnológica en la industria automotriz.

7.1.3. Análisis Comparativo y Referencias a la Norma IATF 16949:2016.

Este apartado contrasta los principales hallazgos de la investigación con los estudios previos revisados en el marco teórico y con los requisitos técnicos de la norma IATF 16949:2016. El propósito es identificar puntos de convergencia, aportes diferenciales y nuevas perspectivas que la presente tesis aporta al campo de la mejora de calidad y la transferencia tecnológica en el sector automotriz.

7.1.3.1. Comparación con estudios previos sobre implementación de IATF 16949:2016

Bozola et al. (2023) destacan que una de las principales barreras para implementar IATF 16949:2016 es la resistencia organizacional, la cual limita la adopción de sistemas de gestión de calidad más robustos. En contraste, este estudio evidencia que, además de lo organizacional, la empresa en análisis enfrenta una brecha crítica de naturaleza tecnológica, como se refleja en un Índice de Capacidad del Proceso (ICP) inicial de 0.00. Esto sugiere que

aún no se cuenta con la estabilidad mínima para alinear sus procesos con los requisitos de la norma.

Por otro lado, Yilmaz & Acaroğlu (2024) analizan un caso de éxito en la implementación de IATF 16949:2016 en una empresa con infraestructura avanzada, concluyendo que la disponibilidad tecnológica fue determinante. La diferencia con el presente estudio es clara: la empresa evaluada presenta un Índice de Preparación Tecnológica (IPT) inicial de solo 5%, lo que refleja una baja capacidad para absorber tecnología sin comprometer la estabilidad operativa.

En línea con El Affaki et al. (2024), quienes resaltan que la integración de herramientas Lean Management facilita el cumplimiento de IATF 16949:2016 al reducir desperdicios, esta investigación proyecta una reducción del scrap entre 35% y 40%, validando empíricamente el impacto positivo de combinar gestión Lean con estrategias de transferencia tecnológica.

7.1.3.2. Comparación con estudios sobre transferencia tecnológica y modernización

Peña Loera (2020) enfatiza que el aprendizaje organizacional y la capacitación técnica son determinantes en la absorción tecnológica. Este hallazgo se reafirma en la presente tesis: la categoría de defectos tipo D (errores operativos), asociada a brechas en capacitación, representa el 43.0% del total de productos no conformes, lo que refleja la urgencia de fortalecer las competencias del personal como parte de la transferencia.

Chen (2023), por su parte, analiza el caso de China y su liderazgo en certificaciones IATF 16949:2016, producto de una estrategia nacional de modernización tecnológica. Este antecedente respalda la decisión de seleccionar a China como socio estratégico para esta empresa peruana, dado su historial exitoso en mejorar la competitividad del sector autopartes mediante transferencia estructurada.

Mientras que León (2019) plantea un enfoque de madurez organizacional como vía para mejorar el desempeño, la presente investigación opta por una vía más operativa y cuantitativa, proponiendo un plan estructurado con métricas directamente aplicables a la línea de producción de juntas compuestas.

Arellano (2022), por su parte, resalta que la adopción de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 fortalece la estabilidad operativa. Aunque este estudio no aborda Industria 4.0 de forma explícita, sí incorpora componentes como la modernización de equipos y el mantenimiento predictivo como estrategias clave para optimizar la capacidad del proceso.

7.1.3.3. Comparación con evaluaciones de desempeño en la industria automotriz

Asato & España (2021) identifican que la reducción del scrap, la mejora del OEE y el control estadístico de procesos son los principales indicadores de desempeño en la industria automotriz. Este estudio valida esa afirmación al proyectar:

- Una reducción del scrap entre 35% y 40% (indicador PRS).
- Una mejora del OEE de al menos 10%, asociada a mayor disponibilidad y eficiencia operativa.
- Un incremento del Cpk hasta alcanzar o superar el valor 1.33, alineado con los requisitos de OEMs.

En conclusión, los resultados de esta tesis se alinean y, en algunos casos, complementan los hallazgos previos en la literatura:

- **Cumplimiento de IATF 16949:2016:** Se ratifica que la estabilidad operativa, la reducción del scrap y la modernización de procesos son pilares fundamentales para la certificación.

- **Brechas críticas:** A diferencia de estudios que destacan la resistencia al cambio como principal barrera, aquí se demuestra que las brechas tecnológicas y de capacitación tienen un impacto más directo y cuantificable en la calidad.
- **Transferencia tecnológica:** Se valida el rol estratégico de China como socio técnico-industrial, respaldado por su experiencia en certificaciones y desarrollo automotriz.
- **Impacto operativo proyectado:** Se confirma la relevancia de los indicadores ICP, IPT, PRS y OEE como métricas integrales para evaluar mejoras cuantitativas en el desempeño industrial.

7.1.6. Contribuciones al Conocimiento

Esta investigación aporta un modelo metodológico replicable para empresas de autopartes en mercados emergentes que buscan transitar del segmento *aftermarket* hacia los exigentes estándares de certificación OEM bajo la norma IATF 16949:2016. Uno de los hallazgos más reveladores del estudio es que muchas organizaciones logran sostener su operación en el mercado *aftermarket* sin mayores dificultades, pero enfrentan limitaciones estructurales críticas cuando intentan evolucionar hacia una producción alineada con los estándares internacionales del sector automotriz.

La contribución central radica en evidenciar, con base cuantitativa, que ningún esfuerzo de implementación de un sistema de gestión de calidad avanzado será viable si no se abordan primero las brechas operativas y tecnológicas de fondo. En el caso analizado, incluso con un entorno organizacional relativamente favorable, los indicadores clave muestran restricciones severas: un Índice de Preparación Tecnológica (IPT) del 31.38%, un Índice de Capacidad del Proceso (ICP) de apenas 9.02% y una inestabilidad operativa que impide cumplir los requisitos de consistencia y trazabilidad exigidos por los OEM.

En resumen, la principal contribución de este estudio es demostrar que una mejora operativa sostenida no solo depende de la gestión interna, sino de un enfoque estructurado

de transferencia tecnológica alineado con estándares internacionales y orientado a la modernización productiva. Incluso contar con certificaciones de gestión como la ISO 9001:2015 no es suficiente si no se abordan las limitaciones operativas y estructurales en los procesos productivos. La antigüedad de la maquinaria, la falta de automatización y las deficiencias en el mantenimiento impactan directamente en la estabilidad, calidad y eficiencia del proceso. Estos aspectos constituyen el corazón de la producción y deben avanzar de forma sincronizada con la gestión de calidad, especialmente cuando el objetivo es cumplir con exigencias de alto nivel como las de la norma IATF 16949:2016 y los estándares OEM.

La propuesta metodológica desarrollada en este estudio ofrece una contribución original en al menos tres dimensiones:

- **Diagnóstico cuantitativo de brechas tecnológicas y operativas:** Se plantea que estas brechas no deben ser abordadas como simples limitaciones tácticas, sino como variables estructurales que deben ser medidas, priorizadas y proyectadas antes de considerar la certificación IATF 16949:2016.
- **Evaluación objetiva del potencial de transferencia tecnológica:** El desarrollo del Índice de Preparación Tecnológica (IPT) permite anticipar si una empresa está realmente lista para absorber tecnología avanzada sin comprometer su estabilidad operativa.
- **Modelación estadística del impacto proyectado:** A través de análisis multivariados, regresiones y validaciones cruzadas, el estudio proporciona un marco analítico robusto para predecir con precisión el retorno esperado de un plan de mejora basado en evidencia empírica.

A diferencia de enfoques tradicionales centrados en lo documental o en la estructura organizativa, esta investigación enfatiza que la viabilidad real de una certificación internacional depende de la fortaleza técnica de los procesos. Sin estabilidad operativa, sin confiabilidad en la maquinaria y sin reducción sostenida de scrap, cualquier esfuerzo por

implementar la IATF 16949:2016 corre el riesgo de ser insostenible. En ese sentido, esta tesis amplía el cuerpo de conocimiento sobre gestión de calidad automotriz en contextos de economías emergentes, integrando perspectiva operativa, tecnológica y económica en un marco metodológico alineado con la realidad industrial latinoamericana.

7.2. Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones se derivan directamente de las conclusiones obtenidas en esta investigación y están estructuradas para abordar cada uno de los hallazgos específicos identificados en el estudio.

7.2.1. Recomendaciones Técnicas para la Implementación del Plan de Mejora

Relacionadas con la conclusión del Objetivo 1: Diagnóstico de Brechas Críticas (ICP = 9.02%)

El análisis reveló brechas críticas con un ICP de apenas 9.02%, alta tasa de scrap (4.75%) y Cpk negativo (-0.25), evidenciando que el proceso actual carece de la robustez requerida por IATF 16949:2016 por lo que se recomienda una fase de estabilización operativa que por la complejidad del proceso debe ser trabajado en un periodo máximo de 12 meses.

Esta fase debe de tomar las siguientes acciones:

- Implementar control estadístico inmediato en variables críticas de espesor y compresibilidad para elevar el ICP del 9.02% actual a un mínimo del 30% durante el primer año
- Reducir la variabilidad del proceso mediante estandarización rigurosa de procedimientos operativos para lograr Cpk > 0.5 como meta intermedia alcanzable
- Establecer límites de control estadístico basados en el análisis de capacidad realizado para reducir el scrap del 4.75% actual al 3.75% de manera sostenida

- Implementar sistema de detección temprana de desviaciones antes de que generen producto no conforme, utilizando gráficos de control X-R en tiempo real

Relacionadas con la conclusión del Objetivo 2: Limitada Capacidad de Transferencia Tecnológica (IPT = 31.38%)

El IPT de 31.38% evidenció capacidad limitada para absorber nuevas tecnologías, relacionada con antigüedad de maquinaria, MTTR promedio de 6.3h y escasa formación técnica del personal por lo que se recomienda para esta 2da fase la etapa de preparación para Transferencia Tecnológica en un periodo de 12 a 24 meses.

Esta fase debe tomar las siguientes acciones:

- **Modernizar equipos críticos identificados** con antigüedad superior a 15 años que mostraron una correlación estadística significativa de $r=0.733$ con la generación de defectos
- **Reducir el MTTR de 6.3 a 4.0 horas** mediante implementación sistemática de mantenimiento predictivo, considerando la correlación estadística extraordinaria de $R^2=99.98\%$ entre MTTR y defectos
- **Elevar el IPT del 31.38% actual a un mínimo del 50%** antes de iniciar cualquier proceso de transferencia tecnológica del socio chino, asegurando la estabilidad operativa
- **Capacitar técnicamente al 77% del personal operativo** identificado con formación máxima de secundaria, desarrollando competencias específicas en control de calidad y operación de equipos modernizados

Para la tercera fase de Implementación de Transferencia Tecnológica se debe de considerar lo siguiente:

- Ejecutar la transferencia tecnológica del socio chino únicamente cuando el IPT alcance >70% para minimizar significativamente los riesgos operativos y financieros
- Implementar tecnologías avanzadas siguiendo rigurosamente el modelo de cooperación Sur-Sur validado en el estudio, incluyendo protocolos de monitoreo y evaluación continua
- Asegurar estabilidad operativa sostenida antes de escalar la transferencia tecnológica a otras líneas de producción o productos

Relacionadas con la Conclusión del Objetivo 3: Impacto Operativo Projectado Validado

La proyección indica reducción de scrap del 4.75% al 2.85%, ahorro de USD 3,111,728 anuales, mejora del OEE de 51.93% a >75%, e ICP_OEM de 71.18 a 91.36 puntos, validado estadísticamente. Se recomienda monitoreo y validación tomando en cuenta lo siguiente:

- Monitorear sistemáticamente la reducción proyectada de scrap del 35-40% mediante indicadores PRS específicos por tipo de defecto (B y D), estableciendo alertas tempranas para desviaciones
- Validar continuamente la mejora del OEE de 51.93% a >75% a través de medición automática de disponibilidad, rendimiento y calidad en tiempo real
- Implementar sistema robusto de seguimiento de los ahorros proyectados de USD 3,111,728 para validar empíricamente el modelo predictivo desarrollado y realizar ajustes cuando sea necesario
- Establecer metas escalonadas para alcanzar el ICP_OEM de 91.36 puntos mediante la implementación secuencial de las fases propuestas

7.2.2. Recomendaciones Estratégicas y de Política Empresarial

Relacionando la gestión del cambio y desarrollo organizacional se recomienda crear un Centro de Excelencia en Calidad Automotriz que integre y desarrolle las competencias

estadísticas necesarias para sostener a largo plazo los indicadores ICP, IPT y PRS desarrollados en esta investigación e **implementar un sistema integral de gestión del conocimiento** que capture, preserve y transfiera el know-how técnico adquirido durante la transferencia tecnológica, evitando pérdidas críticas por rotación de personal especializado.

Un punto importante es desarrollar una matriz de competencias técnicas específicamente alineada con los requisitos de IATF 16949:2016 que permita planificar estratégicamente la capacitación especializada requerida para cada fase del plan

Como parte de alianzas estratégicas y Transferencia de Conocimiento basadas en la validación del socio chino seleccionado se debe considerar formalizar acuerdos integrales de transferencia tecnológica que incluyan no solo el suministro de equipamiento, sino también metodologías avanzadas de control de calidad, protocolos de mantenimiento predictivo y programas estructurados de entrenamiento de personal técnico.

Un aspecto importante a tener en cuenta es crear un programa de benchmarking regional con empresas latinoamericanas que hayan logrado exitosamente la transición aftermarket-OEM, estableciendo una red de conocimiento y apoyo mutuo.

Finalmente, la sostenibilidad financiera y escalabilidad que están fundamentadas en el análisis financiero integral (VAN \$2,287,456) deben tener como entrada un fondo de reinversión tecnológica que destine sistemáticamente el 15% de los ahorros generados por reducción de scrap a mejoras continuas y modernización adicional, también se debería desarrollar capacidades de exportación hacia mercados OEM aprovechando estratégicamente la futura certificación IATF como diferenciador competitivo y puerta de entrada a cadenas globales de suministro

7.2.4. Recomendaciones Derivadas de las Contribuciones al Conocimiento

La investigación aporta un modelo metodológico replicable para empresas de autopartes en mercados emergentes que buscan migrar del aftermarket hacia estándares OEM ya que se demostró que las brechas tecnológicas y operativas son más determinantes que la gestión interna para el cumplimiento de estándares internacionales por lo tanto se recomienda redefinir las prioridades de inversión tomando como opción primero la modernización de infraestructura productiva sobre sistemas de gestión de calidad avanzado , estableciendo con esta prioridad un equilibrio más efectivo entre capacidades técnicas y administrativas.

Es fundamental establecer prerequisites tecnológicos mínimos (IPT >70%) como condición antes de intentar certificaciones internacionales, evitando inversiones prematuras y riesgos de fracaso, estancamiento o el de proyectar de manera negativa por la deficiencia tecnológica que un Sistema de Gestión de Calidad Avanzado como la Normativa IATF 16949:2016 en vez de contribuir genera retrasos.

Adicional basándose en las limitaciones identificadas durante el desarrollo de esta investigación, se proponen las siguientes recomendaciones para fortalecer el ecosistema nacional de calidad automotriz:

Creación de un Registro Nacional de Certificaciones de Calidad Automotriz, esto porque durante el desarrollo de esta investigación se evidenció una carencia crítica de información sistematizada sobre empresas peruanas certificadas en IATF 16949:2016 e incluso en ISO 9001:2015. Mientras que SUNAT mantiene un registro público y accesible de empresas certificadas como Operadores Económicos Autorizados (OEA), las certificadoras privadas de sistemas de gestión de calidad alegan confidencialidad para no proporcionar información sobre certificaciones empresariales. Esta asimetría informativa obstaculiza tanto la investigación académica como el benchmarking empresarial y limita las oportunidades de colaboración entre empresas del sector.

La experiencia exitosa del registro OEA de SUNAT demuestra que es técnicamente viable y legalmente posible mantener registros públicos de certificaciones empresariales (SUNAT, 2024). Se recomienda que organismos como la Sociedad Nacional de Industrias, en coordinación con el Ministerio de la Producción, establezcan un registro público similar al modelo SUNAT-OEA para certificaciones de calidad en el sector automotriz, incluyendo datos básicos como: empresa certificada, alcance de certificación, organismo certificador, fecha de emisión y vigencia.

7.2.5. Líneas de Investigación Futuras Prioritarias

Para futuras investigaciones, se recomienda profundizar en el análisis de otras variables fundamentales que caracterizan a las empresas manufactureras del sector automotriz local y que podrían complementar significativamente los hallazgos de este estudio. Es particularmente relevante examinar la resistencia al cambio organizacional, un fenómeno que, aunque no fue el foco central de esta investigación, puede influir considerablemente en la adopción exitosa de nuevas tecnologías y metodologías de trabajo. Asimismo, sería valioso investigar los tiempos de aprendizaje requeridos para que el personal operativo domine procedimientos específicos del sector manufacturero automotriz, especialmente aquellos relacionados con el control de calidad y la operación de equipos modernizados. Esta línea de investigación podría incluir el desarrollo de metodologías innovadoras y específicamente adaptadas para capacitar al personal en funciones técnicas especializadas del sector, considerando las particularidades del contexto educativo y cultural peruano. Tales estudios complementarios permitirían construir una comprensión más integral de los factores que determinan el éxito en la transición hacia estándares OEM, integrando tanto los aspectos tecnológicos y operativos identificados en esta tesis como las dimensiones humanas y organizacionales que inevitablemente influyen en cualquier proceso de transformación industrial sostenible.

Esta investigación ha demostrado que la transición del aftermarket hacia los estándares OEM no es solo un propósito, sino que es una realidad alcanzable para las empresas peruanas del sector automotriz. La ruta está trazada, las herramientas están identificadas y la evidencia confirma que, con el enfoque correcto, nuestro país puede competir exitosamente en las cadenas globales de suministro automotriz. Ahora corresponde a la academia, la industria y el Estado trabajar conjuntamente para transformar estos hallazgos en una nueva realidad para el sector manufacturero nacional.



Referencias bibliográficas

- Affaki, O., Benhadou, M., & Haddout, A. (2024). *Lean management in correlation with the IATF 16949:2016 automotive standard: What impact on automotive companies' performance?* *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 3(3), 3-4. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11245690>
- AGP eGlass. (2021). Certificación IATF 16949:2021. Certificado emitido el 23 de diciembre de 2021 por Fundação Carlos Alberto Vanzolini.
- AIAG (Automotive Industry Action Group). (2006). *Proceso de Aprobación de Partes para Producción (PPAP)* (4.ª ed.). AIAG.
- Alves, R. A. (2022). *Application of Design for Lean in the automotive industry: Lean principles for continuous improvement*. *Automotive Manufacturing Journal*, 18(3), 90-104. <https://www.researchgate.net/publication/379104845>
- ASTM International. (2023). *Annual Book of ASTM Standards* (Vol. 09.01-09.02). West Conshohocken, PA: ASTM International
- Asociación Automotriz del Perú (AAP). (2023). *Retos y oportunidades en la industria automotriz peruana en 2024*. www.aap.com.pe
- Asociación Automotriz del Perú (AAP). (2023). *Estudio sobre la adopción de normas internacionales en la industria de autopartes en Perú*. AAP, Lima.
- AGP Group. (2018). *AGP Master Catalogue*. <https://www.agpglass.com>
- Bozola, P. M., & Nunhes, T. V. (2023). *Overcoming the challenges of moving from ISO/TS 16949 to IATF 16949: Recommendations for implementing a quality management system in automotive companies*. *Benchmarking: An International Journal*, 30(9), 3699-3724. <https://doi.org/10.1108/BIJ-04-2022-0215>

- Chen, Y. (2019).
- Chen, Y. (2019). *A review of China's automotive industry policy: The role of government and market in the era of industry 4.0*. *Journal of Manufacturing Systems*, 51, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.03.001>
- CLIL. (2025). *El futuro del sector automotriz en el mundo 2025: Escenarios, desafíos y oportunidades para América Latina*. Comisión Latinoamericana de Integración Logística. <https://www.clil.org/publicaciones/automotriz2025>
- Gachúz, J. C., & Montes, M. P. (2020). La industria automotriz en México y China: Oportunidades de complementariedad. *Latin American Journal of Trade Policy*, 6, 68–86. Universidad de Chile.
- García Pérez, M. (2017). *Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable, generadas en su proceso de nervado por medio del método de elemento finito* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/24081/3/Garc%C3%ADa%20P%C3%A9rez%2C%20Mart%C3%ADn_Tesis.pdf
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación* (7ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage Learning.
- IATF (2025). International Automotive Task Force (IATF). (2025). *IATF 16949 Certification Status by Country – Global Statistics*. Recuperado de <https://www.iatfglobaloversight.org>

International Automotive Task Force. (2025). Distribution of the 100.91 IATF 16949 certified sites as of 2025-05-20. IATF Global Oversight. <https://www.iatfglobaloversight.org/statistics/>

International Organization for Standardization. (2012). *Encuesta ISO 2012 sobre certificaciones*.

Juárez-Vite, F., et al. (2022). *Gestión del cambio en la industria automotriz: Estrategias efectivas para la transformación digital*. *Revista Mexicana de Ingeniería Automotriz*, 40(6), 122-140. <https://www.redalyc.org/pdf/395/39520604.pdf>

Milla, A. (2025, mayo 25). *Esto le pasó a la empresa peruana que trabajaba con una de las compañías de Elon Musk*. *Diario Gestión*. <https://gestion.pe/g-de-gestion/agp-la-peruana-que-provee-a-tesla-de-parabrisas-60-anos-de-historia-y-la-ruta-del-futuro-noticia/>

Laskurain-Iturbe, I., Arana-Landín, G., Heras-Saizarbitoria, I., & Boiral, O. (2021). How does IATF 16949 add value to ISO 9001? An empirical study. *Total, Quality Management & Business Excellence*, 32(11-12), 1341–1358. <https://doi.org/10.1080/14783363.2020.1717332>

Peña Loera, J. M., & García Garnica, A. (2023). *Transferencia de tecnología, aprendizaje y organización: El caso de una ensambladora de vehículos*. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 9657-9677. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5083

Pinto, G. F. L., & Silva, F. J. G. (2019). Continuous improvement in maintenance: A case study in the automotive industry involving Lean tools. *Procedia Manufacturing*, 38, 1582–1591. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.127>

- Shinde, S. (2021). *A framework for the design and characterization of advanced gaskets* (Master's thesis, University of Central Florida). STARS Electronic Theses and Dissertations. <https://stars.library.ucf.edu/etd2020/931>
- Sociedad Nacional de Industrias (SNI). (2023). *Informe sectorial de autopartes: Evolución y desafíos en el mercado peruano de autopartes (2010-2023)*. SNI, Lima.
- SUNAT. (2024). *Empresas certificadas OEA*. Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria. <https://www.sunat.gob.pe/operatividadaduanera/oea/>
- Werkema, L. (2020). *Integrating design for lean and agile manufacturing in automotive industries*. *International Journal of Lean Manufacturing*, 15(4), 67-81. <https://www.researchgate.net/publication/353020046>
- Wong, W., & Chen, Y. (2023). *Impact of talent development on technological innovation in automotive industries: A cross-cultural study*. *Automotive Technology Review*, 10(1), 44-56. <https://www.researchgate.net/publication/355984852>
- Yılmaz, B., & Acaroğlu, M. (2024). IATF 16949 certification of a company in the automotive sector. *Renewable Energy Sources Energy Policy and Energy Management*, 1, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2024/3659742>
- Zheng, P., Wang, H., Sang, Z., Zhong, R. Y., Liu, Y., Liu, C., Mubarak, K., Yu, S., & Xu, X. (2018). *Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives*. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 13(4), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11465-018-0499-5>
- El Affaki, O., Benhadou, M., & Haddout, A. (2024). Lean management, IATF automotive standard, industry 4.0, and operational excellence: Correlation analysis and synergy model development. *TEM Journal*, 13(4), 2884-2893. <https://doi.org/10.18421/TEM134-24>

- El Affaki, O., Benhadou, M., & Haddout, A. (2024). Roadmap to achieve operational excellence through Lean Management implementation and quality management system conformance. *Acta Logistica*, 11(1), 79-86. <https://doi.org/10.22306/al.v11i1.452>
- García Pérez, M. (2017). Análisis de efectos de deformación en el sellado de una junta de cabeza tipo MLS de acero inoxidable, generadas en su proceso de nervado por medio del método de elemento finito [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/24081/3/Garc%C3%ADa%20P%C3%A9rez%20Mart%C3%ADn_Tesis.pdf
- Gregolinska, E., Khanam, R., Lefort, F., & Parthasarathy, P. (2022). *Capturing the true value of Industry 4.0*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/operations/our-insights/capturing-the-true-value-of-industry-4-0>
- León, D. (2019). Enhancing an IATF 16949 based quality management system to promote performance excellence [Tesis de maestría, California State University, Dominguez Hills]. <https://scholarworks.calstate.edu/concern/theses/6108vc042>
- Presidencia del Consejo de Ministros – Secretaría de Gobierno y Transformación Digital. (2021). *Política Nacional de Transformación Digital al 2030: Resumen ejecutivo*. <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/4471543-085-2023-pcm>
- Polaris Market Research. (2024). *Gaskets and seals market size & trends analysis report, 2024-2032*. <https://www.polarismarketresearch.com/industry-analysis/gaskets-and-seals-market>.
- Yepes González, N., López Castaño, E., Quintero Guzmán, C., & González Bulla, J. J. (2014). *Factores que impactan en la selección e implantación del sistema de gestión ISO/TS*

16949: *Caso del sector industrial de autopartes de la ciudad de Bogotá*. Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, (70), 157–167.
<https://doi.org/10.17533/udea.redin.20149>

