Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Industrial
Unidad de Posgrado

Implementación de herramientas Lean Manufacturing para la mejora de la productividad en el área de antirreflejo en una empresa de fabricación de lentes oftálmicos

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Ingeniería Industrial

AUTOR
Anthony Hugo TERRONES TITO

ASESOR
Dra. Gina Coral TEJADA ESTRADA

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Terrones, A. (2026). *Implementación de herramientas Lean Manufacturing para la mejora de la productividad en el área de antirreflejo en una empresa de fabricación de lentes oftálmicos*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Anthony Hugo Terrones Tito
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47528477
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0000-5230-4936
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Gina Coral Tejada Estrada
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10207032
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-0023-5147
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Juan Manuel Cevallos Ampuero
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07855059
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Jorge Enrique Ortiz Porras
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40523944
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Alejandro Cornelio Gallegos Chocce
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08689922
Datos de investigación	
Línea de investigación	12. Calidad, mejora y optimización de la producción. ODS 12: Producción y Consumo Responsables. C.17.0.12
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: EssilorLuxottica Perú País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lurin Calle: Gallos #100 Latitud: -12.299559 Longitud: -76.837235
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Enero 2024 - Febrero 2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería industrial https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.04

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIDAD DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN Nº023-UPG-FII-2026

SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

En la ciudad de Lima del día siete del mes de agosto del año dos mil veintiséis, siendo las doce horas, se instaló el Jurado Examinador para la Sustentación de la Tesis titulada: **"IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING PARA LA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL ÁREA DE ANTIRREFLEJO EN UNA EMPRESA DE FABRICACIÓN DE LENTES OFTÁLMICOS",** presentado por el **Bach. ANTHONY HUGO TERRONES TITO,** para optar el Grado Académico de Magíster en Ingeniería Industrial.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas del Jurado Examinador se procedió a la calificación individual y secreta, habiendo sido Aprobado con la calificación de Dieciséis (16) Bueno.

El Jurado recomienda que la Facultad acuerde el otorgamiento del Grado Académico de **MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL** al **Bach. ANTHONY HUGO TERRONES TITO.**

En señal de conformidad, siendo las 13'00 **horas** se suscribe la presente acta en cuatro ejemplares, dándose por concluido el acto.

DR. JUAN MANUEL CEVALLOS AMPUERO
Presidente

DR. JORGE ENRIQUE ORTIZ PORRAS
Miembro

MG. ALEJANDRO CORNELIO GALLEGOS CHOCCE
Miembro

DRA. GINA CORAL TEJADA ESTRADA
Asesora

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **GINA CORAL TEJADA ESTRADA** en mi condición de asesor acreditado mediante **DICTAMEN N°231-UPG-FII-2025** de la tesis, cuyo título es: "**IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING PARA LA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL ÁREA DE ANTIRREFLEJO EN UNA EMPRESA DE FABRICACIÓN DE LENTES OFTÁLMICOS",** presentado por la bachiller **ANTHONY HUGO TERRONES TITO** para optar el grado académico de **MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**, **CERTIFICO** que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el **06%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado académico de **MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL.**

Lima, 18 de Agosto de 2026

Firma del Asesor

Nombres y Apellidos del asesor: **GINA CORAL TEJADA ESTRADA**

DNI: **10207032**

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

Dedicatoria

A Dios, por ser mi fortaleza en los momentos de duda y mi guía en este camino, dándome la luz y la esperanza necesarias para alcanzar mis metas.

A mis amados padres, Ysabel y Reynaldo, por su ejemplo de vida, por sus enseñanzas y por ese amor incondicional que me sostuvo siempre. Su fe en mí ha sido la chispa que encendió mis sueños y la fuerza que me impulsó a cumplirlos.

A mi querida esposa Evelyn y a mis hijos Aylin y Evans, por regalarme el amor más hermoso y verdadero: el de ser esposo y padre. Son mi alegría, mi inspiración y el motor que me anima a seguir construyendo un futuro lleno de esperanza y amor.

Agradecimientos

Gracias a mi Dios todopoderoso, toda la honra y la gloria para Él, por sus bendiciones, por darme fortaleza en los momentos difíciles y guiarme con sabiduría en este camino académico.

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Decana de América, por acogerme en su seno científico y brindarme la oportunidad de cursar mis estudios de maestría. Mi gratitud también a sus distinguidos docentes, por sus enseñanzas y apoyo constante en mi formación profesional y personal.

A la Dra. Gina Coral Tejada Estrada, mi asesora de tesis, por su guía, paciencia y valiosas orientaciones a lo largo de esta investigación, las cuales fueron fundamentales para la culminación de este trabajo.

Asimismo, a los miembros del jurado, por sus observaciones y sugerencias, que enriquecieron y fortalecieron este estudio.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 1

1.1. Situación problemática 1
1.2. Formulación del problema 13
1.2.1. Problema General 13
1.2.2. Problemas Específicos 13
1.3. Justificación de la investigación 14
1.3.1. Justificación teórica 14
1.3.2. Justificación práctica 15
1.3.3. Justificación metodológica 15
1.3.4. Justificación social 16
1.3.5. Contribución de la investigación 17
1.4. Objetivos de la investigación 17
1.4.1. Objetivo General 17
1.4.2. Objetivos Específicos 17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 19

2.1. Antecedentes 19
2.1.1. Antecedentes nacionales 19
2.1.2. Antecedentes internacionales 24
2.2. Bases teóricas 27
2.3. Glosario 48
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA 52

3.1. Hipótesis General 52
3.2. Hipótesis Específicas 52
3.3. Identificación de variables 52
3.4. Operacionalización 54
3.5. Matriz de consistencia 56
3.6. Tipo y diseño de investigación 58
3.7. Unidad de análisis 59
3.8. Población de estudio 59
3.9. Tamaño de muestra 60
3.10. Selección de la muestra 60
3.11. Técnicas de recolección de datos 60

3.12. Análisis e interpretación de la información 61
3.13. Pruebas de Hipótesis y Tipos de Análisis Estadístico 62
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 66

4.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados 66
4.2. Identificación de principales problemas 66
4.3. Análisis general del proceso 71
4.4. Descripción del proceso de recubrimiento antirreflejo 78
4.5. Implementación de las herramientas Lean Manufacturing 80
4.5.1. Implementación de la metodología 5S 80
4.5.2. Implementación de la metodología SMED 94
4.6. Pruebas de hipótesis 123
4.7. Presentación de resultados 138
CAPÍTULO V: IMPACTOS 144

CONCLUSIONES 148

RECOMENDACIONES 151

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 152

ANEXOS 159

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tiempo promedio de cambio de ciclos o lotes 5

Tabla 2 Porcentaje de mermas del área antirreflejo 6

Tabla 3 Tipos de defectos..... 7

Tabla 4 Equivalencia entre DPMO y nivel Sigma del proceso 9

Tabla 5 Porcentaje de devoluciones..... 10

Tabla 6 Motivos de devoluciones..... 11

Tabla 7 Matriz de operacionalización 54

Tabla 8 Matriz de consistencia 56

Tabla 9 Análisis de datos..... 62

Tabla 10 Listado de las causas 67

Tabla 11 Relación entre frecuencia de fallas e impacto económico 69

Tabla 12 Causas principales..... 70

Tabla 13 Sectores 5S 81

Tabla 14 Resultados de la primera auditoría 5S..... 92

Tabla 15 Criterios para auditoria 5S + seguridad 93

Tabla 16 DAP (Diagrama de Análisis de Proceso) del área de antirreflejo..... 97

Tabla 17 Etapas operativas del cambio de lote en el recubrimiento antirreflejo 100

Tabla 18 Producción de lentes con antirreflejo durante el primer semestre del 2024 101

Tabla 19 Producción del área de recubrimiento antirreflejo 2024 vs Demanda 102

Tabla 20 Criterios para identificar el valor agregado y desperdicios..... 104

Tabla 21 Acciones según criterios de valor y necesidad de la actividad 105

Tabla 22 Actividades y acciones Lean Manufacturing en el proceso de antirreflejo 106

Tabla 23 Comparativo de tiempos y actividades internas/externas en el proceso de antirreflejo 108

Tabla 24 Producción mensual en el área de recubrimiento antirreflejo después de Lean Manufacturing 110

Tabla 25 Checklist de implementación SMED en el área de antirreflejo 111

Tabla 26 Producción del área de antirreflejo 2024–2025 vs. Demanda 113

Tabla 27 Estimación de ahorro horario y económico tras la implementación de SMED y 5S..... 115

Tabla 28 Costos de producción en el área de recubrimiento antirreflejo antes de Lean Manufacturing (enero–julio 2024)..... 116

Tabla 29 Costos de producción en el área de recubrimiento antirreflejo después de Lean Manufacturing (agosto 2024 – febrero 2025) 117

Tabla 30 Costos asociados a la merma en el área de recubrimiento antirreflejo antes de Lean Manufacturing (enero–julio 2024)..... 117

Tabla 31 Costos asociados a la merma en el área de recubrimiento antirreflejo después de Lean Manufacturing (agosto 2024–febrero 2025)..... 118

Tabla 32 Índice de calidad antes de Lean Manufacturing (ene–jul 2024)..... 119

Tabla 33 Índice de calidad después de Lean Manufacturing (ago. 2024–feb 2025) 120

Tabla 34 Resumen comparativo del índice de calidad (antes vs. después de Lean) 120

Tabla 35 RATE (tasa de producción de conformes) – Comparativo antes vs. después de Lean Manufacturing 121

Tabla 36 Comparativo de Tiempo de Ciclo y Takt Time (seg/un) 122

Tabla 37 Productividad mensual del área de recubrimiento antirreflejo antes y después de la implementación de Lean Manufacturing 123

Tabla 38 Prueba de normalidad Shapiro-Wilk 126

Tabla 39 Resultados de la prueba U de Mann–Whitney 126

Tabla 40 Nivel de cumplimiento de las 5S y productividad mensual del área de recubrimiento antirreflejo 128

Tabla 41 Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk) 129

Tabla 42 Prueba de correlación de Spearman 130

Tabla 43 Resultados del modelo de regresión lineal entre el cumplimiento de las 5S y la productividad del área de recubrimiento antirreflejo 130

Tabla 44 Nivel de cumplimiento del SMED y productividad mensual del área de recubrimiento antirreflejo 132

Tabla 45 Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk) 134

Tabla 46 Prueba de correlación de Spearman 134

Tabla 47 Resultados del modelo de regresión lineal entre el cumplimiento del SMED y la productividad del área de recubrimiento antirreflejo 134

Tabla 48 Prueba de normalidad del costo unitario mensual por periodo (Shapiro–Wilk) 137

Tabla 49 Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene 137

Tabla 50 Prueba t de Student para muestras independientes (costo unitario pre vs. post) 137

Tabla 51 Resumen de indicadores antes y después de Lean en el área de antirreflejo 138

Tabla 52 Indicador de productividad económica (unidades/sol) 139

Tabla 53 Indicador de eficacia de producción (cumplimiento de demanda) .. 140

Tabla 54 Índice de calidad (IC) del proceso 141

Tabla 55 Costo unitario promedio del producto (S/ por lente)..... 141

Tabla 56 Tasa de merma (% sobre producción real)..... 142

Tabla 57 Tiempo de cambio por lote (min) antes y después de SMED 142

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Tiempo promedio de cambio de ciclos o lotes 5

Figura 2 Porcentaje de mermas del área antirreflejo..... 6

Figura 3 Diagrama de Pareto según tipo de defectos 8

Figura 4 Porcentaje de devoluciones 10

Figura 5 Motivos de devoluciones 12

Figura 6 Estructura del sistema Lean Manufacturing 37

Figura 7 Técnicas lean Manufacturing 39

Figura 8 Diagrama Ishikawa..... 66

Figura 9 Diagrama de Pareto 68

Figura 10 Diagrama SIPOC..... 74

Figura 11 Diagrama del proceso de tratamiento antirreflejo..... 76

Figura 12 Diagrama de la fabricación de lentes oftálmicos 77

Figura 13 Comité de implementación de las 5S en el área de recubrimiento antirreflejo 82

Figura 14 Resultados de la fase Seiri (Clasificar) en el área de recubrimiento antirreflejo 85

Figura 15 Layout del área de Antirreflejo en la empresa..... 87

Figura 16 Resultados de la fase Seiton (Ordenar) en el área de recubrimiento antirreflejo 88

Figura 17 Resultados de la fase Seiso (Limpieza) en el área de recubrimiento antirreflejo 89

Figura 18 Resultados de la fase Seiketsu y Shitsuke (Estandarizar y Disciplina) en el área de recubrimiento antirreflejo. 91

Figura 19 Equipo de trabajo para la implementación de SMED 95

Figura 20 Programa de producción – demanda antes de Lean Manufacturing 103

Figura 21 Cumplimiento de producción-demanda antes y después de Lean Manufacturing 114

Figura 22 Boxplot de la productividad antes y después de la implementación Lean 124

RESUMEN

El estudio implementó Lean Manufacturing, mediante 5S y SMED, en el área de recubrimiento antirreflejo de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos, con el objetivo de mejorar la productividad y estabilizar la calidad del proceso. Se aplicó un diseño pre–post sin grupo control, comparando dos periodos independientes: enero–julio de 2024 y agosto de 2024–febrero de 2025, con siete registros mensuales por periodo. Se evaluaron productividad operativa, eficacia, índice de calidad, merma, tiempo de cambio por lote y costo unitario. La productividad promedio aumentó de 63,91 a 71,33 unid/h (+11,6%); la eficacia subió de 88,12% a 97,84%; el índice de calidad mejoró de 94,08% a 96,31%; la merma disminuyó de 5,92% a 3,69%; el tiempo de cambio se redujo en 17 min/lote; y el costo unitario bajó de S/ 4,30 a S/ 3,80. Al no cumplirse normalidad ni existir emparejamiento natural entre registros mensuales, se aplicó U de Mann–Whitney, evidenciando diferencia significativa en productividad ($U = 0{,}000$; $p = 0{,}0006$; $r \approx 0{,}84$).

Palabras clave: Lean Manufacturing, 5S, SMED, antirreflejo, productividad.

ABSTRACT

This study implemented Lean Manufacturing, through 5S and SMED, in the anti-reflective coating area of an ophthalmic lens manufacturing company, with the objective of improving productivity and stabilizing process quality. A pre–post design without a control group was applied, comparing two independent periods: January–July 2024 and August 2024–February 2025, with seven monthly records per period. Operational productivity, effectiveness, quality index, scrap rate, changeover time per lot, and unit cost were evaluated. Average productivity increased from 63.91 to 71.33 units/h (+11.6%); effectiveness rose from 88.12% to 97.84%; the quality index improved from 94.08% to 96.31%; scrap decreased from 5.92% to 3.69%; changeover time was reduced by 17 min/lot; and unit cost decreased from S/ 4.30 to S/ 3.80. Since normality was not met and there was no natural pairing between monthly records, the Mann–Whitney U test was applied, showing a significant difference in productivity ($U = 0.000$; $p = 0.0006$; $r \approx 0.84$).

Keywords: Lean Manufacturing; 5S; SMED; anti-reflective coating; productivity.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Situación problemática

A nivel internacional, la implementación de herramientas Lean Manufacturing ha demostrado ser una estrategia clave para mejorar la eficiencia y competitividad en empresas del sector industrial. Jiménez (2019), en un estudio realizado en una planta de producción de lentes oftálmicos en Madrid, aplicó herramientas como 5S y SMED con el objetivo de optimizar el proceso productivo y reducir defectos. Como resultado, se logró una reducción en el tiempo total de fabricación de lentes, pasando de 42,5 minutos a 33,8 minutos por unidad, lo que representa una mejora significativa en términos de eficiencia operativa. Además, el porcentaje de defectos disminuyó de 4,47% a 3,12% mediante acciones enfocadas en la estandarización y el mantenimiento preventivo. La reorganización del área de trabajo y la capacitación del personal también permitieron eliminar tareas innecesarias y facilitar la trazabilidad del producto. Estas acciones evidencian que una gestión basada en mejora continua y herramientas Lean Manufacturing puede aplicarse eficazmente en industrias de alta precisión como la óptica. El caso confirma que la filosofía Lean Manufacturing es una alternativa estratégica para incrementar la competitividad en mercados exigentes.

En los procesos manufactureros por lotes, la productividad se ve afectada por la variabilidad operativa, los tiempos de preparación, la falta de estandarización y las pérdidas asociadas al orden, limpieza y disponibilidad de recursos. Estudios recientes demuestran que la aplicación integrada de herramientas Lean permite

Public

reducir tiempos de cambio, estabilizar procesos y mejorar la capacidad efectiva sin necesidad de incrementar horas de trabajo o maquinaria. Ribeiro et al. (2022) reportaron, mediante la aplicación de SMED en una agroindustria, una reducción del tiempo de setup cercana al 58%, disminución de recorridos y una ganancia de capacidad productiva del 14%. De manera similar, Oliveira y Lima (2023) evidenciaron una reducción de setup del 36% en una línea automotriz al combinar SMED con herramientas Lean y de calidad, como diagrama spaghetti, análisis ERCS, Gemba Walk, trabajo estandarizado y Pareto.

En la misma línea, Niekurzak et al. (2023) destacan que la reducción del tiempo de cambio mediante SMED incrementa la flexibilidad de respuesta ante cambios de demanda y mejora la eficiencia global del sistema productivo. Asimismo, Shahriar et al. (2022) demostraron que la metodología 5S permite reducir tiempos improductivos asociados a espera y movimiento, especialmente cuando existen búsquedas innecesarias de herramientas y desorganización del puesto de trabajo. En el contexto peruano, Fajardo Cueva (2024) reportó una reducción de tiempos de cambio de 82 a 42 minutos mediante VSM y SMED, reforzando la pertinencia de estas herramientas en empresas con problemas de paradas y productividad.

Por su parte, Ixcaquic (2012) desarrolló una investigación en una planta de acabado de lentes ópticos en Guatemala, donde se aplicaron principios de Producción Más Limpia (PML) en conjunto con metodologías Lean Manufacturing. El estudio evidenció una reducción del 35% en la generación de residuos sólidos y del 18% en el consumo energético, a través de la reestructuración de procesos y la optimización del uso de insumos. Además, se

Public

promovió la reutilización de materiales, el diseño de estaciones de trabajo más eficientes y la capacitación continua del personal. Estos cambios permitieron no solo mejorar los indicadores operativos, sino también elevar el compromiso ambiental de la empresa. La implementación de Lean Manufacturing en combinación con prácticas sostenibles demuestra una sinergia eficaz para mejorar tanto la productividad como la responsabilidad social empresarial. Este caso internacional es un referente para sectores similares en Latinoamérica, mostrando que estas herramientas son adaptables a diferentes escalas productivas.

En el Perú, Chávarri (2024) aplicó herramientas Lean Manufacturing como SMED, 5S y el diagrama de Ishikawa en una empresa flexográfica dedicada a la impresión de empaques. A partir del análisis de las principales causas de desperdicio y de tiempos de preparación excesivos, se diseñó un plan de mejora que permitió reducir en un 25% el consumo de materiales y aumentar en un 18% la eficiencia del proceso. Además, se reorganizó el área de trabajo y se estandarizaron los procedimientos operativos, logrando mayor fluidez entre las etapas de producción. El impacto también se evidenció en la reducción de errores humanos y en el fortalecimiento del orden y limpieza del entorno laboral. El estudio confirmó que, incluso en plantas con recursos limitados, es posible lograr resultados significativos mediante el uso de herramientas Lean Manufacturing bien aplicadas. Este caso nacional refuerza la viabilidad de adoptar estas metodologías en empresas peruanas con estructuras de producción similares.

Public

Asimismo, Navarro (2024) llevó a cabo una intervención Lean Manufacturing en una planta embotelladora de bebidas ubicada en Lima, utilizando técnicas como Kaizen, 5S y Kanban. Su aplicación permitió aumentar la productividad en un 150,5%, reducir los tiempos de espera entre procesos y mejorar la gestión de inventarios. El proyecto también fomentó una cultura organizacional basada en la mejora continua, con mayor compromiso del personal operativo y del área de supervisión. Los beneficios alcanzados no solo fueron operacionales, sino también económicos, al optimizar recursos y disminuir los desperdicios en materiales y tiempos. Además, se reforzó la trazabilidad de los productos, lo cual incrementó la satisfacción del cliente final. Este estudio demuestra que, incluso en sectores altamente competitivos, la implementación de Lean Manufacturing tiene efectos medibles y sostenibles. Su aplicabilidad en el contexto nacional respalda la propuesta de implementar estas herramientas en otras industrias locales que enfrentan desafíos similares.

En la empresa de estudio, ubicada en Lima y dedicada a la fabricación de lentes oftálmicos, se identificaron deficiencias operativas significativas en el área de recubrimiento antirreflejo, que afectan directamente la eficiencia del proceso y la calidad del producto final.

Durante un periodo de análisis de tres meses, se identificó que los tiempos promedio de volteo y pre-alistamiento durante la parada de máquina fueron superiores a los 15 minutos, lo cual generó interrupciones en la fluidez operativa. Según los datos presentados en la Tabla 1 y Figura 1, los valores promedio mensuales fueron: mayo (19,73 min), junio (20,08 min) y julio (19,46 min),

Public

alcanzando un promedio general de 19,75 minutos y un tiempo máximo de hasta 24,8 minutos, evidenciando así una deficiente estandarización en las actividades de preparación.

Tabla 1

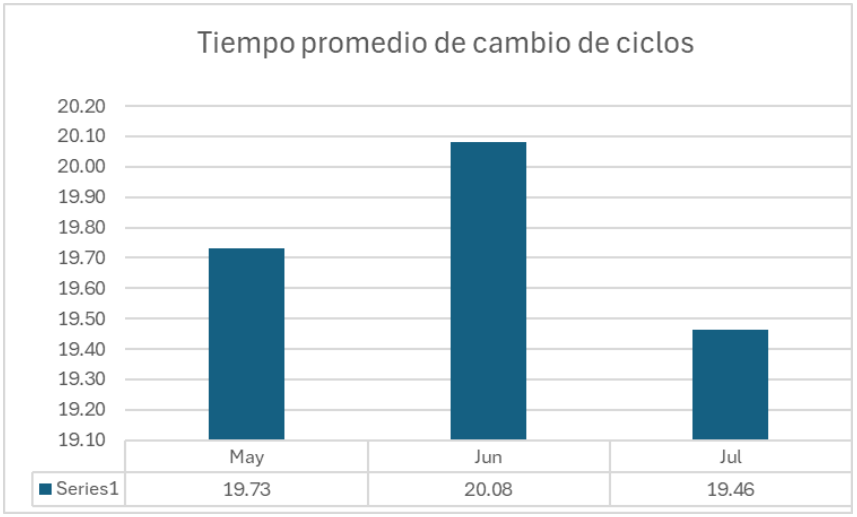
Tiempo promedio de cambio de ciclos o lotes

Mes	Promedio de Tiempo de cambio de lotes en promedio
May-24	19,73
Jun-24	20,08
Jul-24	19,46
Mínimo	15,10
Promedio	19,75
Máximo	24,80

Nota. Elaboración propia a partir de datos del área de producción (2024).

Figura 1

Tiempo promedio de cambio de ciclos o lotes



Nota. Elaboración propia a partir de datos del área de producción (2024).

Como se muestra en la Tabla 2 y la Figura 2, durante el periodo analizado se registraron porcentajes de merma en el área de antirreflejo que superaron el estándar corporativo del 3%. En mayo se alcanzó un 6,03%, en junio un 5,83%

Public

y en julio un 6,12%. Estos niveles elevados de desperdicio evidencian ineficiencias en el proceso, afectando no solo los costos operativos, sino también el margen de rentabilidad y la sostenibilidad general del sistema productivo.

Tabla 2

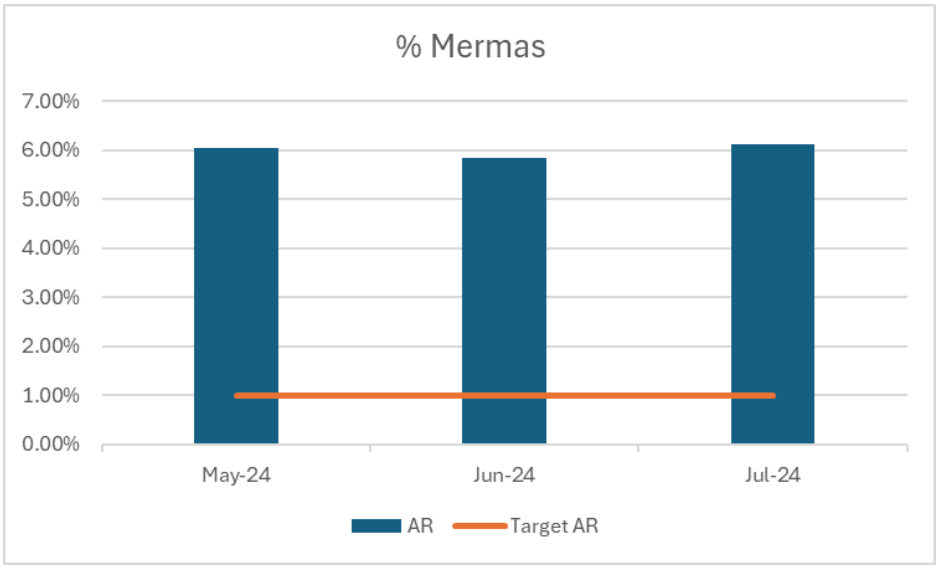
Porcentaje de mermas del área antirreflejo

Porcentaje de mermas del área antirreflejo			
Área	May-24	Jun-24	Jul-24
AR	6,03%	5,83%	6,12%
Target AR	3,00%	3,00%	3,00%

Nota. Merma (%) = (Merma / Producción real) × 100. Elaboración propia a partir de datos del área de producción (2024).

Figura 2

Porcentaje de mermas del área antirreflejo



Nota. Elaboración propia a partir de datos del área de producción (2024).

Entre los defectos registrados, los más frecuentes fueron las rayas y golpes (68,6%), los productos sucios o manchados (7,2%) y las partículas (6,3%), como se detalla en la Tabla 3. Estos resultados permiten inferir que existen problemas

Public

estructurales en el manejo de los insumos y en las condiciones del entorno de trabajo.

Tabla 3

Tipos de defectos

Tipo de defectos	Total	%
Raya/golpe	229	68,6%
Sucio/mancha	24	7,2%
Poro/partícula	21	6,3%
Error de color	17	5,1%
Mezcla	14	4,2%
Extraviado	12	3,6%
Grieta/roto/astillado	12	3,6%
Desprendimiento de laca	4	1,2%
Marcas anillo	1	0,3%
Total general	334	100%

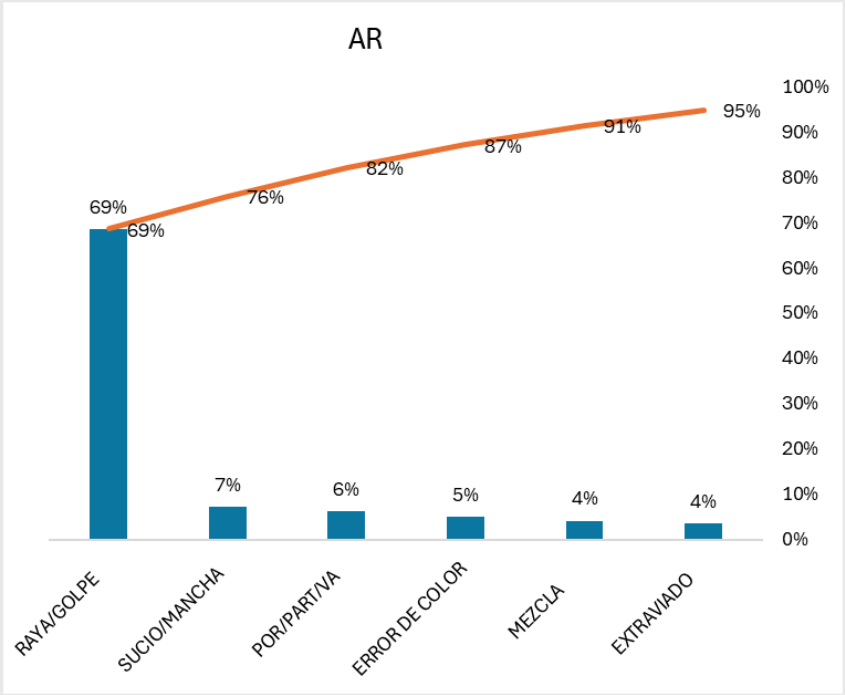
Nota. Elaboración propia a partir de datos del área de producción (2024).

Tal como se aprecia en la Figura 3, el diagrama de Pareto evidencia que una minoría de causas concentra la mayoría de los defectos. El 69% de los productos no conformes presentaron rayas o golpes, mientras que otros defectos, como manchas (7%) y partículas (6%), representaron un 13% adicional. Esta concentración de fallas resalta la necesidad de intervenir en aspectos clave del proceso, como la manipulación de piezas, la limpieza de equipos y el control del entorno, donde herramientas Lean Manufacturing como 5S y la estandarización pueden contribuir significativamente a la mejora del desempeño.

Public

Figura 3

Diagrama de Pareto según tipo de defectos



Nota. Elaboración propia a partir de datos del área de producción (2024).

Cálculo del índice DPMO del proceso

A fin de cuantificar el desempeño del proceso antes de la aplicación de herramientas Lean Manufacturing, se calculó el índice DPMO (Defects Per Million Opportunities), indicador que permite expresar el número de defectos por cada millón de oportunidades de fallo.

De acuerdo con la metodología Six Sigma (Pyzdek & Keller, 2014), cada unidad producida puede presentar una o varias características críticas de calidad (CTQ); sin embargo, en este caso se consideró una oportunidad por unidad, dado que los registros de merma clasifican cada lente como conforme o no conforme sin especificar múltiples defectos simultáneos.

Public

Para el periodo de enero a julio de 2024, se produjeron 268 798 unidades, de las cuales 15 908 correspondieron a unidades no conformes o mermadas, según los registros consolidados de producción y merma del área.

Por lo tanto, el valor del DPMO se calcula como:

$$\text{DPMO} = \frac{15\,908}{268\,798 \times 1} \times 1\,000\,000 = 59\,182$$

Este resultado equivale a un nivel Sigma aproximado de 3,0, según la relación estándar entre DPMO y nivel Sigma (ver Tabla 4). Dicho valor indica un proceso moderadamente estable, con una tasa de calidad del 93,3 %, aunque con oportunidades claras de mejora en la manipulación y el acabado superficial de los lentes.

Tabla 4

Equivalencia entre DPMO y nivel Sigma del proceso

Nivel Sigma	DPMO aproximado	Rendimiento del proceso (%)
1	690 000	31,00
2	308 000	69,20
3	66 800	93,32
4	6 210	99,38
5	233	99,977
6	3,4	99,99966

Nota. Adaptado de The Six Sigma Handbook de Pyzdek y Keller (2014).

Como se muestra en la Tabla 5 y la Figura 4, los porcentajes de devoluciones o reclamos fueron de 3,24% en mayo, 2,69% en junio y 3,05% en julio, valores que superan el límite establecido por la meta corporativa de menos del 1%. Esta situación indica la necesidad de aplicar herramientas Lean Manufacturing que permitan reducir errores y mejorar la calidad en los procesos.

Public

Tabla 5

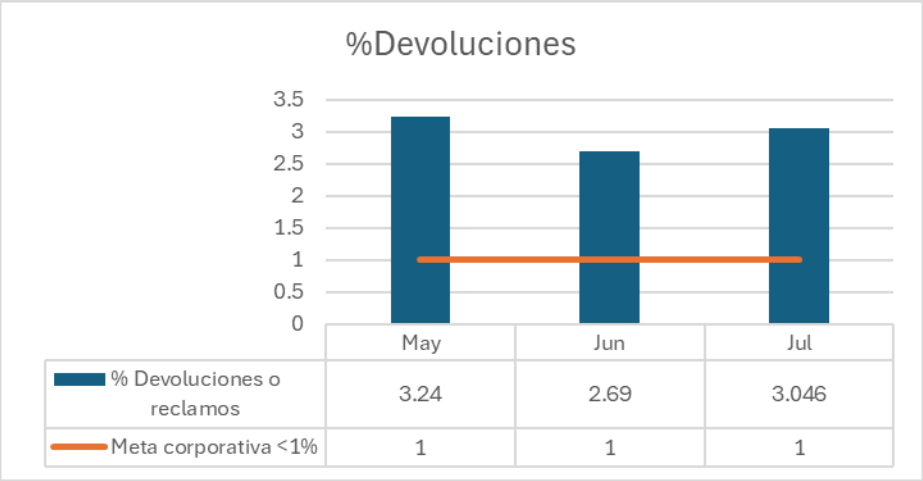
Porcentaje de devoluciones

Mes	% Devoluciones o reclamos	Meta corporativa
May-24	3,24%	<1%
Jun-24	2,69%	<1%
Jul-24	3,05%	<1%

Nota. Elaboración propia a partir de datos del área de producción (2024).

Figura 4

Porcentaje de devoluciones



Nota. Elaboración propia a partir de datos del área de producción (2024).

Según lo observado en la Tabla 6 y la Figura 5, los principales motivos de devolución en el área de antirreflejo corresponden al desprendimiento del recubrimiento antirreflejo, con valores promedio cercanos al 2%. Le siguen en frecuencia los problemas en el borde de los lentes (alrededor del 1%) y los defectos de aspecto cosmético (0,1%). Esta clasificación permite visualizar cuáles son los defectos más recurrentes que afectan la conformidad del producto.

Public

Tabla 6

Motivos de devoluciones

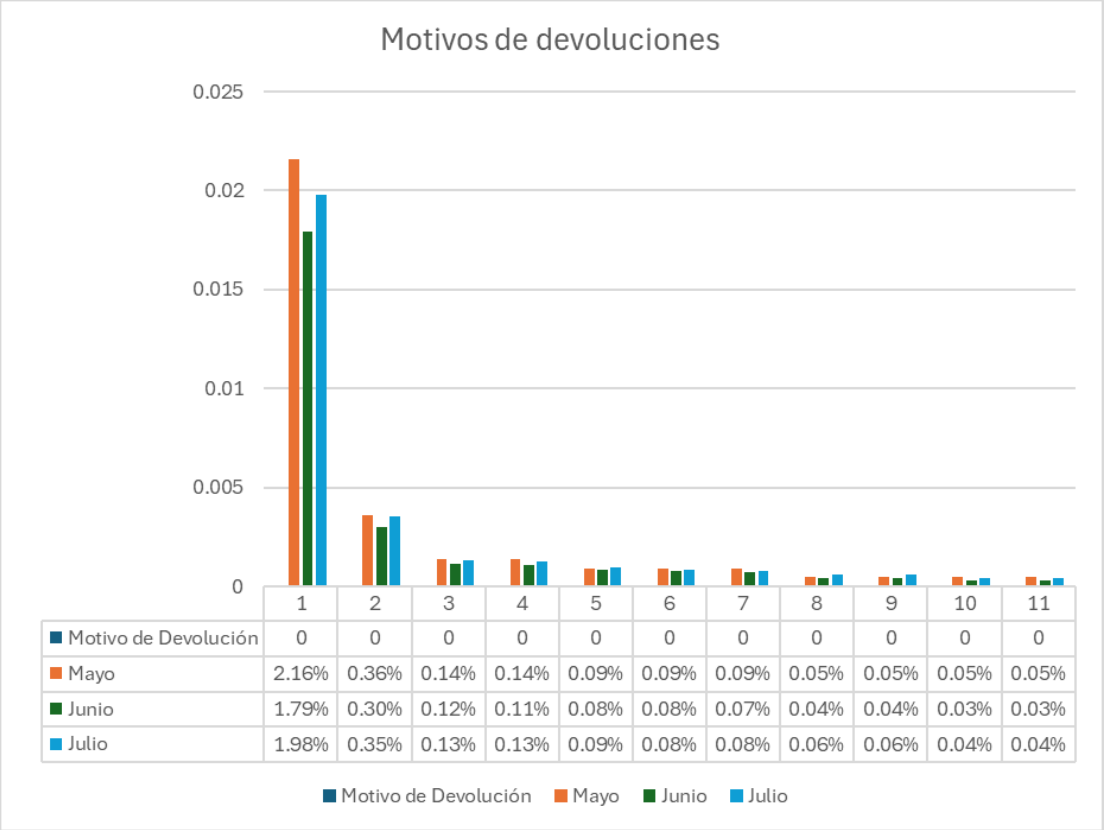
N.º	Motivo de Devolución	Mayo	Junio	Julio
1	Desprendimiento del tratamiento / calidad del recubrimiento Antirreflejo	2,16%	1,79%	1,98%
2	Problema en el borde de los lentes	0,36%	0,30%	0,35%
3	Otros	0,14%	0,12%	0,13%
4	Defecto de aspecto / cosmético	0,14%	0,11%	0,13%
5	Producto dañado o error de montaje	0,09%	0,08%	0,09%
6	Producto incorrecto	0,09%	0,08%	0,08%
7	Problema de acristalamiento en lentes con tratamiento	0,09%	0,07%	0,08%
8	No adaptación del usuario final	0,05%	0,04%	0,06%
9	Problema geométrico	0,05%	0,04%	0,06%
10	Problema de marcado o grabado	0,05%	0,03%	0,04%
11	Problema con el filtro polarizado	0,05%	0,03%	0,04%
	Total	3,24%	2,69%	3,05%

Nota. Elaboración propia a partir de datos del área de producción (2024). Las diferencias mínimas entre la suma de porcentajes parciales y el total mensual se deben al redondeo de los valores individuales.

Public

Figura 5

Motivos de devoluciones



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Motivo de Devolución	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mayo	2.16%	0.36%	0.14%	0.14%	0.09%	0.09%	0.09%	0.05%	0.05%	0.05%	0.05%
Junio	1.79%	0.30%	0.12%	0.11%	0.08%	0.08%	0.07%	0.04%	0.04%	0.03%	0.03%
Julio	1.98%	0.35%	0.13%	0.13%	0.09%	0.08%	0.08%	0.06%	0.06%	0.04%	0.04%

Nota. Elaboración propia a partir de datos del área de producción (2024).

Esta carencia contribuye a la desorganización, a la variabilidad de resultados y al incumplimiento de estándares internacionales de calidad. Los datos analizados sustentan la necesidad urgente de implementar herramientas Lean Manufacturing que permitan optimizar los tiempos de cambio, reducir mermas, controlar la calidad y mejorar la trazabilidad del proceso.

Para reforzar la necesidad del estudio, Sullca (2024) aplicó la metodología SMED en una empresa peruana de fabricación de láminas de polipropileno, con el

Public

objetivo de reducir los tiempos de cambio de producto. Los resultados fueron contundentes: el tiempo de cambio disminuyó en un 40% y la productividad aumentó en un 15%. El proyecto también permitió estandarizar actividades críticas, capacitar al personal de planta y documentar mejores prácticas. Gracias a ello, se generó una cultura de mejora sostenible que fortaleció el desempeño operativo y facilitó la toma de decisiones basada en datos. El estudio demuestra que la implementación de herramientas Lean Manufacturing no solo mejora los indicadores operativos, sino que también impulsa el desarrollo de capacidades organizacionales. La experiencia evidencia que estas metodologías son aplicables en industrias peruanas con características similares a la del caso de estudio, y respaldan la intervención propuesta en el presente trabajo de investigación.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo la implementación de herramientas Lean Manufacturing mejora la productividad en el área de antirreflejo de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo la implementación de 5S en el área de antirreflejo contribuye a mejorar la productividad en la empresa de fabricación de lentes oftálmicos?
- ¿Cómo la implementación de SMED en el área de antirreflejo, permite mejorar la productividad en la empresa de fabricación de lentes oftálmicos?

Public

- ¿Cómo la aplicación de 5S y SMED en el área de antirreflejo contribuye a reducir los costos del producto unitario en una empresa de fabricación de lentes oftálmicos?

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Justificación teórica

En la actualidad, la fabricación de lentes oftálmicos enfrenta desafíos crecientes en términos de eficiencia operativa y optimización de procesos. La necesidad de mejorar constantemente los sistemas de producción es fundamental para garantizar la competitividad en el sector. La aplicación de herramientas de Lean Manufacturing ha demostrado ser una estrategia efectiva para reducir desperdicios, mejorar la gestión de los procesos y aumentar la productividad (Paipay & Zavala, 2023).

Estudios previos han señalado que la implementación de metodologías como 5S, SMED, TPM y VSM permite optimizar los tiempos de ciclo y reducir la variabilidad en la calidad del producto (Sullca, 2024). En este contexto, esta investigación contribuirá al conocimiento sobre la aplicación de Lean Manufacturing en el sector óptico, proporcionando un modelo replicable en otras empresas del rubro. Por otro lado, Chávarri (2024) destaca que las estrategias de mejora continua, basadas en manufactura esbelta, fomentan la reducción de retrasos, pérdidas operativas y fallos, logrando un uso eficiente de los recursos y optimizando la confiabilidad de los procesos en diversas industrias.

Public

1.3.2. Justificación práctica

El estudio busca aportar soluciones concretas para elevar la productividad en el área de recubrimiento antirreflejo de la planta de EssilorLuxottica en Perú. El diagnóstico inicial evidencia tiempos de ciclo prolongados, alto reproceso, desperdicio de insumos críticos, cambios de lote lentos y fallas de equipo, con impacto en costos y competitividad. Se propone aplicar Lean Manufacturing—principalmente 5S y SMED—para estandarizar el trabajo, ordenar el puesto, separar tareas internas/externas y agilizar los set-ups con kits preparados y gestión visual. Se espera aumentar el rendimiento y la estabilidad de la calidad, reducir costos unitarios y acortar (y hacer más confiables) los plazos de entrega. La 5S reforzará la disciplina operativa y el uso del espacio; además, evidencia previa muestra que combinar 5S con herramientas Lean mejora la confiabilidad de entrega al disminuir errores de planificación y ejecución (Paipay y Zavala, 2023).

1.3.3. Justificación metodológica

Desde el punto de vista metodológico, la investigación utiliza un enfoque cuantitativo y un diseño preexperimental de tipo pre–post sin grupo control. Se compararon dos ventanas temporales independientes: un periodo preintervención, correspondiente a enero–julio de 2024, y un periodo postintervención, correspondiente a agosto de 2024–febrero de 2025.

La inferencia estadística se realizó a partir de registros mensuales de desempeño operativo, evaluando previamente la normalidad mediante la prueba de Shapiro–Wilk. Al no cumplirse el supuesto de normalidad y no existir emparejamiento natural entre los registros mensuales pre y post, se aplicó la prueba U de Mann–Whitney para dos muestras independientes.

Public

Este diseño permite evaluar cambios significativos en condiciones reales de planta; sin embargo, sus resultados deben interpretarse considerando la ausencia de grupo control y la posible influencia de factores externos no completamente controlados. Finalmente, la investigación servirá como marco de referencia para futuras aplicaciones de Lean Manufacturing en procesos industriales similares, especialmente aquellos con producción por lotes, cambios frecuentes y alta sensibilidad a defectos superficiales.

1.3.4. Justificación social

La presente investigación tiene una justificación social significativa, ya que busca mejorar las condiciones laborales y la eficiencia operativa del personal técnico y operativo del área de recubrimiento antirreflejo.

La aplicación de las herramientas 5S y SMED promueve un entorno de trabajo más seguro, ordenado y eficiente, reduciendo tiempos improductivos, desplazamientos innecesarios y riesgos asociados a la falta de organización.

Estas mejoras contribuyen al bienestar, la motivación y el compromiso del personal, al facilitar el desarrollo de sus actividades bajo condiciones más ergonómicas, limpias y controladas.

Asimismo, la estandarización de las tareas y la optimización de los procesos fomentan una cultura de disciplina y mejora continua, fortaleciendo la colaboración entre los equipos y la responsabilidad compartida hacia los objetivos productivos.

De forma integral, esta investigación aporta a la sostenibilidad y estabilidad operativa de la empresa, al consolidar prácticas que incrementan la

Public

productividad y la calidad, al mismo tiempo que favorecen un ambiente laboral más organizado, seguro y saludable.

1.3.5. Contribución de la investigación

La contribución de la presente investigación consiste en aportar evidencia cuantitativa sobre la implementación integrada de 5S y SMED en un proceso óptico de precisión, específicamente en el recubrimiento antirreflejo de lentes oftálmicos. Este tipo de proceso se caracteriza por alta sensibilidad a contaminación, manipulación, defectos superficiales y tiempos de cambio por lote.

A diferencia de investigaciones centradas en ensamblaje, alimentos, automotriz o metalmecánica, este estudio evalúa un proceso de coating óptico y demuestra mejoras simultáneas en productividad, calidad, merma, tiempo de cambio y costo unitario. Por ello, el estudio constituye una referencia aplicable a procesos industriales por lotes que requieran orden, limpieza, estandarización y reducción de tiempos improductivos.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

Implementar herramientas Lean Manufacturing para mejorar la productividad en el área de antirreflejo de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Implementar la metodología 5S en el área de antirreflejo para mejorar la productividad de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.
- Implementar SMED en el área de antirreflejo para mejorar la productividad de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.

Public

- Evaluar cómo implementando 5S y SMED contribuye a reducir los costos del producto unitario en el área de antirreflejo de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.

Public

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes nacionales

Chávarri (2024) realizó un estudio en una empresa de producción flexográfica en Perú, en el que se implementaron herramientas de Lean Manufacturing, como 5S y SMED, con el objetivo de reducir los tiempos de preparación y minimizar los desperdicios en el proceso productivo. Los resultados obtenidos demostraron una reducción del 25% en el uso de materiales, lo que contribuyó a una disminución significativa de costos, y un incremento del 18% en la eficiencia operativa, mejorando la productividad sin generar aumentos significativos en los costos. Además, se logró reducir los tiempos de espera entre procesos, optimizando la planificación y coordinación de la producción. Este estudio concluyó que la implementación de Lean Manufacturing en industrias manufactureras es clave para garantizar una mejora continua en los procesos y un aumento de la competitividad en el mercado, resaltando su importancia en la optimización de recursos y la mejora de la eficiencia.

Navarro (2024) implementó Lean Manufacturing en el envasado de una empresa de bebidas carbonatadas en Perú para elevar la eficiencia y reducir desperdicios. Se aplicaron Kaizen, 5S y Kanban para atacar tiempos de inactividad, uso ineficiente de insumos y desorden. Kaizen reforzó la mejora continua; 5S ordenó el puesto, acortó búsquedas y elevó la seguridad; y Kanban estabilizó el flujo de materiales, evitando quiebres de stock. Como resultado, la productividad aumentó 150,5%, se acortaron los tiempos de espera entre procesos y mejoró el

Public

control de calidad, con menor costo operativo. El caso muestra la transferibilidad de Lean a sectores como el óptico, donde la optimización de procesos y el control de calidad son críticos.

Arroyo y Mancha (2024) estudiaron una fábrica de calzado en Huancayo para elevar la eficiencia con Lean. Implementaron 5S (orden del área) y Just in Time (control de inventarios y flujo). El diagnóstico señaló esperas, movimientos innecesarios y acumulación como principales fuentes de ineficiencia. Tras la intervención, el tiempo de ciclo se redujo 17,9 min/unidad y la producción anual aumentó 26%; además, mejoró el uso del espacio, bajaron los desperdicios y se afianzó la disciplina operativa. Concluyen que 5S–JIT, aplicados con rigor, generan un impacto directo y sostenible en la competitividad manufacturera.

Sullca (2024) investigó en una empresa peruana de láminas de polipropileno para reducir los tiempos improductivos en cambios de producto. Aplicó SMED—con separación de tareas internas/externas—tras un diagnóstico de tiempos y análisis en video para detectar pérdidas, externalizar operaciones y eliminar pasos. Como resultado, el tiempo de cambio se redujo 40% y la productividad de la línea aumentó 15%. La estandarización del procedimiento y la capacitación consolidaron los avances. El estudio muestra que SMED eleva la eficiencia, incrementa la disponibilidad de máquina y disminuye tiempos muertos, impulsando la mejora continua.

Fajardo Cueva (2024) desarrolló una investigación en una empresa de productos farináceos, orientada a reducir las paradas de planta mediante la aplicación del

Public

mapeo de la cadena de valor (VSM) y cambios rápidos (SMED), herramientas pertenecientes a Lean Manufacturing. La intervención comprendió un diagnóstico inicial, el diseño e implementación de mejoras y un postest para evaluar los resultados. El estudio reportó una reducción del tiempo de cambio de producto de 82 a 42 minutos, disminuyendo el tiempo muerto de planta en 40 minutos. Esta investigación resulta relevante para el presente estudio porque evidencia la efectividad de SMED en la reducción de tiempos improductivos y en la mejora de indicadores operativos dentro del contexto peruano.

Castañeda y Sangama (2020) propusieron un modelo de mejora para reducir defectos en una planta de alimentos, combinando estandarización del trabajo y herramientas TPM dentro de un enfoque de Gestión del Cambio para afrontar resistencias operativas. La propuesta se validó mediante simulación en Arena con datos de la empresa. Los resultados muestran una caída del índice de defectos de 23,5% a 12,5%, con impacto directo en la calidad y en los ingresos proyectados. En síntesis, la integración de estandarización y TPM mejora la estabilidad del proceso y eleva el desempeño de calidad.

Yanayaco (2023) implementó la metodología 5S en el servicio de enfermería del Hospital Daniel Alcides Carrión (Pasco) para elevar la calidad y la continuidad del servicio. La intervención siguió un diagnóstico inicial, capacitaciones y estandarización de procedimientos (Seiri–Seiton–Seiso–Seiketsu–Shitsuke), con listas de verificación por estación y auditorías internas. Con un diseño preexperimental de un solo grupo con medición pre y post intervención, se aplicó la t de Student para muestras relacionadas. Los resultados mostraron mejoras

Public

estadísticamente significativas ($p < 0,05$): mayor capacidad de respuesta, incremento del nivel de conocimiento del personal en temas de calidad y mayor satisfacción de los usuarios. El estudio concluye que 5S, apoyada en formación y disciplina operativa, optimiza la organización del trabajo y la continuidad del servicio, ofreciendo un esquema replicable para entornos asistenciales.

Muro (2022) implementó la metodología SMED en el área de extrusión de PROCOMSAC S.A.C. mediante un diseño pre–post orientado a acortar los tiempos de cambio de matriz y elevar la productividad. La intervención inició con el mapeo y cronometraje del set-up, la clasificación de tareas internas y externas y, finalmente, la estandarización de una secuencia de cambio (programar, verter mezcla, armar y montar el porta-cuchilla, acondicionar la máquina, arranque, corte y verificación de micronaje, paso por horno, tensores y bobinado, codificación y control de propiedades, desmontaje, y traslado, pesaje y almacenamiento de bobinas). Tras un mes de aplicación, se redujo la distancia de recorrido y se ordenó el flujo de trabajo, logrando un incremento de la productividad de 2,75% y un nivel de 5,36 toneladas mensuales. El estudio demuestra que SMED, apoyado en la separación de tareas y la estandarización del set-up, estabiliza el proceso de extrusión en contextos de alta rotación de referencias.

Mesías (2016) implementó la metodología SMED en el banco de prueba de motores de una empresa metalmecánica del Callao mediante un estudio aplicativo cuasi experimental (descriptivo–explicativo) con seguimiento de seis meses. La intervención comprendió mapeo y cronometraje del set-up,

Public

clasificación de tareas internas/externas y estandarización del cambio con checklists, preparación previa de herramientas e instrumentación, además de registros en formatos, protocolos y video. Los resultados muestran ≈35% menos tiempo de cambio, +10 p.p. de disponibilidad del equipo y mayor rendimiento de la celda, confirmando que la preparación externa y la secuencia estandarizada estabilizan el desempeño y recortan tiempos improductivos.

Mucha (2018) aplicó SMED en la línea de extrusión de INDECO S.A. (Lima) para elevar la productividad. Con enfoque cuantitativo y diseño cuasi experimental, intervino 8 máquinas del área de forrados durante 12 semanas mediante observación y cronometraje. La mejora comprendió diagnóstico, separación de tareas internas/externas, kits de cambio y estandarización del alistamiento. La productividad aumentó 28,35%, junto con mejoras en disponibilidad, desempeño y calidad, y una menor duración del cambio, mejorando la flexibilidad y la respuesta ante variaciones de pedido.

Medina y Oriundo (2020) implementaron SMED en la línea flexográfica Martín 618 (Huachipa) con diseño cuasi experimental longitudinal. La intervención incluyó diagnóstico, mapeo del set-up, conversión de tareas internas a externas, kits de preparación y estandarización con checklists. La productividad subió 52,65%, la eficiencia 23,14% y la eficacia 28,77%, al reducir el tiempo de cambio y estabilizar el proceso. Concluyen que SMED, apoyado en estandarización y control visual, es replicable en líneas con cuellos de botella por cambios de formato.

Public

2.1.2. Antecedentes internacionales

Villanueva y Sierra (2022) realizaron un estudio de factibilidad para la creación de un centro especializado en óptica en Tolima, Colombia, con el fin de evaluar la viabilidad del proyecto. Su investigación abarcó varios aspectos, incluyendo estudios de mercado, análisis financiero y evaluación técnica, para determinar la rentabilidad y sostenibilidad del centro. Los resultados obtenidos indicaron una creciente demanda de servicios oftalmológicos en la región, destacando la necesidad de infraestructura especializada para atender adecuadamente a la población local. Además, se identificaron oportunidades para el desarrollo de servicios de alta calidad que podrían satisfacer las necesidades del mercado, lo que subraya el potencial de crecimiento en el sector óptico en la zona. Este estudio reafirmó la viabilidad del proyecto y su capacidad para cubrir una necesidad importante en la comunidad, impulsando tanto el acceso a servicios especializados como el desarrollo económico de la región.

Jiménez (2019) realizó un estudio sobre la mejora de procesos en la fabricación de lentes oftálmicas, enfocándose en la optimización del área de tratamientos de alto vacío (TAV). La investigación incluyó la aplicación de herramientas Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia en la producción, logrando un aumento del 22% en la productividad y una reducción significativa en los defectos de calidad. Además, se identificaron mejoras en el mantenimiento preventivo de los equipos, lo que permitió reducir el número de paradas no programadas en un 30%. La investigación concluyó que la implementación de herramientas Lean Manufacturing en el sector óptico es una estrategia efectiva para incrementar la competitividad de las empresas y mejorar la calidad del producto final.

Public

Ribeiro et al. (2022) analizaron la implementación de la metodología SMED en una agroindustria mediante investigación-acción. El estudio se desarrolló en ciclos de intervención orientados a separar actividades internas y externas, reorganizar el flujo de trabajo y reducir tiempos de preparación. Los resultados evidenciaron una reducción del tiempo de setup cercana al 58%, una disminución aproximada del 50% en los desplazamientos de los operadores y una ganancia de capacidad productiva del 14%. Este antecedente demuestra que SMED permite incrementar la capacidad efectiva del proceso sin modificar la cantidad de horas trabajadas ni el número de operarios, aspecto directamente relacionado con la presente investigación.

Shahriar et al. (2022) implementaron la metodología 5S en una industria manufacturera de bolsas plásticas con el objetivo de reducir desperdicios asociados a espera y movimiento. La intervención permitió ordenar las áreas de trabajo, reducir tiempos de búsqueda de herramientas y disminuir actividades que no agregaban valor. Como resultado, se redujo el tiempo operacional en 8% en el proceso de soplado y 18% en el proceso de impresión. Este estudio confirma que 5S contribuye a mejorar la eficiencia operativa mediante orden, limpieza, estandarización y reducción de movimientos innecesarios.

Niekurzak et al. (2023) propusieron un modelo para reducir el tiempo de cambio de máquina y mejorar la eficiencia productiva en una organización manufacturera del sector automotriz. El estudio destacó que la reducción del tiempo de cambio mediante SMED incrementa la flexibilidad del sistema productivo, mejora la respuesta ante cambios de demanda y contribuye al aumento de la eficiencia

Public

global del equipo. Este antecedente respalda la importancia de reducir los tiempos de preparación en procesos por lotes y con cambios frecuentes de producto.

De León, Herrera y Villanueva (2018) realizaron un estudio en El Salvador orientado a la documentación de procesos en una empresa de fabricación de lentes oftálmicos. Su objetivo fue establecer las bases para un sistema de gestión de calidad mediante el uso del modelo PEPSU (Proveedor, Entrada, Proceso, Salida, Usuario), la elaboración de fichas técnicas y la implementación de indicadores clave de desempeño. Entre los resultados más relevantes destacan la reducción del desperdicio a un rango del 4 % al 5 %, tiempos de entrega entre 1 y 3 días hábiles y un índice de reclamos inferior al 1 %. Además, se estimó una rentabilidad proyectada del 30 % anual basada en la optimización de costos. El estudio concluyó que la gestión documentada de procesos mediante enfoques estructurados mejora la trazabilidad, reduce la variabilidad operativa y fortalece la cultura de mejora continua.

Ixcaquic (2012) llevó a cabo una investigación sobre la implementación de los principios de Producción Más Limpia (PML) en el proceso de fabricación de lentes ópticos en Guatemala. Su estudio se centró en el área de acabado de lentes, donde se aplicaron diversas estrategias para reducir la contaminación ambiental y mejorar la eficiencia en el uso de insumos, tales como la optimización de los procesos de limpieza y el reciclaje de materiales. Además, se implementaron prácticas para reducir el consumo energético y los residuos generados durante la producción. Los resultados obtenidos mostraron una

Public

disminución significativa en la generación de residuos y un ahorro notable en el consumo energético, lo que permitió una producción más sostenible y eficiente. Estas mejoras no solo contribuyeron a la reducción del impacto ambiental, sino que también generaron beneficios económicos al reducir los costos operativos relacionados con el manejo de residuos y el consumo de recursos. Este estudio destaca cómo la adopción de principios de Producción Más Limpia en la fabricación de lentes ópticos puede ser una estrategia efectiva para lograr una mayor sostenibilidad en la industria.

Cayax (2005) llevó a cabo un estudio sobre la implementación de un sistema de control de la producción en la fabricación de lentes ópticos, con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa en el proceso. La investigación se centró en tres aspectos clave: la reducción de los tiempos de entrega, la optimización del control de inventarios y la disminución de desperdicios en la producción. A través de la implementación de un sistema de planificación y control de la producción, se logró mejorar la programación de los procesos, lo que resultó en una reducción significativa en los tiempos de espera y una mayor precisión en las entregas. Además, se optimizó el uso de materiales y recursos, lo que contribuyó a una disminución de los desperdicios generados durante la producción. Los resultados del estudio destacaron la importancia de contar con un plan de producción bien estructurado y con un sistema de control eficiente para garantizar no solo la reducción de costos operativos, sino también la mejora de la calidad del producto final.

2.2. Bases teóricas

Public

Operación productiva

La operación productiva se refiere a la utilización eficiente de los recursos operativos que permiten transformar las materias primas en un resultado final deseado, como un producto acabado. Este proceso facilita la conversión de insumos en bienes o servicios destinados a satisfacer las necesidades del cliente, manteniendo altos estándares de calidad, seguridad, precios y plazos de entrega (Heizer & Render, 2014). La eficiencia operativa es clave para obtener ventajas competitivas, ya que el desempeño exitoso en los procesos productivos no solo contribuye a una mayor rentabilidad, sino que también permite cumplir con las expectativas del cliente, un aspecto fundamental para cualquier empresa que aspire a liderar el mercado.

El diseño de los procesos productivos constituye una etapa fundamental en la gestión de operaciones, ya que su correcta estructuración permite establecer una base sólida para el desempeño eficiente de la planta. Este diseño debe incluir enfoques estratégicos que no solo aseguren la ejecución secuencial de las actividades, sino que también promuevan un uso racional y optimizado del espacio físico disponible, una adecuada distribución de las tareas operativas y un flujo de trabajo continuo y libre de interrupciones innecesarias (Slack, Chambers, & Johnston, 2013). Además, es crucial realizar un análisis detallado de los elementos internos y externos que intervienen en los procesos, con el fin de detectar variaciones, cuellos de botella u oportunidades latentes de mejora. La gestión moderna de operaciones sugiere que una forma efectiva de incrementar la productividad consiste en convertir aquellas tareas que tradicionalmente se realizan durante el paro de máquina (internas) en actividades que puedan ejecutarse mientras el equipo sigue funcionando

Public

(externas). Asimismo, integrar acciones que antes se hacían de forma secuencial para ejecutarlas en paralelo y eliminar etapas redundantes o sin valor agregado, son estrategias clave para reducir los tiempos de preparación, minimizar pérdidas y lograr una operación más ágil y eficiente (Shingo, 1985).

Estandarización de Procesos

La estandarización de procesos es un principio clave en la gestión de operaciones, cuyo objetivo es reducir la variabilidad en la producción, asegurando que todos los productos se fabriquen de acuerdo con un conjunto uniforme de procedimientos. Según Chase, Jacobs y Aquilano (2010), esta práctica es esencial para garantizar la calidad y la eficiencia, ya que minimiza los errores y aumenta la consistencia en la producción. Además, permite mejorar la productividad y la calidad, lo que contribuye a la competitividad de la empresa. Heizer y Render (2014) sostienen que la estandarización es crucial para la mejora continua, ya que facilita la identificación de áreas de oportunidad en las operaciones. También, la estandarización facilita la capacitación del personal, ya que todos los operarios siguen los mismos procedimientos, lo que reduce el tiempo dedicado a la formación y mejora la eficiencia operativa. Este enfoque también mejora la seguridad laboral, al reducir los riesgos asociados con la falta de procedimientos claros. Según Heizer y Render (2014), otro beneficio de la estandarización es que permite una mejor planificación de los recursos, optimizando tanto el tiempo como los costos, lo que mejora la capacidad de la empresa para adaptarse rápidamente a las demandas del mercado. En la misma línea, Slack, Chambers y Johnston (2013) enfatizan que la estandarización proporciona una base sólida para el control de procesos, ayudando a reducir la

Public

variabilidad, mejorar el desempeño y facilitar la integración de mejoras tecnológicas. En resumen, la estandarización de procesos no solo es fundamental para eliminar desperdicios y mejorar la eficiencia operativa, sino también para garantizar la calidad, reducir los costos y mejorar la competitividad de la empresa en un entorno de producción ágil y eficaz.

En el contexto Lean, la estandarización del trabajo se complementa con la gestión visual, ya que permite hacer evidente el estado del proceso, la ubicación de herramientas, la disponibilidad de insumos, las condiciones de limpieza y las desviaciones respecto al método establecido. En procesos por lotes, esta combinación favorece la repetibilidad, reduce errores operativos y facilita la detección temprana de anomalías. Por ello, la estandarización no solo documenta la forma correcta de realizar una tarea, sino que también contribuye a sostener las mejoras alcanzadas mediante 5S y SMED.

Productividad

La productividad es uno de los principales indicadores de desempeño en cualquier proceso de producción, ya que permite evaluar la eficiencia con la que se utilizan los recursos en la generación de productos o servicios. En términos simples, se define como la relación entre los insumos utilizados y los productos generados, lo que significa que una mayor productividad implica utilizar menos recursos para producir la misma cantidad de productos, o más productos con los mismos recursos. Según Heizer y Render (2014), la mejora de la productividad no solo se refiere al aumento en la cantidad de producción, sino también a la optimización del uso de los recursos disponibles, tales como mano de obra, tiempo, materiales y equipos. Esto se logra mediante la identificación y

Public

eliminación de ineficiencias, la mejora en la planificación y la organización de las operaciones, y el uso de tecnologías que incrementen la capacidad de producción sin comprometer la calidad.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Salidas (outputs)}}{\text{Entradas (inputs)}}$$

- Outputs: Bienes o servicios producidos (por ejemplo, unidades producidas, ventas.)
- Inputs: Recursos utilizados (por ejemplo, horas de trabajo, materiales, capital)

Esta fórmula permite cuantificar el desempeño operativo al relacionar los resultados obtenidos con los recursos empleados.

Existen diversas formas de analizar la productividad, entre ellas:

- Productividad parcial: Relaciona la producción con un solo tipo de insumo (por ejemplo, productividad laboral = unidades producidas / horas-hombre).
- Productividad multifactorial: Considera múltiples insumos simultáneamente (como trabajo, materiales y capital).
- Productividad total: Evalúa el rendimiento general del sistema considerando todos los recursos empleados.

Una clave para mejorar la productividad radica en la implementación de métodos de trabajo estandarizados y en la mejora continua, aspectos que se encuentran en el corazón de la filosofía de Lean Manufacturing. Esta metodología promueve la eliminación de desperdicios en todas sus formas, como el tiempo de espera, el movimiento innecesario, los defectos y el exceso de inventario (Womack &

Public

Jones, 1996). De acuerdo con Chase et al. (2010), al optimizar los procesos y reducir los desperdicios, las empresas pueden mejorar significativamente su productividad sin necesidad de realizar grandes inversiones en infraestructura o en la contratación de más personal.

Además, la productividad no debe entenderse únicamente como una métrica de cantidad producida, sino como una medida del valor real que los productos aportan al cliente. Un incremento en la producción pierde relevancia si los bienes no cumplen con los estándares de calidad esperados, ya que esto puede traducirse en reprocesos, devoluciones o pérdida de confianza por parte del cliente. En este sentido, Drucker (1999) plantea que la verdadera productividad se alcanza cuando se combinan la eficiencia operativa y la eficacia en la entrega de valor. Bajo esta perspectiva, se vuelve esencial no solo producir más, sino hacerlo mejor y con menos desperdicio. De ahí que metodologías como Lean Manufacturing, enfocadas en la eliminación de actividades que no agregan valor, estén íntimamente ligadas con el concepto moderno de productividad y mejora continua.

Para efectos de esta investigación, la productividad operativa se define como la relación entre las unidades conformes producidas y las horas efectivas de operación del área. Esta medición permite evaluar el desempeño real del proceso considerando la capacidad efectiva disponible y las pérdidas asociadas a preparación, paradas, reprocesos y mermas. La fórmula utilizada es:

Productividad operativa = Unidades conformes producidas / Horas efectivas de operación

Public

Este indicador resulta pertinente para comparar los periodos pre y postintervención, debido a que permite identificar si la implementación de 5S y SMED contribuyó a producir más unidades conformes con los mismos recursos de tiempo operativo.

Calidad

La calidad constituye un componente esencial en la gestión de operaciones, ya que está directamente relacionada con la capacidad del producto o servicio final para satisfacer las expectativas, necesidades y requisitos del cliente. No se trata únicamente de cumplir con especificaciones técnicas, sino de ofrecer un resultado que genere confianza y valor percibido. En este sentido, Sousa y Voss (2002) afirman que la calidad debe ser entendida como una responsabilidad compartida a lo largo de toda la cadena de valor, desde la etapa de diseño hasta la entrega final del producto, involucrando a todas las áreas funcionales de la organización.

Complementando esta perspectiva, Juran (1999) sostiene que la calidad debe asumirse como un proceso estratégico de gestión, no simplemente como una función operativa. Según su enfoque, el control de calidad debe orientarse hacia la prevención de fallos mediante la mejora continua y la participación activa de todos los niveles jerárquicos de la empresa. Este planteamiento promueve una cultura organizacional donde la calidad no es responsabilidad exclusiva del área de producción o control, sino un objetivo transversal que impacta directamente en la competitividad y sostenibilidad del negocio.

Public

Asimismo, desde la filosofía Lean Manufacturing, la calidad se refuerza mediante la aplicación de herramientas orientadas a la eficiencia y la reducción de variabilidad en los procesos. Womack y Jones (1996) destacan que prácticas como el control estadístico de procesos (SPC), la estandarización de tareas y la eliminación sistemática de actividades que no agregan valor permiten mejorar significativamente la calidad del producto final. Estas herramientas no solo reducen los defectos y los desperdicios, sino que también incrementan la capacidad de respuesta frente a los requerimientos del cliente, fortaleciendo la fidelidad del consumidor y aportando una ventaja competitiva sostenible en el largo plazo.

Satisfacción del Cliente

La satisfacción del cliente constituye un elemento clave para garantizar la competitividad y sostenibilidad de las organizaciones en mercados dinámicos y exigentes. Este concepto hace referencia al grado en que los productos o servicios entregados logran cumplir o superar las expectativas del consumidor. De acuerdo con Kotler y Keller (2012), la satisfacción no se limita únicamente a las características técnicas del producto, sino que también involucra aspectos como la calidad del servicio postventa, la capacidad de respuesta ante reclamos, la puntualidad en las entregas y la habilidad de la empresa para adaptarse a los cambios en las preferencias del mercado.

Por su parte, Zeithaml, Bitner y Gremler (2009) sostienen que la percepción de valor que tiene el cliente está estrechamente ligada a la experiencia general con la organización, incluyendo elementos tangibles e intangibles del servicio. Según

Public

estos autores, una gestión eficaz de la experiencia del cliente implica comprender sus expectativas y diseñar procesos orientados a superarlas sistemáticamente, lo cual genera una percepción positiva que influye directamente en la fidelidad del consumidor.

En esta línea, los principios de mejora continua propuestos por Lean Manufacturing ofrecen un marco metodológico útil para alcanzar altos niveles de satisfacción. La implementación de herramientas como las 5S y el SMED permite optimizar tiempos de respuesta, reducir defectos y asegurar una entrega más fluida y confiable. De acuerdo con Womack y Jones (1996), las organizaciones que integran una cultura de mejora continua en sus operaciones logran aumentar su capacidad para ofrecer productos con estándares de calidad más elevados, al mismo tiempo que reducen los tiempos de espera y mejoran la experiencia global del cliente.

En síntesis, la satisfacción del cliente no es un resultado aislado, sino una consecuencia directa de una gestión eficiente de los procesos internos. Una empresa que busca el éxito a largo plazo debe enfocar sus esfuerzos en la mejora permanente de sus sistemas productivos y de atención al cliente, con el fin de garantizar una propuesta de valor sólida, diferenciada y adaptable a las nuevas demandas del mercado.

Lean Manufacturing

Filosofía de gestión enfocada en la eliminación de desperdicios y la mejora continua de procesos mediante la eficiencia operativa y el enfoque en la creación

Public

de valor. Esta metodología fue desarrollada a partir del Sistema de Producción de Toyota y se basa en principios como la optimización del flujo de trabajo, la estandarización de procesos y la reducción de desperdicios (Ohno, 1988). Además, Lean Manufacturing integra herramientas como Just in Time (JIT) y Kanban para garantizar un flujo de producción eficiente y con mínima variabilidad. Lean Manufacturing no solo se centra en la reducción de costos, sino también en mejorar la calidad, la flexibilidad y el tiempo de entrega al cliente.

Lean Manufacturing se apoya en cinco principios fundamentales propuestos por Womack y Jones (1996):

- Definir el valor desde la perspectiva del cliente.
- Identificar la cadena de valor y eliminar desperdicios.
- Crear flujo continuo en los procesos de producción.
- Establecer un sistema pull para evitar la sobreproducción.
- Buscar la mejora continua (Kaizen) en todos los niveles de la organización.

La aplicación de Lean Manufacturing permite reducir costos operativos, mejorar la calidad del producto y aumentar la satisfacción del cliente al eliminar procesos innecesarios y optimizar el uso de los recursos disponibles.

Kaizen

Estrategia de mejora continua que fomenta pequeños cambios constantes para incrementar la eficiencia y la calidad de los procesos productivos. Se basa en la participación activa de los trabajadores y en la eliminación sistemática de

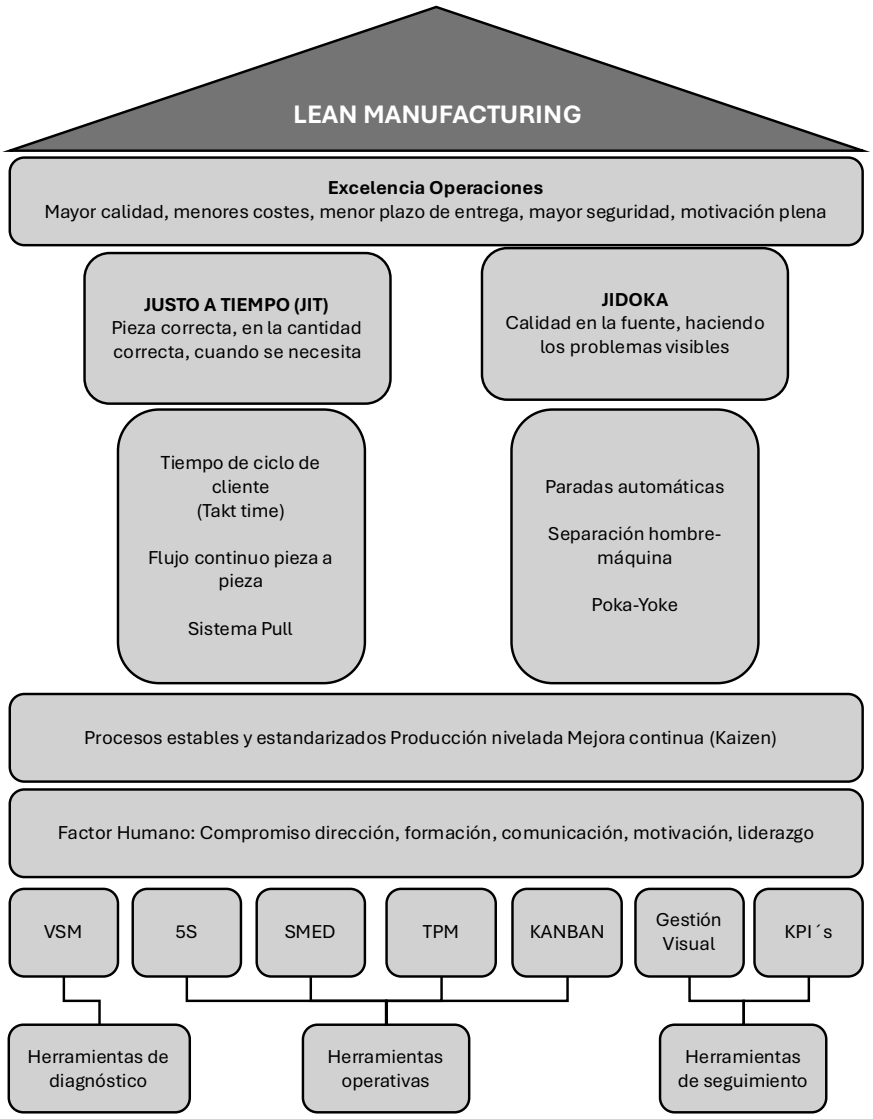
Public

actividades que no agregan valor (Imai, 1986). La implementación de Kaizen en una organización fomenta una cultura de aprendizaje y colaboración, en la que los empleados pueden identificar y proponer mejoras en su entorno laboral. Esta filosofía suele complementarse con otras herramientas Lean Manufacturing, como los eventos Kaizen y el ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), para garantizar un proceso estructurado de mejora. Kaizen también involucra técnicas como el análisis de causa raíz, los diagramas de espina de pescado y el uso de métricas clave para evaluar el impacto de las mejoras.

Figura 6

Estructura del sistema Lean Manufacturing

Public



Nota: Adaptado de *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, por J. K. Liker, 2004.

Técnicas Lean Manufacturing

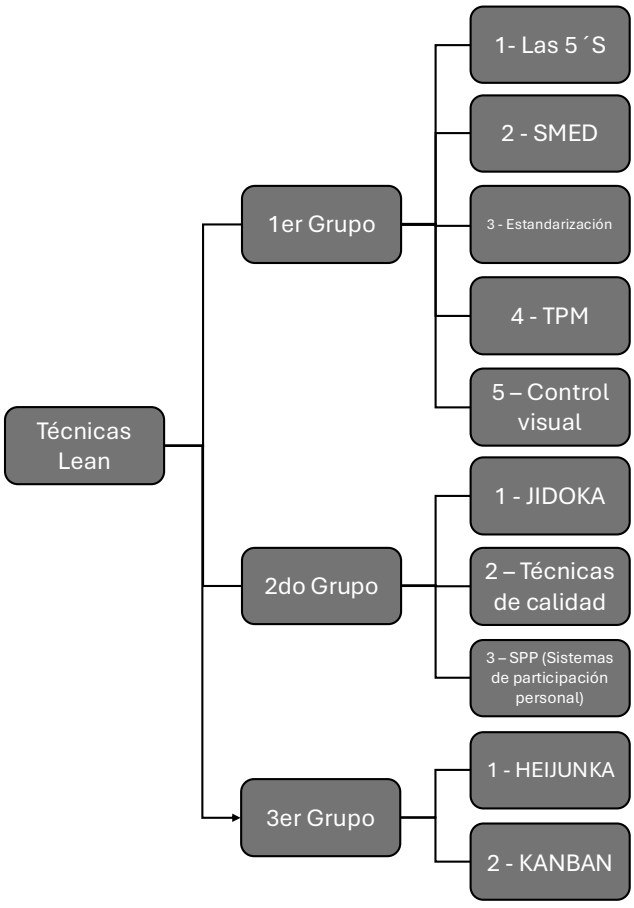
Las técnicas Lean Manufacturing pueden implementarse de forma individual o en conjunto, dependiendo de las necesidades específicas de la empresa. Antes de su implementación, es fundamental realizar un diagnóstico detallado que permita identificar el enfoque más adecuado para cada situación. Este diagnóstico permite establecer el camino óptimo y las herramientas más efectivas a utilizar, tal como se ilustra en la Figura N.º 7. Según Womack y Jones (1996), para facilitar la aplicación de los principios de Lean Manufacturing, es

Public

recomendable utilizar las herramientas de forma estratégica, adaptándolas a las necesidades particulares del proceso productivo. Esto asegura que las herramientas se implementen de manera adecuada y se maximicen los beneficios en términos de productividad y calidad dentro del proceso de producción (Chávarri, 2024).

Figura 7

Técnicas lean Manufacturing



Nota: Adaptado de *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, por J. K. Liker, 2004.

5S

Herramienta de organización y orden en el área de trabajo basada en cinco principios: Seiri (Clasificación), Seiton (Orden), Seiso (Limpieza), Seiketsu (Estandarización) y Shitsuke (Disciplina). Su implementación mejora la eficiencia

Public

operativa, reduce desperdicios y genera un ambiente de trabajo más seguro y productivo (Hirano, 1996). Además, la metodología 5S facilita la detección temprana de problemas y la reducción del tiempo de búsqueda de herramientas o materiales, contribuyendo a la mejora del desempeño en los procesos productivos. Se considera la base para la implementación de otras metodologías Lean Manufacturing, ya que permite establecer un entorno de trabajo estructurado y organizado.

- Seiri (Separar): Consiste en identificar y separar los elementos necesarios de los innecesarios en el área de trabajo. Se eliminan herramientas, materiales y equipos obsoletos o que no aportan valor al proceso, reduciendo el desorden y mejorando el flujo de trabajo.
- Seiton (Orden): Una vez eliminados los elementos innecesarios, los elementos restantes deben organizarse de manera eficiente. Se asignan ubicaciones específicas para cada herramienta y material, utilizando señalización visual para facilitar su identificación y acceso rápido.
- Seiso (Limpieza): Implica mantener limpio el entorno de trabajo mediante rutinas de limpieza periódicas. Esta fase no solo mejora la estética del lugar, sino que también ayuda a identificar anomalías en los equipos y previene fallos en la producción.
- Seiketsu (Estandarización): Consiste en establecer procedimientos y normas para mantener el orden y la limpieza de manera sostenible. Se documentan las mejores prácticas y se capacita al personal para garantizar la consistencia en la aplicación de las 5S.
- Shitsuke (Disciplina): Representa el compromiso de todos los empleados para mantener y mejorar continuamente el sistema 5S. Se promueve una

Public

cultura de disciplina y responsabilidad, asegurando que las mejoras implementadas sean sostenibles en el tiempo.

En procesos sensibles a la calidad superficial, como el recubrimiento antirreflejo de lentes oftálmicos, la metodología 5S tiene un impacto directo en la prevención de defectos. La presencia de partículas, residuos, herramientas fuera de lugar, manipulación inadecuada o falta de limpieza puede generar rayas, manchas, contaminación o fallas de adherencia. Por ello, 5S no solo debe entenderse como una herramienta de orden, sino como una práctica de control de condiciones del proceso que contribuye a la calidad, seguridad, trazabilidad y estabilidad operativa.

SMED

El método SMED (Single-Minute Exchange of Die), desarrollado por Shigeo Shingo, es una herramienta fundamental dentro del enfoque Lean Manufacturing, cuyo propósito principal es reducir significativamente los tiempos de cambio o ajuste en los procesos productivos. Su importancia radica en que, al minimizar el tiempo de inactividad de los equipos durante los cambios de configuración, se logra incrementar la eficiencia operativa, optimizar el uso de los recursos y permitir la producción en lotes más pequeños, lo que resulta esencial en entornos con alta variabilidad de demanda y personalización de productos.

La esencia de SMED radica en transformar las actividades de preparación que requieren la detención de la máquina (actividades internas) en tareas que pueden realizarse mientras el equipo sigue operando (actividades externas). Esta conversión estratégica reduce la necesidad de detener la producción y

Public

mejora la disponibilidad de los activos productivos, permitiendo a la empresa responder con mayor agilidad a las exigencias del mercado (Shingo, 1985). Además, la aplicación del método fomenta la estandarización de procedimientos y el análisis sistemático de cada actividad, promoviendo una cultura de mejora continua.

Pasos del método SMED:

Separar las operaciones internas y externas: En esta primera etapa, se identifican todas las actividades que se ejecutan durante el cambio de herramienta o configuración y se clasifican según si requieren o no la detención del equipo.

- Convertir tareas internas en externas: El siguiente paso consiste en modificar la secuencia de trabajo para trasladar la mayor cantidad de actividades posibles al tiempo de operación normal, lo que implica preparación previa de herramientas, verificación de materiales y configuración anticipada.
- Optimizar todas las operaciones: Aquí se busca simplificar cada tarea del cambio de formato, eliminando movimientos innecesarios, reorganizando el entorno de trabajo y asegurando una secuencia lógica y fluida de acciones.
- Automatizar y mejorar herramientas: En esta etapa se implementan mejoras tecnológicas o mecánicas que permitan reducir aún más el tiempo de cambio, como sistemas de sujeción rápida o mecanismos de posicionamiento automático.
- Estandarizar el proceso: Finalmente, se documentan las mejores prácticas desarrolladas, se capacita al personal y se estandariza el procedimiento para garantizar su repetibilidad y sostenibilidad a largo plazo.

Public

La implementación efectiva de SMED no solo reduce los tiempos de inactividad entre lotes de producción, sino que también contribuye a mejorar la calidad del producto, al eliminar variaciones e inconsistencias durante los ajustes. Asimismo, permite a las organizaciones adoptar un modelo de producción más ágil y flexible, adaptándose mejor a los requerimientos del cliente sin incurrir en sobrecostos ni pérdidas de eficiencia. Según Varela, Muñoz Guevara y Zapata Urquijo (2022), SMED se ha consolidado como una estrategia clave en la transformación de plantas industriales que buscan optimizar sus operaciones, mejorar la productividad y reducir el lead time en la entrega de productos.

Desde el punto de vista operativo, SMED incrementa la disponibilidad del recurso crítico al reducir el tiempo improductivo asociado al cambio de lote, receta o configuración. En procesos por lotes, esta reducción permite aumentar la capacidad efectiva sin ampliar la jornada laboral ni adquirir maquinaria adicional. Asimismo, la preparación externa, los kits de setup, la verificación previa de insumos y la estandarización de la secuencia de cambio contribuyen a reducir errores en el arranque del lote y a estabilizar el flujo productivo.

Muda, Mura y Muri

En el contexto de Lean Manufacturing, los conceptos de Muda, Mura y Muri son fundamentales para la identificación y eliminación de ineficiencias dentro de los procesos productivos. Muda hace referencia a todo tipo de desperdicio que no aporta valor al producto o servicio final, como tiempos de espera, sobreproducción, transporte innecesario o inventarios excesivos. Mura, por su parte, se refiere a la variabilidad e irregularidad en el flujo de trabajo, lo que genera inestabilidad en los procesos, cuellos de botella y falta de sincronización

Public

entre etapas. Finalmente, Muri representa la sobrecarga o exigencia excesiva sobre personas, equipos o instalaciones, lo que puede derivar en fallos, fatiga, errores y costos ocultos.

Según Liker (2004), la integración de estos tres conceptos permite abordar la eficiencia de forma sistémica, ya que no basta con eliminar el desperdicio visible (Muda) si persisten desequilibrios (Mura) o sobreesfuerzos (Muri) que impactan la calidad y el rendimiento. De manera complementaria, Ohno (1988), considerado uno de los principales arquitectos del Sistema de Producción Toyota, sostiene que la eliminación conjunta de Muda, Mura y Muri es esencial para alcanzar un sistema de producción equilibrado, fluido y capaz de responder con rapidez a la demanda del cliente. La reducción de estos tres elementos no solo mejora la eficiencia y la calidad, sino que también fortalece la salud organizacional y la sostenibilidad del sistema productivo en su conjunto.

Proceso de fabricación de lentes oftálmicos

La fabricación de lentes oftálmicos comprende una serie de procesos secuenciales altamente especializados, que combinan tecnología digital, tratamientos ópticos y procedimientos de precisión mecánica para transformar una base semiterminada en un producto óptico final, personalizado según la prescripción del usuario y las características del armazón. Este proceso implica múltiples etapas, desde el diseño óptico y el moldeado digital hasta los recubrimientos funcionales y el ensamblaje final, garantizando calidad visual, resistencia mecánica y confort para el usuario (EssilorLuxottica Perú, 2024).

Public

Receta Free Form

El proceso Free Form es una técnica de manufactura digital avanzada que ha revolucionado la industria óptica al permitir la personalización de lentes con geometrías complejas. A través de un software de cálculo especializado, se diseñan superficies ópticas de forma libre o asimétrica que optimizan la visión en todas las direcciones y distancias. Esta tecnología ofrece campos visuales más amplios y una mayor nitidez, adaptándose con precisión a las necesidades visuales del usuario (EssilorLuxottica Perú, 2024).

El proceso inicia con la utilización de lentes semiterminados, los cuales cuentan con la graduación óptica en su cara interna. Sobre la cara externa se realiza el tallado mediante maquinaria CNC (Control Numérico Computarizado). Las etapas del proceso incluyen: control de calidad inicial, encintado para protección, bloqueo digital (alineación y fijación del lente para el tallado), tallado y afinado de la superficie, pulido para eliminar imperfecciones, grabado láser de códigos o marcas técnicas, desbloqueo y despegado del soporte, y finalmente un control de calidad final para validar que las especificaciones ópticas y geométricas se cumplan (EssilorLuxottica Perú, 2024).

Duraquarz

Una vez talladas y pulidas las superficies del lente, se procede a la aplicación de un recubrimiento endurecedor conocido como Duraquarz, el cual cumple la función de incrementar la resistencia al rayado y proteger la superficie del lente frente al desgaste cotidiano. Este recubrimiento es fundamental para preservar

Public

la durabilidad y calidad del producto, especialmente en lentes con uso diario o en ambientes exigentes (EssilorLuxottica Perú, 2024).

Existen dos tecnologías principales para su aplicación:

- Spin-coating: método en el que la laca se aplica por centrifugación, garantizando una distribución uniforme mediante la rotación controlada del lente.
- Laqueado por inmersión: proceso en el que el lente es sumergido en una solución endurecedora, ideal para ciertos tipos de materiales y espesores.

Independientemente del método utilizado, el proceso contempla las siguientes fases: verificación de equipos, control de calidad inicial del lente, aplicación del recubrimiento (Ultra Optics o HCC5, según el caso), y curado térmico para fijar el recubrimiento. Finalmente, se realiza una evaluación de la calidad del endurecido antes de continuar con el proceso de tratamiento antirreflejo (EssilorLuxottica Perú, 2024).

Tratamiento antirreflejo

El tratamiento antirreflejo es una etapa crucial que mejora significativamente la funcionalidad estética y óptica del lente. Su objetivo es reducir los reflejos superficiales, permitiendo que una mayor cantidad de luz pase a través del lente y llegue al ojo del usuario. Esto se traduce en una mejor agudeza visual, menor fatiga ocular y una apariencia más estética, al eliminar reflejos visibles en la superficie del lente (EssilorLuxottica Perú, 2024).

Public

El procedimiento se realiza en condiciones de vacío mediante tecnología de deposición de capas delgadas (coating), y se desarrolla en varias fases: secado térmico de las bases (para eliminar humedad residual), preparación y limpieza de las superficies, colocación en cámaras de vacío para la aplicación de capas antirreflejantes (normalmente óxidos metálicos como dióxido de titanio o silicio), y finalmente un control de calidad óptico y visual, en el que se verifica la correcta adherencia, uniformidad y transparencia del recubrimiento (EssilorLuxottica Perú, 2024).

Biselado

La última fase del proceso de fabricación es el biselado, que consiste en adaptar físicamente el lente a la forma y dimensiones de la montura elegida por el cliente. Este procedimiento requiere una combinación de precisión y cuidado, ya que una mala ejecución puede afectar tanto el montaje como la estética del producto final (EssilorLuxottica Perú, 2024).

El proceso comienza con la recepción de bandejas de producción, seguido por el armado de bandejas con la información del lente y armazón correspondiente. Luego se realiza un control de calidad inicial, seguido del trazado y bloqueo, donde el lente es alineado en función del centro óptico. Posteriormente, se lleva a cabo el corte y biselado con maquinaria automatizada, y finalmente, el montaje del lente en la montura seleccionada. Esta etapa también puede incluir ajustes finales y un control de calidad final antes de su entrega al cliente (EssilorLuxottica Perú, 2024).

Public

2.3. Glosario

Just in Time (JIT)

Sistema de producción que busca fabricar productos solo cuando se necesitan, en la cantidad exacta, lo que reduce los inventarios y mejora el flujo de trabajo. JIT optimiza la producción alineándola directamente con la demanda, evitando la sobreproducción y asegurando eficiencia en cada etapa del proceso (Ohno, 1988).

Kaizen

Filosofía que promueve la mejora continua a través de pequeños cambios constantes. El objetivo es optimizar todos los procesos productivos de manera incremental, involucrando a todos los empleados de la organización en el proceso de mejora (Imai, 1986).

Jidoka

Principio del Toyota Production System que permite detener el proceso de producción cuando se detecta un defecto. Esto asegura que los problemas se resuelvan inmediatamente, mejorando la calidad y evitando que los errores se propagen a lo largo del proceso de producción (Ohno, 1988).

Kanban

Sistema visual que controla el flujo de materiales en la producción mediante tarjetas o señales visuales. Kanban ayuda a sincronizar la producción con la demanda del cliente y evita el exceso de inventarios, permitiendo una producción más flexible y eficiente (Monden, 2011).

Public

TPM (Total Productive Maintenance)

Enfoque de mantenimiento integral que involucra a todos los empleados en actividades de mantenimiento preventivo y predictivo. El objetivo es maximizar la disponibilidad de los equipos y reducir los tiempos de inactividad para asegurar una producción continua y eficiente (Nakajima, 1988).

Takt Time

Es el tiempo disponible para producir un producto, ajustado a la demanda del cliente. El Takt Time ayuda a equilibrar la producción, asegurando que cada fase del proceso sea sincronizada con la demanda, evitando sobrecargar la capacidad del sistema de producción (Monden, 2011).

Muda

Término japonés que describe cualquier actividad que no agrega valor en el proceso de producción. Identificar y eliminar el Muda es esencial para mejorar la eficiencia y reducir los costos operativos (Womack & Jones, 1996).

Mura

Se refiere a la variabilidad o irregularidad en los procesos de producción. Mura causa desequilibrios en la carga de trabajo, genera cuellos de botella e impide un flujo continuo de operaciones. Su reducción es esencial para lograr estabilidad y eficiencia en la producción (Ohno, 1988).

Muri

Public

Hace alusión a la sobrecarga física o mental en trabajadores, máquinas o procesos. Muri puede provocar fatiga, fallos en los equipos y accidentes laborales, afectando la calidad y sostenibilidad del sistema. Eliminar esta sobrecarga contribuye a mantener condiciones de trabajo más seguras y eficientes (Liker, 2004).

Heijunka

Técnica utilizada para nivelar la producción, reduciendo las fluctuaciones en la demanda y evitando picos de trabajo. Heijunka optimiza el flujo de producción, asegurando que el trabajo sea distribuido equitativamente durante el tiempo (Monden, 2011).

Demanda

Se refiere a la cantidad de bienes o servicios que los clientes están dispuestos a adquirir a precio de mercado, y que las empresas deben producir para satisfacer estas necesidades en un período determinado (Kotler & Keller, 2012).

Eficiencia

Se refiere a la capacidad de lograr un objetivo utilizando los menores recursos posibles, optimizando el tiempo, esfuerzo y materiales en los procesos productivos (DLE, s. f.).

Insumo

Son los materiales y recursos necesarios para la producción de bienes y servicios. En la fabricación de lentes oftálmicos, los insumos incluyen materiales

Public

como plástico, vidrio, recubrimientos y otros materiales químicos utilizados en el proceso de fabricación (Heizer & Render, 2014).

Recubrimiento Antirreflejo

Es un tratamiento aplicado a las lentes oftálmicas para reducir los reflejos y mejorar la transmisión de luz, mejorando la calidad visual y la durabilidad de las lentes. Este proceso es esencial para ofrecer productos ópticos de alta calidad (Ávila & Piernagorda, 2018)

Public

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Hipótesis General

Si se implementan las herramientas Lean Manufacturing entonces se mejorará la productividad en el área de antirreflejo en una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.

3.2. Hipótesis Específicas

- Si se implementa la metodología 5S en el área de antirreflejo entonces se mejorará la productividad de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.
- Si se implementa SMED en el área de antirreflejo entonces se mejorará la productividad de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.
- Si se implementa 5S y SMED entonces reducirá los costos del producto unitario en el área de antirreflejo de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.

3.3. Identificación de variables

Hipótesis principal:

- Variable independiente: aplicación de herramientas Lean Manufacturing
- Variable dependiente: mejora de la productividad.

Hipótesis específica 1:

- Variable independiente: 5S
- Variable dependiente: mejora de la productividad.

Hipótesis específica 2:

Public

- Variable independiente: SMED
- Variable dependiente: mejora de la productividad.

Hipótesis específica 3:

- Variable independiente: 5S y SMED
- Variable dependiente: Costos del producto unitario

Public

3.4. Operacionalización

A continuación, la matriz de Operacionalización:

Tabla 7

Matriz de operacionalización

Variables	Definición conceptual	Definición operacional
Mejora de la productividad (dependiente 1 y 2)	La productividad representa la relación entre las salidas (bienes o servicios producidos) y las entradas (recursos empleados como mano de obra, materiales y tiempo). Su mejora implica incrementar la eficiencia (uso óptimo de recursos) y la eficacia (cumplimiento del volumen de producción esperado) mediante la aplicación de herramientas Lean Manufacturing.	Se evalúa mediante la razón entre salidas e insumos (productividad = salidas / entradas), considerando tres indicadores complementarios: • Eficiencia: uso óptimo del tiempo y recursos. • Eficacia: cumplimiento del volumen de producción planificado. • Costo unitario: reducción del costo de producción por unidad. • Estos parámetros se comparan antes y después de la implementación de las herramientas Lean Manufacturing (5S y SMED).
Costo del producto unitario (dependiente 3)	Valor monetario total asociado a la producción de un bien terminado, incluyendo insumos, mano de obra y otros gastos directos.	Se calcula mediante el costo unitario: (costo total mensual de producción/ producción real mensual), comparando valores antes y después de implementar herramientas Lean Manufacturing.
5'S (independiente 1)	Metodología japonesa enfocada en mantener el orden, la limpieza y la estandarización en los lugares de trabajo para mejorar la eficiencia y la seguridad.	Aplicación de las cinco fases (Clasificar, Ordenar, Limpiar, Estandarizar y Mantener), evaluadas mediante guías de observación y su porcentaje de cumplimiento.
SMED (independiente 2)	Técnica Lean Manufacturing que permite reducir significativamente los tiempos de cambio o	Se implementa midiendo el tiempo de cambio de lote antes y después de la intervención, mediante cronometrajes, bitácoras de set-up y análisis de tiempos estándar versus tiempos reales.

Public

	preparación de máquinas, mejorando la flexibilidad del proceso.	
5’S y SMED (independiente 3)	Aplicación simultánea de ambas herramientas Lean Manufacturing con el objetivo de optimizar el entorno de trabajo y los tiempos de producción.	Se evalúa mediante la implementación conjunta de 5S y SMED y su relación con la variación del costo unitario mensual del producto. Para ello, se comparan los valores del periodo preintervención y postintervención utilizando registros mensuales de costos y producción.

Nota: Elaboración propia

Public

3.5. Matriz de consistencia

Tabla 8

Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Indicador
Problema General: ¿Cómo la Implementación de herramientas Lean Manufacturing mejora la productividad en el área de antirreflejo de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos?	Objetivo General: Implementar herramientas Lean Manufacturing para mejorar la productividad en el área de antirreflejo de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.	Hipótesis General: Si se implementan las herramientas Lean Manufacturing entonces se mejorará la productividad en el área de antirreflejo en una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.	Variable independiente: Aplicación de herramientas Lean Manufacturing Variable dependiente: Productividad operativa	Implementación de 5S y SMED. Productividad operativa = cantidad final / horas efectivas. Eficacia = cantidad final / demanda. Índice de calidad = cantidad final / producción real. Merma (%) = merma / producción real.
Problema Específico 1: ¿Cómo la implementación de 5S en el área de antirreflejo contribuye a mejorar la productividad en la empresa de fabricación de lentes oftálmicos?	Objetivo Específico 1: Implementar la metodología 5S en el área de antirreflejo para mejorar la productividad de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.	Hipótesis Específica 1: Si se implementa la metodología 5S en el área de antirreflejo entonces se mejorará la productividad de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.	Variable independiente: Cumplimiento 5S. Variable dependiente: Productividad operativa	Cumplimiento de auditoría 5S (%). Productividad operativa = cantidad final / horas efectivas.
Problema Específico 2: ¿Cómo la implementación de SMED en el área de antirreflejo, permite mejorar la productividad en la empresa de fabricación de lentes oftálmicos?	Objetivo Específico 2: Implementar SMED en el área de antirreflejo para mejorar la productividad de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.	Hipótesis Específica 2: Si se implementa SMED en el área de antirreflejo entonces se mejorará la productividad de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.	Variable independiente: Cumplimiento SMED. Variable dependiente: Productividad operativa	Cumplimiento SMED (%) y tiempo de cambio por lote (min/lote). Productividad operativa = cantidad final / horas efectivas.

Public

Problema Específico 3: ¿Cómo la aplicación de 5S y SMED en el área de antirreflejo contribuye a reducir los costos del producto unitario en el área de antirreflejo de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos?	Objetivo Específico 3: Evaluar cómo implementando 5S y SMED contribuye a reducir los costos del producto unitario en el área de antirreflejo de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.	Hipótesis Específica 3: Si se implementa 5S y SMED entonces reducirá los costos del producto unitario en el área de antirreflejo de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.	Variable independiente: Implementación conjunta de 5S y SMED.	Cumplimiento de estándares 5S y SMED.
			Variable dependiente: Costo unitario del producto.	Costo unitario mensual = costo total mensual / producción real mensual.

Nota: Elaboración propia

Public

3.6. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, de enfoque cuantitativo y diseño preexperimental de tipo pre–post sin grupo control. Se evaluó el comportamiento de los indicadores operativos del área de recubrimiento antirreflejo antes y después de la implementación de las herramientas Lean Manufacturing 5S y SMED. Según Hernández, Fernández y Baptista (2018), el enfoque cuantitativo se caracteriza por medir fenómenos, formular hipótesis y utilizar procedimientos estadísticos para contrastar los supuestos planteados; por ello, resulta pertinente para analizar indicadores como productividad, eficacia, índice de calidad, merma, tiempo de cambio y costo unitario.

De acuerdo con Hernández et al. (2018), la investigación aplicada tiene como finalidad utilizar el conocimiento teórico disponible para atender problemas concretos en contextos reales. En ese sentido, el presente estudio busca contribuir a la mejora del desempeño operativo en una empresa manufacturera del sector óptico, mediante la implementación de herramientas Lean Manufacturing orientadas al orden, estandarización, reducción de tiempos improductivos y mejora de la productividad.

El diseño fue preexperimental de tipo pre–post sin grupo control, debido a que se realizó una intervención estructurada en el área de recubrimiento antirreflejo y se compararon los indicadores antes y después de la implementación Lean. El periodo preintervención comprendió enero a julio de 2024, mientras que el periodo postintervención comprendió agosto de 2024 a febrero de 2025, considerando siete registros mensuales por cada periodo. Al tratarse de registros

mensuales correspondientes a dos ventanas temporales diferentes, las observaciones no se consideraron emparejadas, sino como dos muestras independientes.

Este diseño permitió comparar el desempeño operativo del proceso antes y después de la intervención en condiciones reales de planta. No obstante, al no contar con grupo control ni asignación aleatoria, los resultados se interpretan como mejoras estadísticamente significativas asociadas a la implementación de 5S y SMED, reconociendo que no se controlan completamente todos los factores externos del entorno productivo.

3.7. Unidad de análisis

La unidad de análisis estuvo constituida por cada registro mensual de desempeño del área de recubrimiento antirreflejo. Cada registro mensual consolidó información operativa de producción, horas efectivas, productividad, merma, índice de calidad, tiempo de cambio por lote y costo unitario, obtenida a partir de los registros internos del área de producción y calidad.

La comparación inferencial se realizó entre dos grupos de registros mensuales independientes: el periodo preintervención y el periodo postintervención.

3.8. Población de estudio

La población estuvo constituida por los registros de desempeño operativo del área de recubrimiento antirreflejo durante los periodos evaluados: preintervención, de enero a julio de 2024, y postintervención, de agosto de 2024 a febrero de 2025. A partir de esta población se construyeron las series

mensuales utilizadas tanto para la descripción de indicadores como para los contrastes estadísticos.

3.9. Tamaño de muestra

La muestra estuvo conformada por 14 registros mensuales de desempeño del área de recubrimiento antirreflejo, distribuidos en dos grupos independientes: siete registros mensuales correspondientes al periodo preintervención, de enero a julio de 2024, y siete registros mensuales correspondientes al periodo postintervención, de agosto de 2024 a febrero de 2025.

Se trabajó con la totalidad de los registros mensuales disponibles para los periodos definidos, por lo que la selección fue censal. Las cifras acumuladas provinieron de los partes de producción y reportes de calidad institucionales.

3.10. Selección de la muestra

Se aplicó un muestreo censal respecto de los registros mensuales disponibles para los periodos definidos. Se analizaron todos los registros consolidados de desempeño operativo del área de recubrimiento antirreflejo correspondientes al periodo preintervención y postintervención. Esta decisión permitió captar la variabilidad mensual del proceso y evitar sesgos de selección en la comparación de indicadores.

3.11. Técnicas de recolección de datos

- Revisión de registros operativos: partes diarios de producción, hojas de merma y reportes de calidad (fuente primaria para cantidades, mermas e IC).

- Cronometrajes y bitácoras de set-up: mediciones de tiempo de cambio por lote (min/lote) antes y después de SMED.
- Formatos de control en proceso: checklists de 5S y verificación de parámetros (soporte para estandarización).

3.12. Análisis e interpretación de la información

Se realizó un análisis descriptivo de los indicadores recolectados, empleando medias, desviaciones estándar, valores mínimos, máximos y variaciones porcentuales, con el propósito de visualizar el comportamiento de la productividad, eficacia, índice de calidad, merma, tiempo de cambio por lote y costo unitario.

Posteriormente, se desarrolló el análisis inferencial. Para ello, se evaluó el supuesto de normalidad mediante la prueba de Shapiro–Wilk, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0{,}05$. Debido a que los registros mensuales preintervención y postintervención no se encuentran emparejados de manera natural, el contraste entre ambos periodos se realizó considerando dos muestras independientes.

Al no cumplirse el supuesto de normalidad en la variable productividad operativa, se aplicó la prueba no paramétrica U de Mann–Whitney para dos muestras independientes. Esta prueba permitió determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre la productividad operativa antes y después de la implementación de 5S y SMED.

Tabla 9

Análisis de datos

Variable	Indicador	Escala	Estadístico descriptivo	Estadístico de contraste
Productividad operativa	Unidades conformes producidas / horas efectivas.	Razón	Media, desviación estándar, mínimo, máximo y variación porcentual	Shapiro–Wilk + U de Mann–Whitney para dos muestras independientes
Costo unitario	Costo total mensual / producción real mensual.	Razón	Media, desviación estándar, mínimo, máximo y variación porcentual	Shapiro–Wilk + Levene + t de Student para muestras independientes
Cumplimiento 5S	Porcentaje de cumplimiento de auditoría 5S.	Razón / Porcentaje	Media, desviación estándar y porcentaje de cumplimiento	Shapiro–Wilk + correlación de Spearman + regresión lineal simple complementaria
Cumplimiento SMED	Porcentaje de cumplimiento SMED y tiempo de cambio por lote.	Razón / Porcentaje	Media, desviación estándar y porcentaje de cumplimiento	Shapiro–Wilk + correlación de Spearman + regresión lineal simple complementaria

Nota. Elaboración propia. Para las comparaciones pre–post se consideraron dos muestras independientes, debido a que los registros mensuales antes y después de la implementación Lean corresponden a ventanas temporales distintas y no presentan emparejamiento natural uno a uno. La selección de las pruebas inferenciales se realizó en función del cumplimiento del supuesto de normalidad evaluado mediante Shapiro–Wilk.

3.13. Pruebas de Hipótesis y Tipos de Análisis Estadístico

Con el propósito de contrastar las hipótesis planteadas y evaluar los efectos de la implementación de las herramientas Lean Manufacturing (5S y SMED) sobre

la productividad, se aplicaron diversas pruebas estadísticas de carácter inferencial.

El tratamiento estadístico de los datos se realizó con un nivel de confianza del 95% (α = 0,05), valor ampliamente aceptado en investigaciones de ingeniería industrial y mejora de procesos (Montgomery, 2017).

Las pruebas aplicadas se describen a continuación:

- Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk):

  Se utilizó para determinar si las variables cuantitativas (productividad, tiempos de cambio, cumplimiento 5S y cumplimiento SMED) se ajustan a una distribución normal. Este análisis permitió decidir si el tratamiento posterior debía realizarse mediante pruebas paramétricas o no paramétricas.

- Prueba U de Mann–Whitney:

  Para la contrastación de la hipótesis principal se utilizó la prueba U de Mann–Whitney, debido a que los datos de productividad operativa no cumplieron el supuesto de normalidad y los registros mensuales de los periodos pre y postintervención correspondieron a dos muestras independientes.

  La hipótesis nula (H0) planteó que no existen diferencias significativas entre la productividad operativa del periodo preintervención y la del periodo postintervención. La hipótesis alternativa (H1) estableció que sí existen diferencias significativas entre ambos periodos.

  Como complemento al valor p, se calculó el tamaño del efecto mediante la relación $r = |Z| / \sqrt{N}$, con el fin de evaluar la magnitud práctica de la diferencia observada.

- Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene:

Se aplicó para evaluar si las varianzas del costo unitario mensual entre el periodo preintervención y postintervención eran estadísticamente homogéneas. Este análisis permitió justificar el uso de la prueba t de Student para muestras independientes en la contrastación del costo unitario.

- Prueba t de Student para muestras independientes:

Se utilizó para comparar el costo unitario mensual entre el periodo preintervención y postintervención, al cumplirse el supuesto de normalidad en ambos grupos y verificarse la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Esta prueba permitió determinar si la reducción del costo unitario posterior a la implementación de 5S y SMED fue estadísticamente significativa.

- Análisis de correlación:

Se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman (ρ) para evaluar la relación entre el nivel de cumplimiento de las herramientas Lean (5S y SMED) y la productividad mensual, debido al tamaño reducido de la muestra y a que la productividad no cumplió el supuesto de normalidad.

El objetivo fue determinar el grado de relación entre el nivel de cumplimiento de las herramientas Lean (5S y SMED) y la productividad mensual, correspondientes a las hipótesis específicas HE1 y HE2.

- Análisis de regresión lineal:

Se aplicó para estimar la asociación de las variables independientes (nivel de cumplimiento 5S y SMED) sobre la variable dependiente (productividad).

Este análisis permitió construir modelos predictivos que explican la proporción de la variabilidad de la productividad asociada a la mejora de las prácticas Lean implementadas.

El conjunto de estas pruebas permitió sustentar estadísticamente las mejoras alcanzadas, garantizando la solidez de los resultados presentados en el Capítulo IV.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados

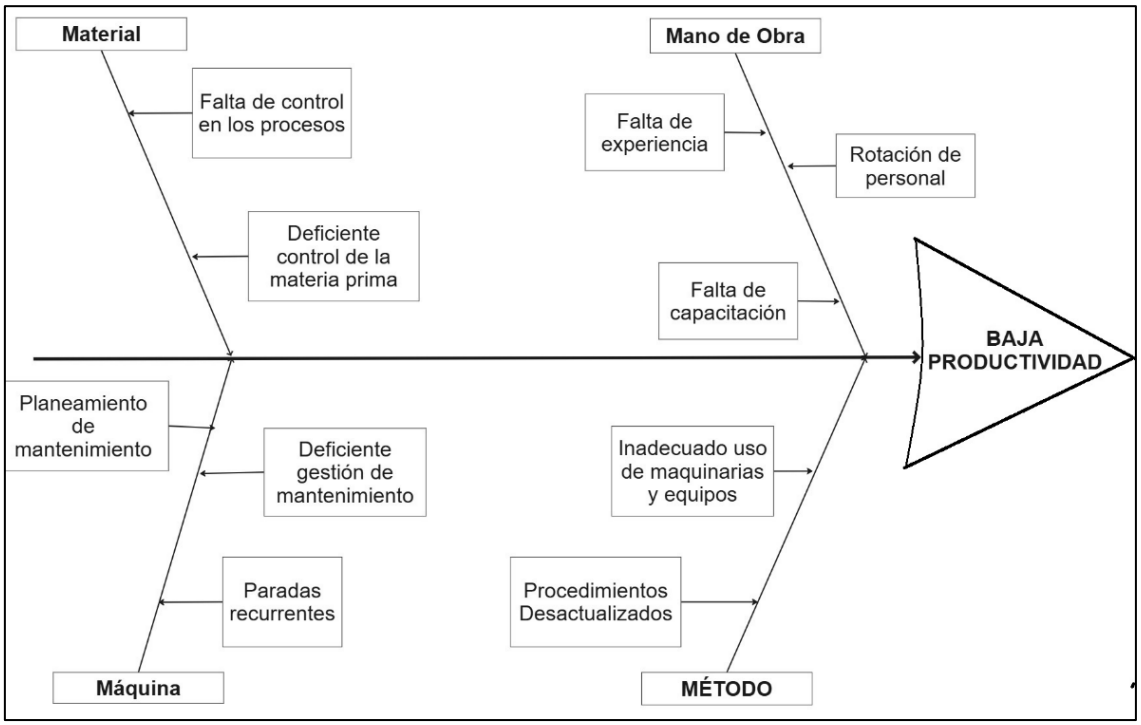
Se presenta los resultados obtenidos, el análisis e interpretación y discusión de resultados.

4.2. Identificación de principales problemas

Con el fin de identificar las principales problemáticas en la empresa, se utilizó el diagrama de Ishikawa como herramienta que facilita un análisis eficiente y óptimo de las causas.

Figura 8

Diagrama Ishikawa



Nota. La figura muestra el diagrama de Ishikawa con el análisis causal de EssilorLuxottica Perú S. A. Tomado de EssilorLuxottica Perú S. A., 2024.

En ese sentido, no se evidencia una orientación clara hacia el diseño ni la

evaluación de mejoras en los procesos del área de antirreflejo, especialmente en relación con los tiempos de entrega. La falta de mediciones precisas dentro de la línea limita la eficiencia operativa, ya que los tiempos de inactividad por preparación, el desperdicio de materiales y la presencia de defectos en el producto final son inevitables y contribuyen al incremento de desperdicios.

Adicionalmente, se observa una gestión inadecuada en el almacenamiento de insumos, lo que genera desplazamientos innecesarios por parte de los operarios. Estas acciones no agregan valor al proceso, reducen los tiempos efectivos de trabajo, provocan cuellos de botella y afectan negativamente la eficiencia general de la operación.

Tabla 10

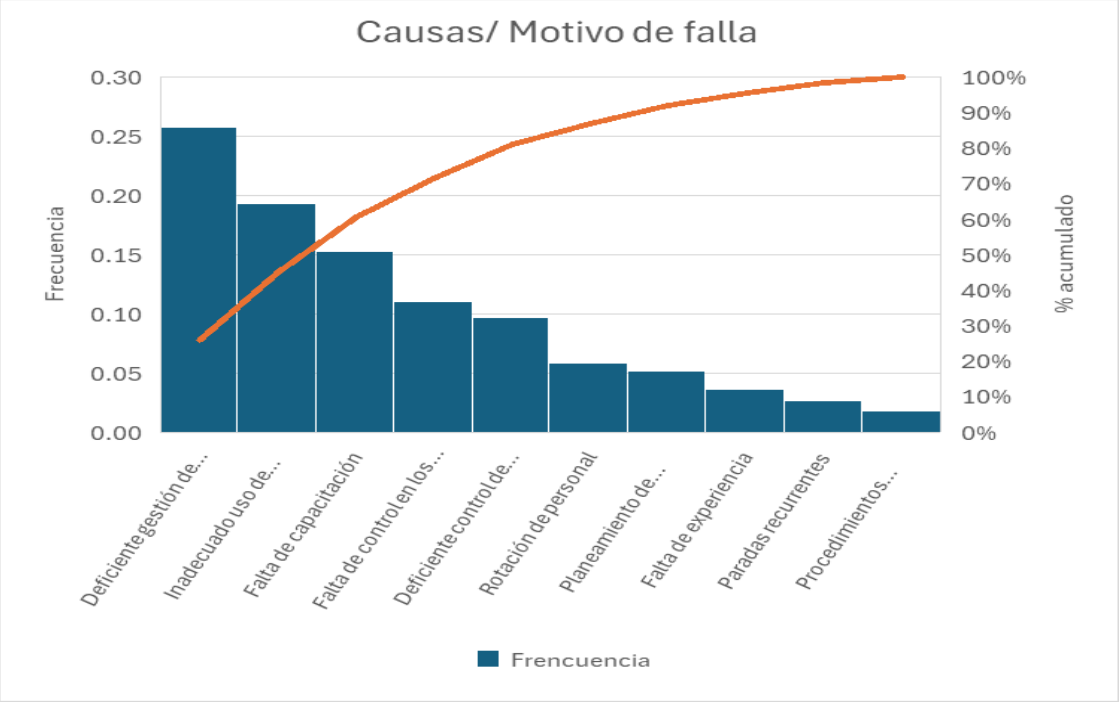
Listado de las causas

N.º	Causas	Cantidad	%	Acumulado	% Acumulado
1	Deficiente gestión de mantenimiento	115	25,78%	115	25,78%
2	Inadecuado uso de maquinarias y equipos	86	19,28%	201	45,07%
3	Falta de capacitación	68	15,25%	269	60,31%
4	Falta de control en los procesos	49	10,99%	318	71,30%
5	Deficiente control de la materia prima entrante	43	9,64%	361	80,94%
6	Rotación de personal	26	5,83%	387	86,77%
7	Planeamiento de mantenimiento autónomo	23	5,16%	410	91,93%
8	Falta de experiencia	16	3,59%	426	95,52%
9	Paradas recurrentes	12	2,69%	438	98,21%
10	Procedimientos desactualizados	8	1,79%	446	100,00%

*Nota***.** La tabla muestra la prioridad de las causas de motivo de falla de EssilorLuxottica Perú S. A. Tomado de EssilorLuxottica Perú S. A., 2024.

Figura 9

Diagrama de Pareto



*Nota***.** La figura muestra el diagrama de Pareto de las causas de EssilorLuxottica Perú S. A. Tomado de EssilorLuxottica Perú S. A., 2024.

Relación entre frecuencia de fallas e impacto económico

Si bien la Tabla 10 y la Figura 9 presentan las causas más recurrentes del área de recubrimiento antirreflejo en función de su frecuencia, fue necesario evaluar su impacto económico para comprender el costo asociado a dichas ineficiencias. Para ello, cada causa priorizada se relacionó con el tiempo promedio de pérdida por evento (minutos de parada o demora) y con el costo horario promedio de operación del área (S/ 116,00 por hora), valor que considera energía, mano de obra indirecta, mantenimiento e insumos.

A partir de esta relación frecuencia–tiempo–costo se estimaron las horas improductivas mensuales y el costo correspondiente, como se muestra en la

Tabla 11. Este análisis permitió estimar la asociación económica de las causas más relevantes, justificando así la necesidad de aplicar herramientas Lean como 5S y SMED, orientadas a la reducción de tiempos improductivos y fallas operativas.

Tabla 11

Relación entre frecuencia de fallas e impacto económico

Causa	Frecuencia	Tiempo medio (min)	Horas perdidas	Costo (S/.)	% del costo
Deficiente gestión de mantenimiento	115	14	26,83	3 113	46,68%
Inadecuado uso de maquinarias y equipos	86	8	11,47	1 330	19,95%
Falta de capacitación	68	7	7,93	920	13,80%
Falta de control en los procesos	49	5	4,08	474	7,11%
Deficiente control de materia prima	43	10	7,17	831	12,46%

Nota. Elaboración propia a partir de registros de mantenimiento y producción del área de recubrimiento antirreflejo (2024). El costo se estimó considerando un costo horario promedio de S/ 116,00.

Los resultados de la Tabla 11 muestran que las principales causas de ineficiencia generan una pérdida mensual estimada de 57,5 horas improductivas, equivalentes a aproximadamente S/ 6 668,00. La deficiente gestión de mantenimiento representa cerca del 46,68% del total, seguida por el uso inadecuado de maquinarias y la falta de capacitación del personal.

Este resultado evidencia que los problemas más críticos se relacionan con tiempos de parada, demoras en los cambios de lote y falta de estandarización, factores que impactan directamente en la productividad. Por ello, la propuesta de mejora Lean se enfoca en reducir estos tiempos mediante la aplicación del

SMED y mejorar la organización y disciplina operativa con la metodología 5S, logrando con ello un aumento sostenible en la eficiencia del área.

Tabla 12

Causas principales

N.º	Causas	Cantidad	Frecuencia	Acumulado	% Acumulado
1	Deficiente gestión de mantenimiento	115	29,72%	115	29,72%
2	Inadecuado uso de maquinarias y equipos	86	22,22%	201	51,94%
3	Falta de capacitación	68	17,57%	269	69,51%
4	Falta de control en los procesos	49	12,66%	318	82,17%
5	Deficiente control de la materia prima entrante	43	11,11%	361	93,28%
6	Rotación de personal	26	6,72%	387	100,00%
TOTAL		387	100,00%		

*Nota***.** La tabla muestra las principales causas de motivos de falla de EssilorLuxottica Perú S. A. Tomado de EssilorLuxottica Perú S. A., 2024.

Del análisis de la Tabla 12, se identifican como causas más significativas la deficiente gestión de mantenimiento (29,72%), el inadecuado uso de maquinarias y equipos (22,22%), la falta de capacitación (17,57%), la falta de control en los procesos (12,66%) y el deficiente control de la materia prima entrante (11,11%). En conjunto, las cuatro primeras causas acumulan el 82,17% de la frecuencia total, lo que evidencia que la intervención debe priorizar los factores vinculados con mantenimiento, uso de equipos, capacitación y control del proceso.

De acuerdo con la regla de Pareto (80/20), puede inferirse que el 80% de los efectos negativos en la productividad proviene del 20% de las causas identificadas. Por ello, resulta estratégico enfocar los esfuerzos de mejora en

estas causas prioritarias, ya que su intervención tendría un impacto considerable en la reducción de desperdicios, tiempos muertos y reprocesos.

Por lo tanto, a partir de la información analizada, se identifican herramientas de mejora productiva como 5S y SMED, que permitirán optimizar la eficiencia del proceso y reducir los tiempos de inactividad en el área de antirreflejo.

4.3. Análisis general del proceso

El área de recubrimiento antirreflejo en una empresa de fabricación de lentes oftálmicos, ubicada en Lima, presenta una serie de deficiencias operativas que están afectando directamente la eficiencia del proceso productivo y la calidad del producto final. Estas ineficiencias se traducen en altos tiempos de cambio de ciclo, niveles significativos de merma, defectos recurrentes y porcentajes de devoluciones que superan el estándar corporativo. Todos estos factores han generado la necesidad de realizar un análisis exhaustivo del proceso con el fin de implementar herramientas Lean Manufacturing que contribuyan a la mejora continua y al incremento de la productividad.

Durante un periodo de evaluación de tres meses, se identificó que los tiempos promedio de cambio de lote superan los 15 minutos, como se observa en la tabla 1, alcanzando un promedio general de 19,75 minutos y un máximo de hasta 24,8 minutos. Esta variabilidad indica una ausencia de estandarización en las actividades de preparación, lo cual genera interrupciones en la fluidez del flujo operativo. Asimismo, los porcentajes de merma registrados superaron el límite aceptable del 3%, alcanzando valores de hasta 6,12%, como se muestra en la Tabla 2. Este nivel de desperdicio no solo eleva los costos operativos, sino que también compromete la rentabilidad y sostenibilidad del proceso.

Los tipos de defectos más frecuentes identificados en el área de antirreflejo son las rayas y golpes (68,6%), lo cual sugiere problemas en la manipulación de las piezas, deficiente limpieza de los equipos y una falta de control como se evidencia en la tabla 3. Además, los porcentajes de devoluciones mensuales oscilaron entre el 2,69% y el 3,24%, valores significativamente superiores al objetivo corporativo de menos del 1%, como se aprecia en la tabla 5.

En este contexto, el análisis detallado del proceso resulta indispensable para identificar oportunidades de mejora. Para ello, se han aplicado herramientas como el Takt Time y el diagrama SIPOC, que han permitido realizar un diagnóstico estructurado del estado actual del proceso productivo.

El Takt Time, en particular, ha sido utilizado para determinar el ritmo de producción necesario para satisfacer la demanda del cliente. El cálculo se realizó bajo la fórmula:

T = Ta / D

Donde:
T: Takt Time
Ta: Tiempo neto de trabajo (segundos disponibles por día)
D: Demanda diaria del cliente

Sustituyendo con los datos del área de antirreflejo: Ta=2,036,060 seg/mes (≈ 565.6 h/mes) y D=41 000 un/mes,

$$T = \frac{2{,}036{,}060}{41{,}000} = \mathbf{49.66\ seg/un.}$$

La Tabla 36 presenta la comparación entre tiempo de ciclo y Takt: el tiempo de ciclo pasa de 56,36 a 50,47 seg/un, y la brecha Ciclo – Takt de +6,69 a +0,81

seg/un. Este valor de Takt se usa como referencia para la planificación y el dimensionamiento de capacidad.

Del mismo modo, se empleó el diagrama SIPOC (Supplier, Input, Process, Output, Customer) como herramienta clave para representar de forma estructurada y global el flujo del proceso de recubrimiento antirreflejo. Este enfoque permitió realizar un mapeo detallado de los elementos esenciales involucrados en la cadena de valor, desde los proveedores de materias primas hasta los clientes finales, pasando por los insumos utilizados, las actividades que componen el proceso productivo y los resultados obtenidos.

Gracias a este análisis, fue posible identificar con claridad los puntos críticos de interacción entre los distintos actores del proceso, así como los cuellos de botella o áreas susceptibles de mejora. El SIPOC sirvió como base para comprender de manera integral cómo se relacionan y fluyen los componentes dentro del sistema productivo, facilitando la identificación de actividades que no agregan valor y que impactan negativamente en la eficiencia operativa.

Además, este mapeo fue fundamental para delimitar el alcance de la intervención Lean Manufacturing, proporcionando una visión sistémica que permitió al equipo de mejora enfocar sus esfuerzos en las etapas donde las herramientas como 5S y SMED tendrían mayor impacto. De esta forma, se estableció un punto de partida estructurado para la implementación de acciones orientadas a la optimización de tiempos, la mejora del entorno de trabajo y el aumento de la calidad del producto final.

Figura 10

Diagrama SIPOC

PLANTILLA DE DIAGRAMA SIPOC - ÁREA ANTIRREFLEJO									
S	**SUPPLIERS** **PROVEEDORES** quién proporciona entrada a un proceso	**I**	**INPUT** **ENTRADA** recurso proporcionado por el proveedor para la incorporación al proceso	**P**	**PROCESS** **PROCESO** pasos realizados para convertir de entrada a salida	**O**	**OUTPUT** **SALIDA** recurso resultante desde el proceso	**C**	**CUSTOMER** **CLIENTE** receptor de salida creada
TÍTULO DEL PROCESO: Antirreflejo									
	Área de Laqueado		Lentes laqueados	1	Inspección cosmética de lentes		Lentes con recubrimiento antirreflejo conforme a especificaciones técnicas		Área de montaje y biselado
	Almacén de insumos		Insumos	2	Limpieza de lentes				Clientes finales (ópticas, distribuidores, consumidores)
	Proveedor de máquinas de antirreflejo		Máquina de antirreflejos	3	Montaje de lentes en sectores portalentes				
	Área de logística		Operador de máquina	4	Colocación de sectores con lentes en la máquina de antirreflejo				Área de packing
	Proveedor de insumos químicos		Documentación técnica	5	Selección de tipo de antirreflejo				
	Personal de mantenimiento		Parámetros de proceso (receta - tipo de antirreflejo)	6	Recubrimiento antirreflejo a los lentes				
	Área de calidad		Orden de trabajo	7	Desmontaje de lenres				
	Área de procesos			8	Control calidad final				

*Nota***.** La figura muestra el SIPOC de EssilorLuxottica Perú S. A. Tomado de EssilorLuxottica Perú S. A., 2024.

No obstante, es importante destacar que tanto el Takt Time como el SIPOC son herramientas de evaluación y diagnóstico. La implementación efectiva de mejoras requiere la aplicación de metodologías orientadas a la acción. En este sentido, se propone la implementación de SMED (Single-Minute Exchange of Die) y 5S como estrategias fundamentales para mejorar la productividad en el área de antirreflejo.

La metodología SMED se orienta a reducir los tiempos de cambio de lote, transformando actividades internas (realizadas con la máquina detenida) en externas (realizadas mientras la máquina está en funcionamiento). Esto permite minimizar el tiempo de preparación, disminuir los tiempos de parada y aumentar la disponibilidad operativa del equipo. La aplicación de SMED es especialmente relevante en el contexto actual, dado que los tiempos de cambio identificados superan ampliamente el estándar aceptable para procesos optimizados.

Condiciones Iniciales del Proceso

Para comprender el comportamiento operativo del área de recubrimiento antirreflejo, fue necesario identificar las condiciones iniciales del proceso, es decir, los elementos estructurales y funcionales que delimitan su funcionamiento actual. Entre los factores más relevantes se encuentran los relacionados con los requerimientos técnicos, las condiciones del entorno productivo, la disponibilidad de recursos y la organización interna del flujo de materiales.

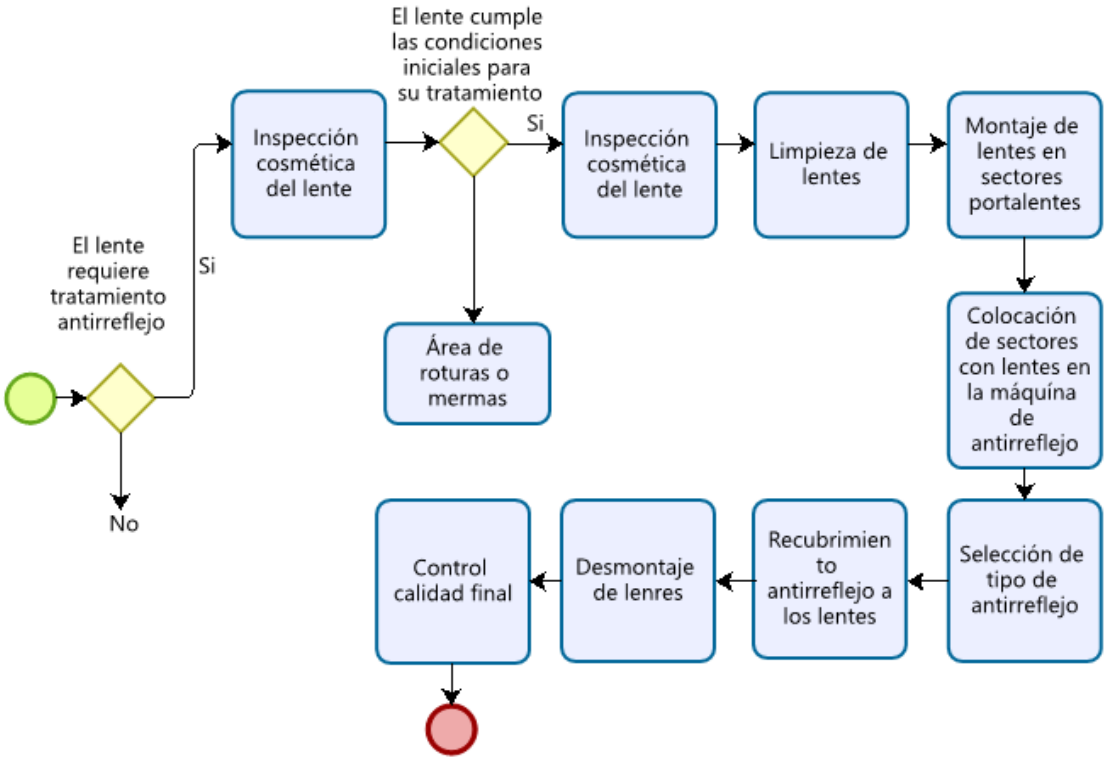
En ese sentido, se elaboró un flujograma general del proceso, el cual permite visualizar de manera secuencial las principales etapas involucradas en la aplicación del tratamiento antirreflejo sobre los lentes semiterminados. Esta representación facilita el análisis del desempeño en cada fase, y sirve como

punto de partida para identificar oportunidades de mejora, ordenar las funciones operativas y establecer acciones orientadas a la eficiencia.

Como se observa en la Figura 11, el proceso de tratamiento antirreflejo inicia con la inspección cosmética del lente; si cumple con las condiciones, pasa por limpieza, montaje en portadores y colocación en la máquina, donde se define el tipo de recubrimiento y se aplica el tratamiento antirreflejo. Finalmente, los lentes son desmontados y sometidos a un control de calidad, mientras que aquellos que no cumplen en alguna etapa son derivados a reproceso o descartados como mermas.

Figura 11

Diagrama del proceso de tratamiento antirreflejo



Nota. La figura muestra el diagrama del proceso de tratamiento antirreflejo de EssilorLuxottica Perú S. A. Tomado de EssilorLuxottica Perú S. A., 2024.

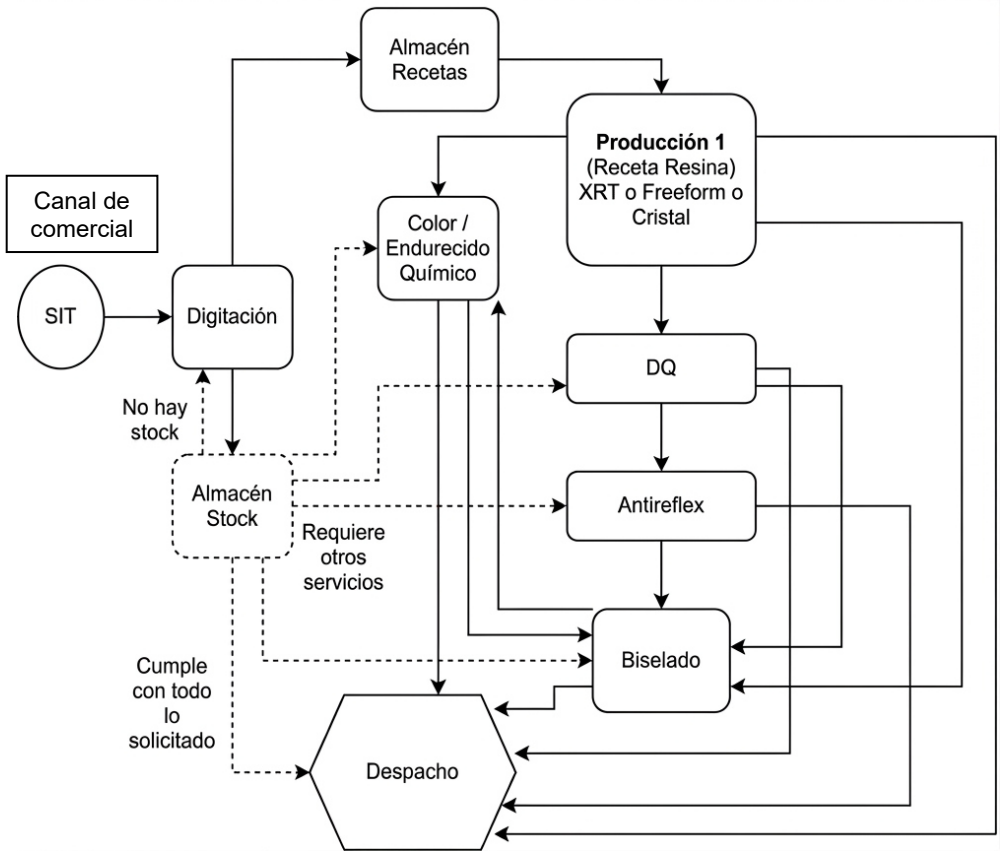
El siguiente diagrama ilustra de manera integral el flujo del proceso de fabricación de lentes oftálmicos, desde la etapa inicial de comercialización hasta

la entrega final en el área de despacho. En él se representan las distintas fases del sistema productivo, incluyendo el almacenamiento de recetas, digitación de pedidos, tratamientos químicos, producción, control de calidad y servicios adicionales como el recubrimiento antirreflejo y el biselado.

Esta representación gráfica permite visualizar la secuencia lógica de operaciones, los posibles desvíos por falta de stock o requerimientos especiales, y los criterios que determinan el avance del producto hacia el despacho. Su análisis resulta clave para identificar puntos críticos, cuellos de botella y oportunidades de mejora en la gestión del flujo de trabajo.

Figura 12

Diagrama de la fabricación de lentes oftálmicos



Nota. La figura muestra el diagrama de la fabricación de lentes oftálmicos de EssilorLuxottica Perú S. A. Tomado de EssilorLuxottica Perú S. A., 2024.

4.4. Descripción del proceso de recubrimiento antirreflejo

El proceso de recubrimiento antirreflejo constituye una etapa crítica en la fabricación de lentes oftálmicos, cuyo objetivo es garantizar una mayor transmisión de la luz, reducir reflejos superficiales y mejorar la calidad visual percibida por el usuario. A continuación, se describe detalladamente cada fase del flujo operativo, considerando tanto los aspectos técnicos como los controles de calidad implementados:

Recepción e inspección inicial del lente

- Los lentes son recibidos desde el área de laqueado o de la etapa anterior.
- Se realiza una inspección cosmética preliminar para identificar rayas, golpes o defectos visibles.
- En caso de no cumplir con las condiciones mínimas, los lentes se trasladan al área de mermas para su descarte o reproceso.

Limpieza de lentes

- Se eliminan partículas, residuos y grasas mediante baños ultrasónicos y soluciones químicas especializadas.
- Esta etapa asegura la correcta adherencia de las capas antirreflejo.
- El proceso incluye secado con aire filtrado para evitar contaminaciones posteriores.

Montaje de lentes en soportes portantes

- Los lentes se colocan en sectores portantes, garantizando su fijación y estabilidad durante el recubrimiento.
- Se verifican las condiciones de sujeción para evitar movimientos o contactos indeseados que puedan generar defectos.

Colocación en la cámara de recubrimiento

- Los soportes con lentes son insertados en la máquina de recubrimiento antirreflejo (AR Coater).
- Se selecciona la receta técnica correspondiente según el tipo de lente y requerimientos del cliente.
- Se establece el vacío dentro de la cámara para crear un ambiente controlado libre de impurezas.

Aplicación del tratamiento antirreflejo

- Se realiza el depósito multicapa mediante técnicas de evaporación al vacío o sputtering.
- Se controlan rigurosamente parámetros como presión, temperatura, tiempo y velocidad de deposición.
- El objetivo es obtener una capa uniforme, transparente y con alta resistencia al desgaste.

Desmontaje de lentes

- Finalizado el proceso, se retiran cuidadosamente los lentes de los soportes.

- Se utilizan guantes y herramientas especiales para prevenir rayaduras o golpes.

Inspección final de calidad

- Se lleva a cabo un control visual exhaustivo para detectar rayas, manchas, partículas o desprendimiento de capas.
- Se realizan pruebas ópticas complementarias para confirmar la eficacia del recubrimiento.
- Los resultados son registrados en formatos de control de calidad para trazabilidad.

Empaquetado y transferencia

- Los lentes conformes se colocan en bandejas o embalajes estandarizados que protegen su superficie.
- Son enviados al área de biselado y montaje, o directamente al cliente según el flujo de producción.

Este procedimiento estructurado asegura la obtención de lentes con características óptimas, reduciendo el riesgo de devoluciones y fortaleciendo el cumplimiento de estándares de calidad internacionales.

4.5. Implementación de las herramientas Lean Manufacturing

4.5.1. Implementación de la metodología 5S

Con el fin de implementar de manera efectiva la metodología 5S en el área de recubrimiento antirreflejo, se inició un proceso de sensibilización dirigido a todo el personal involucrado. Este enfoque fue fundamental para asegurar que desde la

alta dirección hasta los operarios comprendieran los beneficios y la importancia de adoptar esta filosofía de mejora continua en la gestión de la planta.

El primer paso consistió en la sensibilización del equipo, a través de sesiones informativas y talleres donde se explicaron los principios de las 5S, los objetivos de la implementación y su impacto positivo en la eficiencia, la calidad y la productividad.

Para garantizar la adecuada coordinación, se dividió la planta por sectores con el responsable de cada sector, se muestra el listado de sectores en la Tabla 13,

Tabla 13

Sectores 5S

SECTOR	ÁREA	RESPONSABLE DE SECTOR
SECTOR 1	Despacho / Control Documentario	Guido Bazaldúa
SECTOR 2	Lentes de Contacto	Deivy Paredes
SECTOR 3	Ecommerce / Wholesale / Devoluciones	Lourdes Manrique
SECTOR 4	Almacén Monturas	Juan Guzmán
SECTOR 5	Consumibles y Suministros	Juan Carlos Villcas
SECTOR 6	Frame Received / Picking Lenses	Christian Chiscul
SECTOR 7	Corte y Montaje / Mailed Out	José Martínez
SECTOR 8	Mantenimiento / Patio Sur	Ayrton Bernuy
SECTOR 9	Sala Limpia	Elvio Isidro
SECTOR 10	Freeform / Coloreado	Luis Caballero
SECTOR 11	Digitación / Oficina Soporte	Oliver Alberca
SECTOR 12	Oficina Administrativos	Piero Santamaría
SECTOR 13	Entrada / comedor / vestuarios	David Pantoja

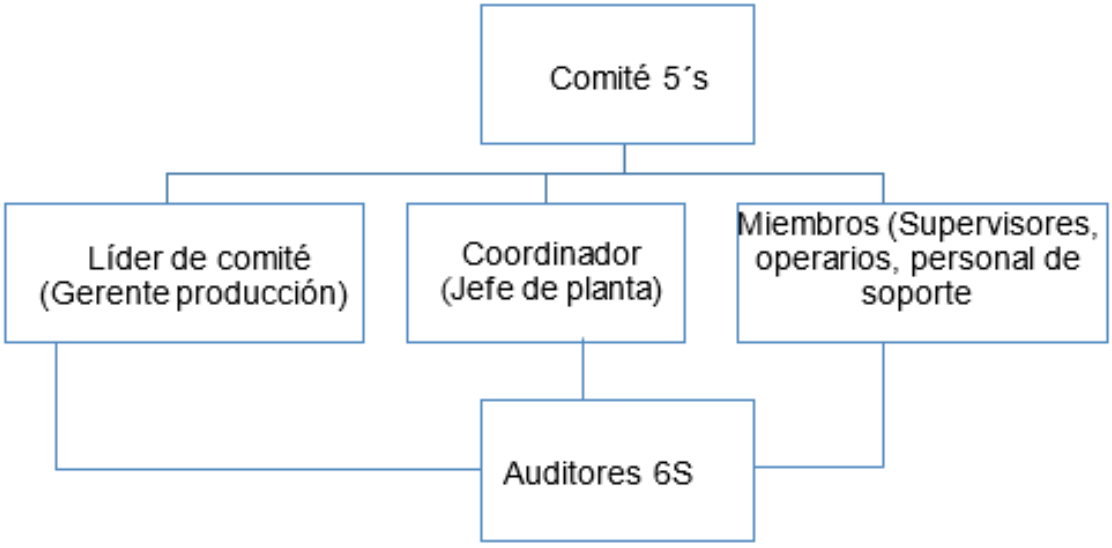
Nota. La tabla muestra los sectores 5S, donde se realizan las implementaciones tomado de EssilorLuxottica Perú S. A. Tomado de EssilorLuxottica Perú S. A., 2024.

se conformó un Comité de 5S, integrado por supervisores, jefes de área y representantes de los operarios, así mismo se definió un equipo de auditores 5s,

que serían los responsables de hacer las auditorías, cuya estructura se presenta en la Figura 13.

Figura 13

Comité de implementación de las 5S en el área de recubrimiento antirreflejo



Nota. Elaboración propia a partir de la planificación de implementación de la metodología 5S en EssilorLuxottica Perú S.A. (2024).

Adicionalmente, los líderes del proyecto recibieron una capacitación más exhaustiva, orientada a dotarlos de las herramientas necesarias para guiar y asesorar al resto del equipo. Se fomentó una cultura de empoderamiento y participación, involucrando a los operarios en la toma de decisiones y en la resolución de problemas relacionados con la metodología. Para ello, se establecieron reuniones periódicas, esquemas de reconocimiento y un sistema de sugerencias que permitió recoger propuestas de mejora, así como brindar retroalimentación sobre el desempeño individual y colectivo.

Se implementaron también medidas de motivación como descansos organizados, refrigerios colectivos y apoyo en actividades vinculadas al desarrollo laboral. Estas acciones incrementaron el sentido de pertenencia y compromiso del personal con el proyecto.

Con el objetivo de asegurar la sostenibilidad de la implementación, se fundamentó un sistema de evaluación y monitoreo, a través de auditorías de 5S realizadas a los dos meses de iniciado el programa. Dichas auditorías permitieron medir el progreso, identificar áreas de mejora y establecer planes de acción correctivos, consolidando así la metodología dentro del área de recubrimiento antirreflejo.

Fase Seiri (Clasificar)

En la fase de Seiri, aplicada en el área de recubrimiento antirreflejo, se desarrollaron las siguientes acciones:

- **Identificación de elementos**
    - Inspección exhaustiva de todas las herramientas, materiales y accesorios del área.
    - Registro fotográfico de las estaciones de trabajo.
    - Elaboración de un inventario de los elementos encontrados en las cabinas y mesas de apoyo.
- **Criterios de clasificación**
    - Herramientas que no fueron utilizadas en los últimos seis meses.
    - Accesorios con daños irreparables o sin condiciones de uso.

- Elementos que no corresponden al proceso de recubrimiento antirreflejo.

- **Proceso de clasificación**
  - Se utilizó un sistema de etiquetas de colores para identificar el destino de cada elemento:
    - Etiqueta verde: elementos útiles y en uso activo.
    - Etiqueta roja: elementos obsoletos para descartar.
    - Etiqueta amarilla: elementos en evaluación para definir su reutilización o eliminación.

- **Acciones específicas**
  - Retiro de ocho herramientas obsoletas etiquetadas en rojo.
  - Liberación de aproximadamente 2 m² en el área de preparación de lentes.
  - Reubicación de las herramientas y materiales útiles, previamente etiquetados en verde, en lugares asignados y organizados.

- **Documentación**
  - Elaboración de un informe detallado del proceso.
  - Registro de los elementos eliminados y de los que quedaron en evaluación.
  - Actualización del inventario de herramientas del área de recubrimiento antirreflejo.

Como resultado, se evidenció una mejora en la eficiencia del espacio de trabajo, la reducción de elementos innecesarios y la optimización del flujo operativo, lo cual se observa en la Figura 14.

Figura 14

Resultados de la fase Seiri (Clasificar) en el área de recubrimiento antirreflejo

Antes	Después
	
	
	
Área de almacén de insumos químicos y materiales de Antirreflejo	

*Nota***.** La figura muestra el antes y después de la implementación de las 5S. Tomado de EssilorLuxottica Perú S.A. (2024).

Fase Seiton (Ordenar)

Durante Seiton, se implementaron las siguientes estrategias de organización:

- **Zonificación:**
    - Área de bobinas: Estantería designada con separadores por tipo y tamaño
    - Zona de tintas: Rack específico con clasificación por color y viscosidad
    - Espacio de herramientas: Panel *organizador con siluetas y código de colores*
- **Marcación:**
    - Identificación visual de cada herramienta
    - Señalización de rutas de acceso
- **Resultados Cuantitativos:**
    - Reducción de tiempos de búsqueda: 65%
    - Disminución de movimientos innecesarios: 48%
- **Sistema de Control:**
    - Registro digital de ubicaciones.
    - Protocolo de reposición inmediata.
    - Responsable de mantenimiento del orden.

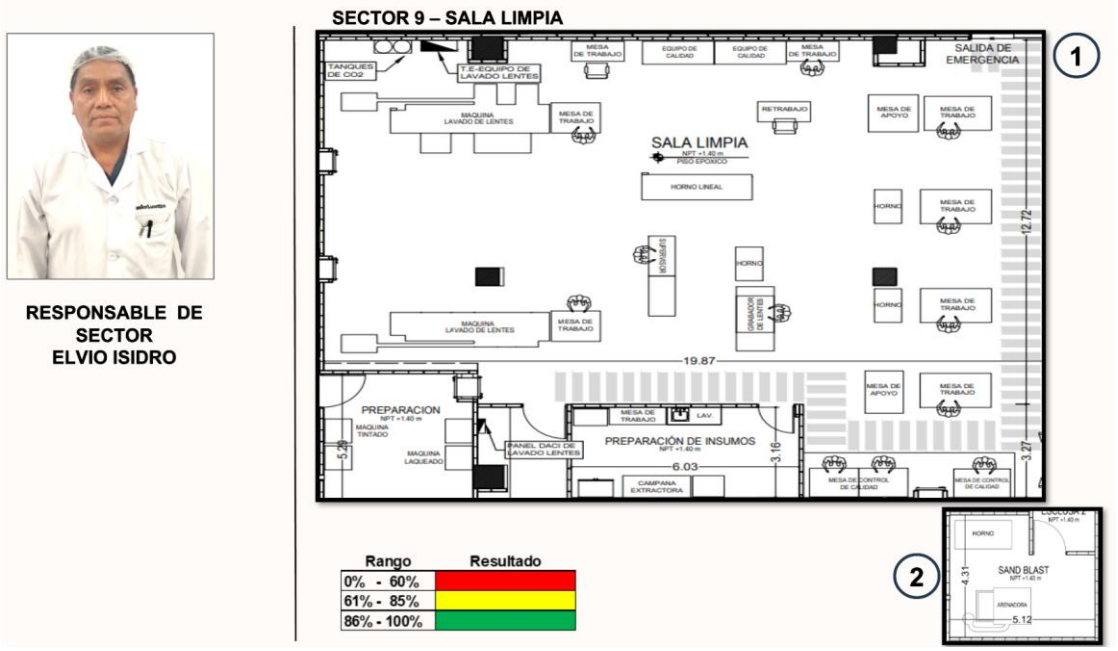
Además permitió bajo el layout presentar una distribución industrial completa que abarca las áreas principales codificadas por colores, para la

distribución por zonificación detallada en espacios específicos para el almacenamiento de materiales, zonas de trabajo, control de calidad y herramientas, además de un sistema de flujos de trabajo marcado con flechas que indican el movimiento de materiales y las rutas principales entre las diferentes áreas.

También incorpora elementos del sistema 5S con puntos de control visual, zonas de almacenamiento marcadas, áreas designadas para herramientas y señalización clara en toda la instalación (Figura 15).

Figura 15

Layout del área de Antirreflejo en la empresa



Nota. La figura muestra el layout para a la implementación de las 5S Tomado de EssilorLuxottica Perú S.A. (2024).

La reorganización optimizó significativamente la eficiencia operativa, reduciendo significativamente los tiempos de búsqueda y movimiento; bajo la siguiente figura:

Figura 16

Resultados de la fase Seiton (Ordenar) en el área de recubrimiento antirreflejo

Antes	Después
	

*Nota***.** La figura muestra el antes y después de la implementación de las 5S. Tomado de EssilorLuxottica Perú S.A. (2024).

En la fase de Seiso (Limpiar), se implementaron protocolos específicos de limpieza para optimizar el rendimiento de los equipos utilizados en el área de recubrimiento antirreflejo.

Para las máquinas de recubrimiento, se estableció un plan diario de limpieza que incluyó la descontaminación de las cámaras de vacío, la eliminación de residuos de laca y partículas acumuladas, así como la revisión y lubricación de componentes críticos. El personal operativo fue capacitado para realizar tanto inspecciones visuales como limpiezas profundas al inicio y final de cada turno, con el fin de garantizar un entorno controlado y libre de agentes que pudieran afectar la calidad del recubrimiento.

En las áreas de preparación y manipulación de lentes, se desarrollaron rutinas de limpieza que abarcaron los soportes portantes, bandejas de transporte, filtros de aire y mesas de trabajo. Se emplearon solventes y herramientas específicas

para evitar daños a las superficies de los lentes y preservar la integridad de los equipos.

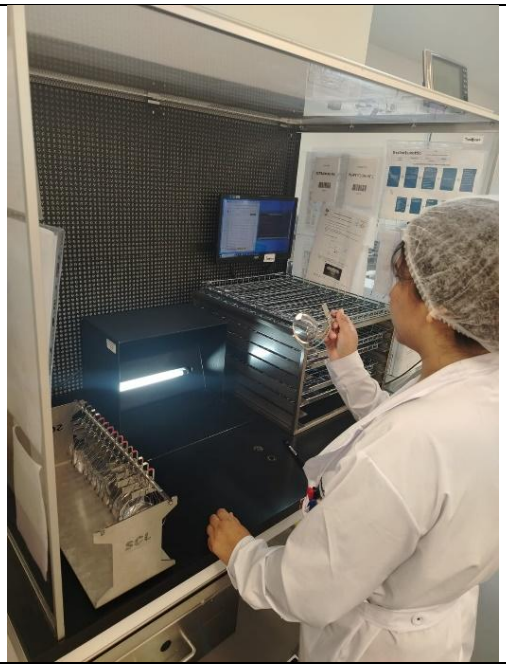
Adicionalmente, se implementó un sistema de registro y control, presentado en el Anexo 6, donde los operarios documentaron la fecha de limpieza, los componentes intervenidos, el estado de los equipos y observaciones técnicas bajo la supervisión de control de calidad. Este sistema permitió asegurar la trazabilidad de las acciones realizadas y fomentar la responsabilidad del personal involucrado.

Como resultado, se observó una mejora significativa en la calidad del recubrimiento, una reducción de los defectos asociados a la contaminación (como manchas y partículas) y un aumento en la estabilidad operativa de los equipos.

Figura 17

Resultados de la fase Seiso (Limpieza) en el área de recubrimiento antirreflejo

Antes	**Después**
	
Área de producción	

Antes	Después
	
Área inspección inicial	

*Nota***.** La figura muestra el antes y después de la implementación de las 5S. Tomado de EssilorLuxottica Perú S.A. (2024).

Fase Seiketsu (Estandarizar)

En la fase de Seiketsu, se elaboraron manuales técnicos específicos para el área de recubrimiento antirreflejo, los cuales incluyeron procedimientos estandarizados de operación, mantenimiento preventivo y protocolos de actuación frente a fallas. Estos documentos, desarrollados bajo el enfoque de registro y control (Anexo 6), permitieron asegurar la uniformidad en la ejecución de las tareas, reducir la variabilidad de resultados y facilitar la capacitación de nuevo personal.

Fase Shitsuke (Disciplina)

En cuanto a la fase de Shitsuke, se instauró un sistema de auditorías internas con una frecuencia mensual, cuyo objetivo fue evaluar el cumplimiento de los

procedimientos establecidos. Cada auditoría generó un informe detallado con los hallazgos, la puntuación de desempeño y la definición de planes de mejora. Asimismo, se implementó un programa de capacitación continua que incluyó entrenamientos técnicos especializados en el manejo de equipos de recubrimiento, protocolos de limpieza y control de calidad, junto con evaluaciones periódicas de desempeño del personal (Figura 18).

Gracias a estas acciones, se consolidó una cultura de disciplina y mejora continua en el área de recubrimiento antirreflejo, asegurando la sostenibilidad de las prácticas implementadas y el alineamiento con los estándares de calidad de la organización.

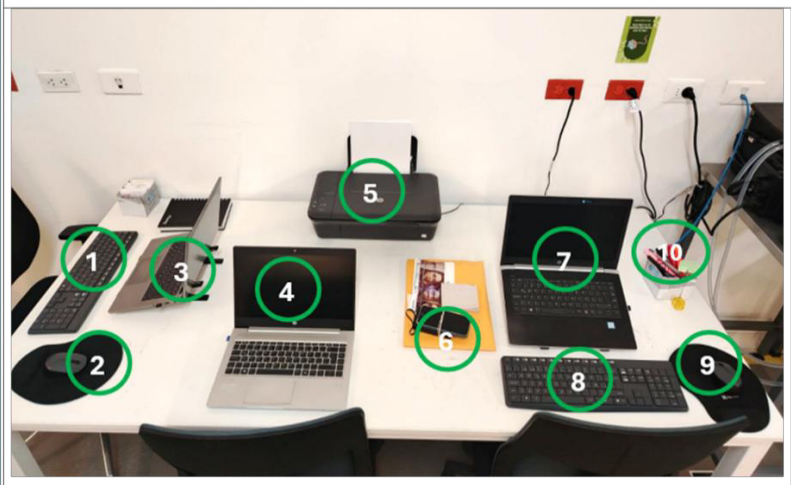
Figura 18

Resultados de la fase Seiketsu y Shitsuke (Estandarizar y Disciplina) en el área de recubrimiento antirreflejo.

Antes

Después

Estándar visual – mesa de trabajo



1	Teclado	6	Documentos
2	Mouse	7	Laptop
3	Laptop	8	Teclado
4	Laptop	9	Mouse
5	Impresora	10	Portalapiceros

*Nota***.** La figura muestra el antes y después de la implementación de las 5S. Tomado de EssilorLuxottica Perú S.A. (2024).

En la primera auditoría se evidenció que únicamente un sector alcanzó el nivel de aprobación, mientras que los demás presentaron observaciones y necesidad de mejoras. En el caso específico de nuestro estudio, correspondiente al sector 9 (área de tratamiento), se obtuvo un puntaje de 75 %, lo que motivó la elaboración e implementación de un plan de acciones correctivas orientadas a optimizar dicho resultado.

En la segunda evaluación, el área de tratamiento alcanzó un puntaje de 85 %, posicionándose en el segundo lugar entre todos los sectores evaluados. Este avance, equivalente a una mejora de 10 puntos porcentuales respecto a la primera auditoría, evidencia la efectividad de las acciones implementadas y el compromiso del personal en la consolidación de la metodología 5S.

Tabla 14

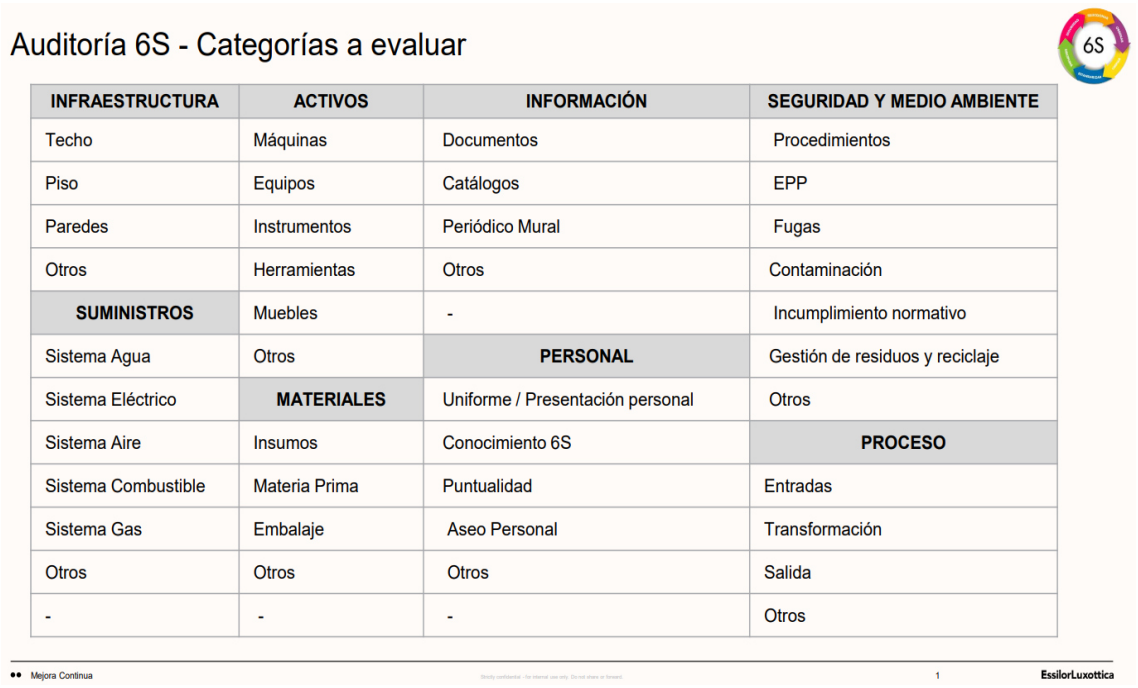
Resultados de la primera auditoría 5S

SECTOR	ÁREA	RESPONSABLE DE SECTOR	RESULTADO 1° AUDITORÍA
SECTOR 5	Consumibles y Suministros	Juan Carlos Villcas	92%
SECTOR 2	Lentes de Contacto	Deivy Paredes	86%
SECTOR 1	Despacho / Control Documentario	Guido Bazaldúa	80%
SECTOR 3	Ecommerce / Wholesale / Devoluciones	Lourdes Manrique	78%
SECTOR 13	Entrada / comedor / vestuarios	David Pantoja	77%
SECTOR 9	Sala Limpia	Elvio Isidro	75%
SECTOR 12	Oficina Administrativos	Piero Santamaría	74%
SECTOR 11	Digitación / Oficina Soporte	Oliver Alberca	74%
SECTOR 6	Frame Received / Picking Lenses	Christian Chiscul	72%
SECTOR 8	Mantenimiento / Patio Sur	Ayrton Bernuy	71%
SECTOR 7	Corte y Montaje / Mailed Out	José Martínez	70%
SECTOR 10	Freeform / Coloreado	Luis Caballero	68%
SECTOR 4	Almacén Monturas	Juan Guzmán	61%

*Nota***.** La tabla el resultado de la primera auditoría 5S. Tomado de EssilorLuxottica Perú S.A. (2024).

Tabla 15

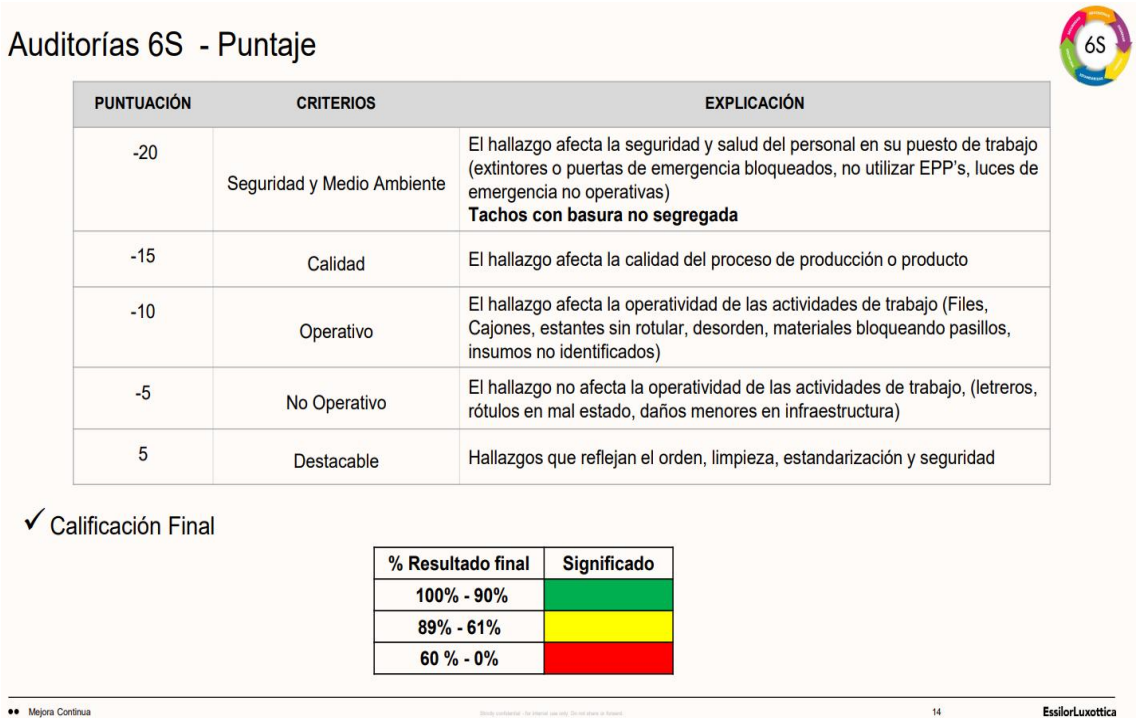
Criterios para auditoria 5S + seguridad



Auditoría 6S - Categorías a evaluar

INFRAESTRUCTURA	ACTIVOS	INFORMACIÓN	SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE
Techo	Máquinas	Documentos	Procedimientos
Piso	Equipos	Catálogos	EPP
Paredes	Instrumentos	Periódico Mural	Fugas
Otros	Herramientas	Otros	Contaminación
SUMINISTROS	Muebles	-	Incumplimiento normativo
Sistema Agua	Otros	**PERSONAL**	Gestión de residuos y reciclaje
Sistema Eléctrico	**MATERIALES**	Uniforme / Presentación personal	Otros
Sistema Aire	Insumos	Conocimiento 6S	**PROCESO**
Sistema Combustible	Materia Prima	Puntualidad	Entradas
Sistema Gas	Embalaje	Aseo Personal	Transformación
Otros	Otros	Otros	Salida
-	-	-	Otros

Mejora Continua 1 EssilorLuxottica



Auditorías 6S - Puntaje

PUNTUACIÓN	CRITERIOS	EXPLICACIÓN
-20	Seguridad y Medio Ambiente	El hallazgo afecta la seguridad y salud del personal en su puesto de trabajo (extintores o puertas de emergencia bloqueados, no utilizar EPP's, luces de emergencia no operativas) **Tachos con basura no segregada**
-15	Calidad	El hallazgo afecta la calidad del proceso de producción o producto
-10	Operativo	El hallazgo afecta la operatividad de las actividades de trabajo (Files, Cajones, estantes sin rotular, desorden, materiales bloqueando pasillos, insumos no identificados)
-5	No Operativo	El hallazgo no afecta la operatividad de las actividades de trabajo, (letreros, rótulos en mal estado, daños menores en infraestructura)
5	Destacable	Hallazgos que reflejan el orden, limpieza, estandarización y seguridad

✓ Calificación Final

% Resultado final	Significado
100% - 90%	
89% - 61%	
60 % - 0%	

Mejora Continua 14 EssilorLuxottica

*Nota***.** La tabla muestra los criterios que se usa para la auditoría 5S + seguridad. Tomado de EssilorLuxottica Perú S.A. (2024).

4.5.2. Implementación de la metodología SMED

Para la implementación de la metodología SMED (Single-Minute Exchange of Die) en el área de recubrimiento antirreflejo, se diseñó un plan estructurado en

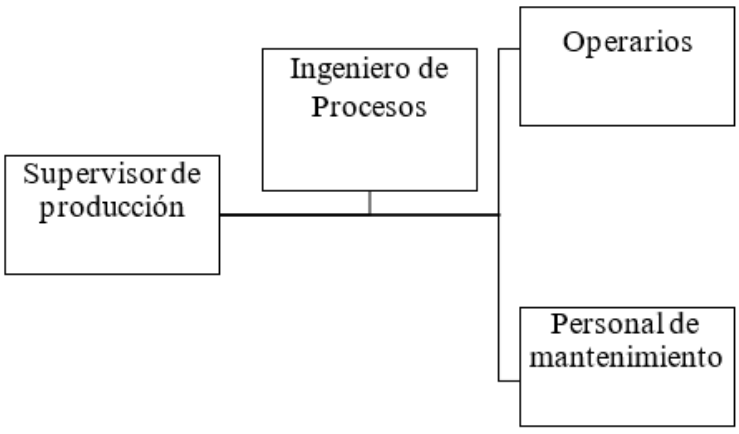
fases secuenciales con el fin de abordar el principal problema identificado: los elevados tiempos requeridos para efectuar cambios de lote. El objetivo de este enfoque fue reducir de manera significativa los tiempos improductivos, optimizar la disponibilidad operativa de la maquinaria y, en consecuencia, incrementar la capacidad productiva del área.

Fase preliminar: conformación del equipo y análisis inicial

En una primera etapa, se conformó un equipo multidisciplinario integrado por operarios del área de recubrimiento antirreflejo, supervisores de producción, ingeniero de procesos y personal de mantenimiento (Figura 19). Dicho equipo realizó un análisis exhaustivo y documentó de manera detallada el proceso actual, utilizando herramientas como grabaciones en video, cronometraje, fichas de observación y entrevistas al personal operativo.

Figura 19

Equipo de trabajo para la implementación de SMED



*Nota***.** Representación del grupo conformado para liderar implementación de SMED. Elaboración propia.

Fase 1. Diagnóstico y separación de operaciones

En la fase inicial del estudio, se llevó a cabo un registro minucioso y una clasificación detallada de cada uno de los movimientos ejecutados por el personal operativo, así como de las herramientas, insumos y recursos empleados en cada tarea. Del mismo modo, se documentaron cuidadosamente las pausas no planificadas, los tiempos de espera y todas aquellas interrupciones que afectaban la continuidad del flujo operativo. Esta labor de levantamiento de información permitió disponer de una visión integral del proceso real, más allá de lo establecido en los procedimientos estándar, reflejando de manera precisa las dinámicas y variaciones presentes en las operaciones diarias.

A partir de estos datos, se procedió a una clasificación funcional de las actividades en dos grandes categorías operativas. En primer lugar, se definieron las operaciones internas, entendidas como aquellas que necesariamente deben ejecutarse con la máquina detenida, entre las que destacan el desmontaje de soportes portantes, la calibración y ajuste de parámetros de vacío, así como la limpieza interna de la cámara de recubrimiento antirreflejo. En segundo lugar, se identificaron las operaciones externas, que corresponden a aquellas actividades que pueden realizarse mientras la máquina permanece en funcionamiento, tales como la preparación y verificación de la receta técnica, el alistamiento de insumos y materiales, o la inspección visual preliminar de los soportes antes del montaje.

Esta diferenciación resultó esencial para detectar oportunidades de mejora orientadas a la conversión de operaciones internas en externas, lo cual

representa un paso fundamental dentro de la metodología SMED para reducir los tiempos improductivos. Gracias a esta estrategia, se busca que el entorno de trabajo, los materiales y las herramientas estén completamente listos antes de detener el equipo, optimizando así la disponibilidad operativa y minimizando pérdidas de tiempo.

Como resultado de este análisis detallado, se elaboró un Diagrama de Análisis del Proceso (DAP), en el que se desglosaron de manera secuencial las 14 etapas principales que conforman el cambio de lote, identificando de forma precisa las actividades críticas que influyen directamente en la duración total de la operación (Tabla 14).

Tabla 16

DAP (Diagrama de Análisis de Proceso) del área de antirreflejo

Proceso de Antirreflejo								
Unidad de flujo:			**Operación**	**Inspección**	**Movimiento Traslado**	**Espera**	**¿Agrega valor?**	**Moda**
	Descripción de actividades	**Resp.**					**Valor si/no**	**(min)**
1	Recepción e inspección inicial del lente	Operario						
2	Dirigirse al horno de desgasificación y retirar las bandejas metálicas con lentes.	Operario			x		Si	1
3	Trasladar las bandejas a la mesa de trabajo ubicada en una cabina de flujo laminar.	Operario			x		Si	1
4	Realizar inspección cosmética preliminar para identificar rayas, golpes o defectos visibles.	Operario		x			Si	6
5	Traslado a área de mermas para descarte o reproceso si no cumple condiciones mínimas.	Operario			x		No	3
6	Limpieza de lentes	Operario						
7	Eliminación de partículas, residuos y grasas mediante paños y alcohol	Operario	x				Si	4,5
8	Secado con aire filtrado para evitar contaminación.	Operario	x				Si	3

9	Montaje de lentes en soportes portantes Lado CX	Operario						2
10	Colocación de lentes en sectores portantes para fijación y estabilidad.	Operario	x				Si	3
11	Verificación de sujeción para prevenir movimientos o contactos indeseados.	Operario		x			Si	0,5
12	Preparación de máquina y materiales	Operario						
13	Retirar el lote anterior de la máquina en caso de no iniciar desde cero.	Operario	x				No	2
14	Limpieza de la máquina AR Coater con aspiradora para eliminar polvo y partículas.	Operario	x				Si	1
15	Retiro de piezas sucias o contaminadas.	Operario	x				Si	2
16	Preparación y verificación de los materiales de la receta de antirreflejo a utilizar, principalmente óxidos metálicos.	Operario	x				Si	3
17	Colocación en la cámara de recubrimiento lado convexo del lente	Operario						
18	Inserción de soportes con lentes en la máquina AR Coater.	Operario	x				Si	0,5
19	Selección de receta técnica según tipo de lente y requerimiento del cliente.	Operario	x				Si	0,5
20	revisión de vida útil de cuarzo	Operario		x			No	0,5
21	Cambio de cuarzo	Operario	x				Si	0,5
22	revisión de vida útil de filamento	Operario		x			No	0,5
23	Cambio de filamento	Operario	x				Si	0,5
24	Aplicación del tratamiento antirreflejo	Operario						
25	Depósito multicapa mediante evaporación al vacío o sputtering.	Máquina	x				Si	35
26	Desmontaje de lentes procesado por una cara	Operario						
27	Retiro cuidadoso de lentes de los soportes.	Operario	x				Si	1
	Espera de la máquina a que el operario voltee todos los lentes para segunda cara de proceso	Operario				x	No	15
29	Montaje de lentes en soportes portantes para proceso de segunda cara, lado cóncavo	Operario						
30	Colocación de lentes en sectores portantes para fijación y estabilidad.	Operario	x				Si	3
31	Verificación de sujeción para prevenir movimientos o contactos indeseados.	Operario		x			Si	0,5
32	Preparación de máquina y materiales	Operario						
34	Limpieza de la máquina AR Coater con aspiradora para eliminar polvo y partículas.	Operario	x				Si	1
35	Retiro de piezas sucias o contaminadas.	Operario	x				Si	2
36	Preparación y verificación de los materiales de la receta de antirreflejo a utilizar, principalmente óxidos metálicos.	Operario	x				Si	3
37	Colocación en la cámara de recubrimiento lado cóncavo del lente	Operario						
38	Inserción de soportes con lentes en la máquina AR Coater.	Operario	x				Si	0,5
39	Selección de receta técnica según tipo de lente y requerimiento del cliente.	Operario	x				Si	0,5
40	revisión de vida útil de cuarzo	Operario		x			No	0,5
41	Cambio de cuarzo	Operario	x				Si	0,5
42	revisión de vida útil de filamento	Operario		x			No	0,5

43	Cambio de filamento	Operario	x				Si	0,5
44	Aplicación del tratamiento antirreflejo	Operario						
45	Depósito multicapa mediante evaporación al vacío o sputtering.	Máquina	x				Si	40
46	Desmontaje de lentes procesado por una cara	Operario						
47	Retiro cuidadoso de lentes de los soportes.	Operario	x				Si	1
49	Inspección final de calidad del lente procesado ambas caras	Operario						
50	Control visual para detectar defectos (rayas, manchas, desprendimientos).	Operario		x			Si	6
51	Pruebas ópticas complementarias.	Operario	x				Si	6
52	Registro de resultados en formatos de control de calidad.	Operario	x				Si	2
53	Empaquetado y transferencia	Operario						
54	Colocación en bandejas o embalajes estandarizados.	Operario	x				Si	1,5
55	Envío al área de biselado y montaje o directamente al cliente.	Operario			x		Si	2
		TOTAL	26	8	4	1	**Min**	**157**
							Hora	**2,62**

*Nota***.** Diagrama de análisis de proceso (DAP) del área de antirreflejo. Elaboración propia (2024).

Durante esta etapa se documentaron de manera detallada todos los movimientos ejecutados por el personal, las herramientas empleadas, los tiempos muertos y las interrupciones que afectaban la continuidad del flujo operativo. Posteriormente, las actividades fueron clasificadas en dos categorías clave:

Operaciones internas: aquellas que deben ejecutarse con la máquina detenida, como el desmontaje de soportes, el ajuste de parámetros de vacío o la limpieza de la cámara de recubrimiento.

Operaciones externas: aquellas que pueden realizarse mientras la máquina permanece en funcionamiento, como la preparación de la receta técnica, el alistamiento de insumos o la inspección visual de los soportes portantes.

Esta clasificación permitió identificar oportunidades para transformar operaciones internas en externas, reduciendo así los tiempos improductivos y

garantizando que el entorno de trabajo se encuentre completamente preparado antes de detener el equipo.

Como resultado del análisis, se elaboró un Diagrama de Análisis del Proceso (DAP) que detalla las etapas involucradas en el cambio de lote, identificando un total de 14 etapas y 38 subetapas críticos. El tiempo promedio requerido para producir un lote de 180 lentes asciende a 157 minutos, lo que, considerando una jornada productiva neta de 1 305 minutos (equivalente a tres turnos de ocho horas con 45 minutos de refrigerio por turno).

Este análisis evidenció la necesidad de optimizar los procedimientos y reducir los tiempos improductivos, ya que una mejor organización podría aumentar la productividad por jornada y mejorar la disponibilidad operativa del equipo.

Con el fin de identificar los principales cuellos de botella del área de recubrimiento antirreflejo, se descompuso el proceso de cambio de lote en sus diferentes etapas operativas, considerando tiempos y actividades según el Diagrama de Análisis de Proceso (DAP).

Tabla 17

Etapas operativas del cambio de lote en el recubrimiento antirreflejo

N.º	Etapas	Actividades incluidas (según DAP)	Tiempo total (min)
1	Recepción e inspección inicial	1, 2, 3, 4, 5	11
2	Limpieza inicial de lentes	6, 7, 8	7,5
3	Montaje de lentes en soportes (lado convexo)	9, 10, 11	5,5
4	Preparación y limpieza de máquina (1ª cara)	12, 13, 14, 15, 16	8
5	Carga de soportes en máquina y configuración	17, 18, 19, 20, 21, 22, 23	3
6	Recubrimiento antirreflejo 1ª cara	24, 25	35
7	Desmontaje de lentes y volteo	26, 27, 28	16
8	Montaje de lentes en soportes (lado cóncavo)	29, 30, 31	5,5

N.º	Etapas	Actividades incluidas (según DAP)	Tiempo total (min)
9	Preparación y limpieza de máquina (2ª cara)	32, 34, 35, 36	6
10	Carga de soportes en máquina y configuración	37, 38, 39, 40, 41, 42, 43	3
11	Recubrimiento antirreflejo 2ª cara	44, 45	40
12	Desmontaje de lentes	46, 47	1
13	Inspección final de calidad	49, 50, 51, 52	16
14	Empaquetado y transferencia	53, 54, 55	3,5
Tiempo total: 157 minutos (2.62 horas)			

*Nota***.** Etapas operativas del cambio de lote en el área de recubrimiento antirreflejo, elaboradas a partir del DAP del proceso. Elaboración propia (2024).

Como se aprecia en la Tabla 15, el cambio de lote demanda un tiempo total de 157 minutos, de los cuales las etapas de recubrimiento de ambas caras concentran el 48 % del total, mientras que la inspección final de calidad y el volteo de lentes representan el 20 % adicional. Este desglose evidencia que gran parte del tiempo se consume en actividades críticas, lo que reduce la disponibilidad del equipo y limita la capacidad productiva.

Una vez identificados los tiempos de operación, se analizó el desempeño productivo del área durante el primer semestre de 2024, considerando tanto la producción real como la merma generada en el proceso.

+

Tabla 18

Producción de lentes con antirreflejo durante el primer semestre del 2024

Producción 2024						
Mes	Días laborables	Horas por día	Horas por mes	Producción real	Merma (un)	Cantidad final (un)
Enero	26	21,75	565,50	38 792	2 331	36 461
Febrero	24	21,75	522,00	35 822	2 152	33 670

Marzo	27	21,75	587,25	37 345	2 017	35 328
Abril	26	21,75	565,50	38 822	2 331	36 490
Mayo	26	21,75	565,50	38 836	2 342	36 494
Junio	26	21,75	565,50	38 851	2 265	36 586
Julio	27	21,75	587,25	40 330	2 469	37 861
TOTAL	182	152	3 959	268 798	15 908	252 890

Nota. La tabla muestra la producción de lentes con antirreflejo de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos. Tomado de EssilorLuxottica del Perú S. A., 2024.

De acuerdo con la Tabla 16, entre enero y julio de 2024 se produjeron 268 798 lentes, de los cuales 15 908 fueron descartados como merma, obteniéndose un total de 252 890 lentes conformes. El nivel de desperdicio 5,92 %, constituye un factor crítico que impacta en la capacidad de respuesta frente a la demanda establecida.

Para evaluar el grado de cumplimiento de la demanda, se comparó la producción final conforme con las metas mensuales programadas para el área de recubrimiento antirreflejo.

Tabla 19

Producción del área de recubrimiento antirreflejo 2024 vs Demanda

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Demanda	41 000	41 000	41 000	41 000	41 000	41 000	41 000
Real 2024	36 461	33 670	35 328	36 490	36 494	36 586	37 861
Falta	4 539	7 330	5 672	4 510	4 506	4 414	3 139
Demanda acumulada				287 000			
Producción acumulad				252 890			
% cumplimiento				88,12%			

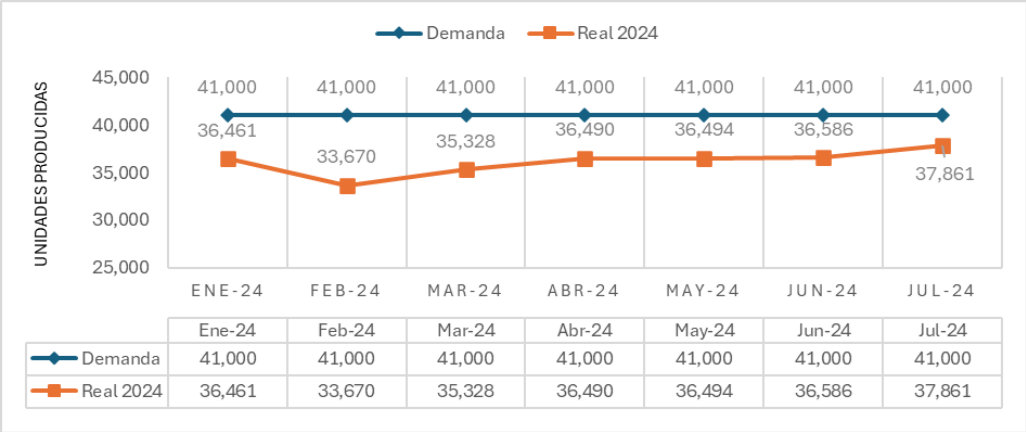
Nota. La tabla muestra la producción de lentes con antirreflejo de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos. Tomado de EssilorLuxottica del Perú S. A., 2024.

Tal como se observa en la Tabla 17, la producción acumulada de 252 890 lentes conformes frente a una demanda de 287 000 unidades refleja un cumplimiento global del 88,12 %, con una brecha de 34 110 lentes no cubiertos. El déficit mensual osciló entre 3 139 y 7 330 unidades, lo que evidencia la existencia de una brecha sostenida que limita la satisfacción plena de la demanda.

A fin de visualizar la brecha entre la producción real y la demanda programada, se elaboró un gráfico comparativo con los resultados del periodo enero–julio de 2024.

Figura 20

Programa de producción – demanda antes de Lean Manufacturing



	Ene-24	Feb-24	Mar-24	Abr-24	May-24	Jun-24	Jul-24
Demanda	41,000	41,000	41,000	41,000	41,000	41,000	41,000
Real 2024	36,461	33,670	35,328	36,490	36,494	36,586	37,861

Nota. La gráfica muestra la producción del área de recubrimiento antirreflejo 2024 vs demanda, elaborada con datos de la empresa objeto de estudio.

La Figura 20 confirma que en ningún mes se logró alcanzar la meta de 41 000 unidades. El menor desempeño se registró en febrero (82 % de cumplimiento), mientras que julio alcanzó el mejor resultado (92 %), aunque aún por debajo de la meta. En conjunto, estos resultados constituyen el diagnóstico de la situación inicial, marcado por tiempos elevados de cambio de lote, altos niveles de merma

y un déficit constante frente a la demanda, lo que justifica la implementación de herramientas de Lean Manufacturing y SMED para optimizar la eficiencia productiva.

Tras haber evidenciado la brecha entre producción y demanda (Figura 20), el siguiente paso fue analizar en detalle qué tipo de actividades componen el proceso. Bajo el enfoque Lean, no todas las tareas contribuyen al mismo nivel: algunas generan valor para el cliente, otras son necesarias solo por requerimientos internos, y otras constituyen desperdicios.

Tabla 20

Criterios para identificar el valor agregado y desperdicios

Tipo de actividad	Descripción	Ejemplos en el área de recubrimiento antirreflejo
Con Valor Agregado (VA)	Actividades que transforman directamente el producto y cumplen con los requerimientos del cliente.	Aplicación de recubrimiento, pruebas ópticas, calibración de equipos.
Con Valor Agregado para la empresa (VAE)	Actividades que no agregan valor para el cliente, pero son necesarias para la organización o el cumplimiento normativo.	Recepción, habilitado de lentes, entrega de documentación, limpieza de equipos.
Sin Valor Agregado (NVA)	Actividades que no contribuyen ni al cliente ni a la empresa, constituyendo desperdicios que deben reducirse o eliminarse.	Inspecciones repetitivas, esperas por disponibilidad de máquina, traslados innecesarios.

*Nota***.** Criterios de valor agregado y desperdicios en el área de recubrimiento antirreflejo. Elaboración propia adaptada de EssilorLuxottica Perú S.A. (2024).

La Tabla 18 sintetiza esta clasificación. Esta diferenciación resulta esencial porque permite enfocar los esfuerzos de mejora en tres líneas: potenciar las

actividades que generan valor directo, mantener bajo control aquellas imprescindibles para la empresa y reducir o eliminar las que no aportan valor.

Con base en esta clasificación, fue necesario establecer un mecanismo que orientara la toma de decisiones sobre cada tipo de actividad. Para ello, se recurrió a la matriz de decisión propuesta por Shingo (1989), que combina el criterio de valor con el de necesidad organizacional.

Tabla 21

Acciones según criterios de valor y necesidad de la actividad

¿Necesaria?	¿La actividad agrega Valor?	Acción por tomar
SÍ	SÍ	Maximizar
SÍ	NO	Minimizar
NO	SÍ	Crear la necesidad para vender al cliente
NO	NO	Eliminar

Nota. La tabla muestra las acciones recomendadas en función de los criterios de valor y necesidad de la actividad, adaptada de Shingo (1989).

La Tabla 19 muestra que, dependiendo de la combinación de criterios, la acción recomendada puede variar: maximizar lo que es valioso y necesario, minimizar lo necesario pero sin valor, crear necesidad en lo valioso aún no reconocido, o eliminar aquello que no aporta en absoluto. Este marco metodológico aporta un enfoque sistemático para gestionar las actividades del área de recubrimiento antirreflejo y facilita la priorización de mejoras.

Fase 2. Conversión de operaciones internas a externas

En esta etapa de la metodología SMED se busca trasladar fuera del tiempo de máquina aquellas operaciones que originalmente obligaban a detener el proceso, de modo que puedan realizarse en paralelo. En el área de recubrimiento antirreflejo, esto implicó que, mientras la máquina ejecuta el recubrimiento de la primera cara de un lote de lentes, el operario pueda avanzar con el prealistamiento del siguiente lote y con el volteo del lote anterior. De esta manera, al finalizar el ciclo, el equipo cuenta de inmediato con lentes listos para ingresar, evitando tiempos muertos de espera.

Adicionalmente, se estandarizó la preparación de materiales (óxidos metálicos, soportes y bandejas) y se implementó un área exclusiva de prealistamiento, en la que se realizan actividades como limpieza, selección de recetas y verificación de insumos, todas ellas ejecutadas fuera del tiempo de máquina.

La Tabla 20 resume las principales actividades del proceso de recubrimiento antirreflejo, indicando si generan valor y la acción de mejora propuesta bajo el enfoque de Lean Manufacturing (eliminar, reducir o mantener).

Tabla 22

Actividades y acciones Lean Manufacturing en el proceso de antirreflejo

Etapa del proceso	Actividades principales	Tiempo aprox. (min)	¿Agrega valor?	Acción Lean propuesta
Recepción e inspección inicial	Recepción, inspección cosmética y traslado a cabina	10	No siempre	Eliminar inspección duplicada
Limpieza y preparación de lentes	Eliminación de residuos, secado con aire filtrado, montaje en soportes	15	Sí	Mantener

Etapa del proceso	Actividades principales	Tiempo aprox. (min)	¿Agrega valor?	Acción Lean propuesta
Preparación de máquina y materiales	Retiro de lote anterior, limpieza de AR Coater, verificación de materiales	15	Parcial	Reducir tiempos de limpieza y preparación
Recubrimiento 1ª cara (convexa)	Inserción de soportes, selección de receta, proceso de sputtering	40	Sí	Mantener
Cambio/espera operario	Retiro, volteo y nuevo montaje de lentes para la segunda cara	15	No	Reducir mediante trabajo paralelo (propuesta SMED)
Recubrimiento 2ª cara (cóncava)	Inserción de soportes, selección de receta, proceso de sputtering	45	Sí	Mantener
Control de calidad	Inspección final, pruebas ópticas, registro en formatos	15	Sí	Mantener
Empaque y envío	Embalaje y transferencia al área de montaje/cliente	5	Sí	Mantener

*Nota***.** Evaluación de actividades y acciones implementan en el proceso de recubrimiento antirreflejo. Elaboración propia (2024).

De este modo, el análisis de la Tabla 20 permitió establecer con precisión qué actividades debían eliminarse, reducirse o mantenerse, en función de su aporte de valor al proceso y al cliente. Con base en estas conclusiones, se aplicaron las propuestas de mejora mediante la metodología SMED y el soporte de 5S, lo que posibilitó transformar operaciones internas en externas, optimizar tiempos de preparación y estandarizar tareas críticas.

Fase 3. Optimización de operaciones

El análisis de la Tabla 20 permitió identificar oportunidades concretas de mejora en el proceso de recubrimiento antirreflejo. La recepción e inspección inicial evidenció duplicidad y fue señalada para su eliminación; la preparación de máquina y materiales mostró ineficiencias que requerían una reducción de tiempos mediante checklist y prealistamiento externo; y el volteo de lentes se reconoció como un punto crítico a optimizar mediante la aplicación de técnicas SMED, ya que generaba esperas significativas. En contraste, actividades como

el recubrimiento de ambas caras, el control de calidad y el empaque fueron mantenidas, al ser consideradas de valor directo para el cliente.

Con base en este diagnóstico, se procedió a refinar las operaciones internas y externas que no pudieron eliminarse, aplicando mejoras específicas para acortar su duración y estandarizar su ejecución. La Tabla 21 presenta el comparativo de tiempos antes y después de la optimización, evidenciando las mejoras alcanzadas en cada etapa del proceso de recubrimiento antirreflejo.

Tabla 23

Comparativo de tiempos y actividades internas/externas en el proceso de antirreflejo

Etapa del proceso	Antes (min)	Después (min)	Clasificación inicial	Clasificación final	Mejora (min)	Acción aplicada
Recepción e inspección inicial	10	8	Interna	Externa	-2	Eliminación de inspección duplicada
Limpieza y preparación de lentes	15	12	Interna	Interna	-3	Optimización en secado y montaje
Preparación de máquina/materiales	15	10	Interna	Externa	-5	Checklist y prealistamiento externo
Recubrimiento 1ª cara (convexa)	40	40	Interna	Interna	0	Mantiene valor
Cambio/volteo de lentes	15	8	Interna	Externa	-7	Paralelización con segundo lote (SMED)
Recubrimiento 2ª cara (cóncava)	45	45	Interna	Interna	0	Mantiene valor
Control de calidad	15	12	Interna	Externa	-3	Estandarización de pruebas
Empaque y envío	5	5	Externa	Externa	0	Mantiene valor
Total	157	140	7 Internas 1 Externa	4 Internas 4 Externas	-17	Reducción total del proceso

Nota. Elaboración propia a partir de la aplicación de 5S y SMED (2024).

Como se aprecia en la Tabla 21, el tiempo total del proceso se redujo de 157 a 140 minutos, lo que representa una disminución de 17 minutos (10,8 %). Además, se logró convertir tres operaciones internas en externas, pasando de 7 internas y 1 externa a 4 internas y 4 externas, con una distribución más equilibrada y eficiente.

Entre las mejoras más relevantes destacan la eliminación de inspecciones duplicadas (-2 min), la optimización en limpieza y montaje de lentes (-3 min), la conversión de la preparación de máquina y materiales en operación externa (-5 min) y la paralelización del volteo de lentes (-7 min). Estos resultados reflejan el impacto positivo de la metodología SMED, al reducir tiempos improductivos y consolidar un flujo de trabajo más ágil, en línea con los principios de Lean Manufacturing.

Fase 4. Estandarización

En esta fase se documentaron los procedimientos optimizados mediante listas de verificación y estándares de trabajo visuales en cada estación. Se asignaron roles específicos para los cambios de lote y se elaboraron guías visuales con la secuencia correcta de operaciones. Asimismo, se implementó un sistema de medición de tiempos, que permitió monitorear la eficacia de las mejoras y confirmar una reducción promedio de 17 minutos por lote.

Considerando una producción de 15es por día, esto representó un ahorro aproximado de 255 minutos diarios, que se tradujeron en mayor disponibilidad operativa y menor tiempo improductivo.

Con la estandarización de los nuevos procedimientos, el área de recubrimiento antirreflejo logró consolidar un sistema más eficiente y estable. La Tabla 22 presenta la evolución de la producción mensual durante el periodo posterior a la implementación de Lean Manufacturing, donde se evidencia un incremento en la capacidad de respuesta y una disminución sostenida de la merma.

Tabla 24

Producción mensual en el área de recubrimiento antirreflejo después de Lean Manufacturing

MES	DÍAS LABORABLES	HORAS POR DÍA	HORAS POR MES	PRODUCCIÓN REAL	MERMA (un)	CANTIDAD FINAL (un)
Ago-24	26	21,75	565,50	41 786	2067	39 719
Set-24	26	21,75	565,50	41 803	1 416	40 387
Oct-24	26	21,75	565,50	41 820	1 453	40 367
Nov-24	26	21,75	565,50	41 872	1 453	40 419
Dic-24	27	21,75	587,25	43 536	1 569	41 967
Ene-25	26	21,75	565,50	41 975	1 466	40 509
Feb-25	24	21,75	522,00	38 762	1 331	37 431
TOTAL	181	152	3 937	291 554	10 755	280 799

Nota. Elaboración propia a partir de los registros de producción (2024–2025).

Como se observa en la Tabla 22, durante ago-2024–feb-2025, el área produjo 291 554 unidades con 10 755 de merma, obteniendo 280 799 conformes. Esto implica un IC acumulado de 96,31% (Cantidad final/Producción real), superior al

periodo pre-Lean Manufacturing (ene–jul 2024: 94,08%), es decir, un +2,23 p.p. de mejora en calidad/conformidad.

Fase 5. Entrenamiento y retroalimentación

En la fase 5 se ejecutó un programa de capacitación integral (véase Anexo 4) para alinear a todos los operadores con los procedimientos estandarizados de 5S y SMED. Las sesiones combinaron teoría y práctica en campo hasta asegurar el dominio de los cambios rápidos y la organización del puesto en el área de antirreflejo. Además, se implementó un circuito de retroalimentación continua y revisiones periódicas para incorporar propuestas del personal y sostener la mejora.

Para evaluar la implementación de SMED se aplicó un checklist de verificación que abarcó la preparación externa de materiales, la organización de herramientas, la limpieza de componentes y la calibración de equipos. La Tabla 23 resume los resultados de esta evaluación.

Tabla 25

Checklist de implementación SMED en el área de antirreflejo

Actividad	Descripción	Cantidad Frecuencia	/ Cumple	No cumple	Observaciones
Prealistamiento de soportes con lentes	Montaje anticipado de lentes en los carriers fuera del tiempo de máquina	6 soportes por lote	X		Reduce tiempos muertos al inicio del ciclo
Preparación de insumos (óxidos, químicos)	Verificación y disposición previa de materiales requeridos para recubrimiento	9 insumos por lote	X		Evita paros por falta de materiales
Organización de herramientas	Disposición ergonómica de guantes, pinzas y kits de limpieza	1 kit por estación	X		Estandarización del puesto de trabajo

Actividad	Descripción	Cantidad Frecuencia	/ Cumple	No cumple	Observaciones
Limpieza de soportes y bandejas	Ejecución de limpieza antes del inicio de lote, fuera del ciclo de máquina	6 soportes por lote		X	Trasladar totalmente a preparación externa
Verificación de recetas en sistema	Selección anticipada de parámetros de sputtering en el software	1 receta por lote	X		Estandarización mediante checklist digital
Ajustes básicos de máquina	Configuración previa de parámetros generales (vacío, presión, temperatura)	1 vez por cambio de lote		X	Reducir movimientos innecesarios
Volteo de lentes	Desmontaje y nuevo montaje de lentes para procesar la segunda cara	6 soportes por lote	X		Optimizar con paralelización (SMED)
Inspección visual preliminar	Revisión de defectos antes de ingresar al recubrimiento	100 % de lentes	X		Reduce reprocesos
Calibración de sensores/equipos ópticos	Verificación y ajuste previo de calibración	1 vez por turno	X		Crear protocolo estandarizado

*Nota***.** Información obtenida de la evaluación de mejoras en el área de antirreflejo (2024).

La Tabla 23 evidencia un alto nivel de adopción de prácticas SMED en el área de recubrimiento antirreflejo. Se cumplieron actividades clave como el prealistamiento de soportes, la preparación de insumos, la organización de herramientas, la verificación de recetas, la inspección visual preliminar y la calibración de equipos. Destaca la optimización del volteo de lentes, que ahora se realiza antes de abrir la máquina, eliminando tiempos muertos de espera. Aún persisten mejoras por consolidar en la limpieza de soportes y bandejas y en los ajustes básicos de máquina.

$$\%SMED = \frac{\text{Puntaje obtenido x } 100}{\text{Puntaje máximo}}$$

Un 88,89 % de implementación representa un nivel avanzado de consolidación del SMED, evidenciando la conversión de la mayoría de las operaciones internas en externas y una notable reducción de tiempos improductivos.

Fase 6. Mejora continua y sostenibilidad

En esta fase se consolida la cultura de mejora continua, garantizando que los procedimientos optimizados no solo se mantengan en el tiempo, sino que evolucionen conforme a las necesidades del área de recubrimiento antirreflejo. La Tabla 24 presenta el comparativo entre la demanda y la producción real tras la implementación de Lean Manufacturing.

Tabla 26

Producción del área de antirreflejo 2024–2025 vs. Demanda

Mes	Demanda (unid.)	Cantidad final (unid.)	Falta (unid.)	% Cumplimiento
Ago-24	41,000	39,719	1,281	96,88%
Set-24	41,000	40,387	613	98,51%
Oct-24	41,000	40,367	633	98,46%
Nov-24	41,000	40,419	581	98,58%
Dic-24	41,000	41,967	-967	102,36%
Ene-25	41,000	40,509	491	98,80%
Feb-25	41,000	37,431	3,569	91,30%
Acumulado	287,000	280,800	6,200	97,84%

*Nota***.** Se compara *cantidad final* vs demanda. Fuente: registros del área (2024–2025).

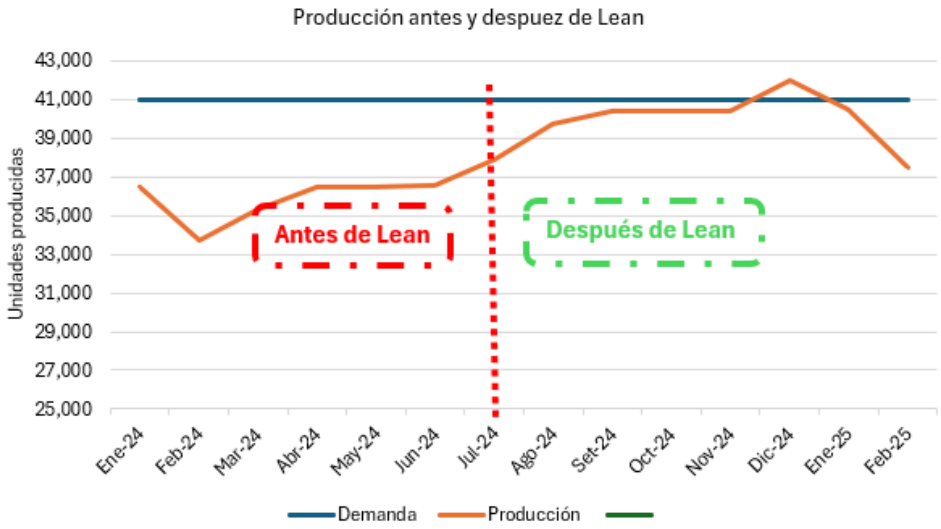
Como se observa en la Tabla 24, luego de la implementación la producción se alineó de manera más consistente con la demanda, alcanzando un cumplimiento acumulado del 97.84 % en siete meses y una brecha total de 6,200 unidades. En diciembre de 2024 se superó la demanda (102.36 %), mientras que febrero

de 2025 reflejó el menor desempeño (91,30 %), lo que evidencia la necesidad de ajustes finos en la planificación.

Para sostener estos resultados se ejecutaron auditorías periódicas (véase Anexo 9), orientadas a verificar la vigencia de los estándares, cerrar hallazgos y consolidar las prácticas de 5S y SMED.

Figura 21

Cumplimiento de producción-demanda antes y después de Lean Manufacturing



*Nota***.** Comparativo de producción y demanda antes y después de la implementación de Lean Manufacturing. Elaboración propia (2024–2025).

La Figura 21 muestra la evolución de la producción antes y después de Lean Manufacturing. Antes de la implementación (ene–jul 2024), la producción se mantuvo por debajo de la demanda constante de 41,000 unidades, con un déficit sostenido. Tras la aplicación de Lean (ago 2024–feb 2025), la producción se acercó al objetivo, alcanzando entre 39,000 y 40,500 unidades en la mayoría de meses y superando la meta en diciembre de 2024 (~42,000). Solo en febrero de 2025 se registró una caída puntual (~37,400). Este desempeño confirma que

Lean permitió reducir la brecha, estabilizar el proceso y mejorar el cumplimiento de la demanda.

Análisis de Costos

Con base en los resultados obtenidos tras la implementación de las herramientas Lean, se estimó el ahorro total de tiempo productivo y el impacto económico asociados a la reducción de actividades no productivas.

A continuación, se presenta la estimación de ahorro horario y económico alcanzada mediante la aplicación combinada de SMED y 5S en el área de recubrimiento antirreflejo.

Tabla 27

Estimación de ahorro horario y económico tras la implementación de SMED y 5S

Herramienta	Reducción promedio (min)	Lotes procesados por mes	Horas ahorradas/ mes	Costo por hora (S/.)	Ahorro estimado (S/.)
SMED (tiempo de cambio de lote)	17	240	68	116	7 888
5S (búsqueda y organización)	3	480	24	116	2 784
Total estimado mensual	—	—	92 h	—	10 672

Nota. Elaboración propia a partir de registros de producción del área de recubrimiento antirreflejo (2024–2025). Los valores se calcularon considerando la reducción promedio de tiempos antes y después de la implementación, la frecuencia mensual de lotes procesados y el costo horario referencial de S/ 116 validado con el área de mantenimiento y control de producción.

Los resultados muestran que la aplicación de las metodologías Lean permitió recuperar aproximadamente 92 horas productivas mensuales, equivalentes a un ahorro estimado de S/ 10 672.

Este valor representa la capacidad adicional disponible gracias a la reducción de tiempos de cambio de lote y de búsqueda, evidenciando el impacto tangible de las mejoras implementadas en términos de eficiencia operativa y optimización de costos.

Se realizó una evaluación detallada de los costos de producción en el área de recubrimiento antirreflejo, considerando el escenario antes de la implementación de Lean Manufacturing y después de su aplicación. Este análisis permite identificar el impacto económico de la mejora, evidenciando cómo la estandarización de procesos y la reducción de mermas se reflejan en costos unitarios más bajos y mayor eficiencia en el uso de los recursos.

Tabla 28

Costos de producción en el área de recubrimiento antirreflejo antes de Lean Manufacturing (enero–julio 2024)

Fecha	Total costo de producción (S/.)	Producción mensual	Costos unitarios mensuales (S/.)
Ene-24	167 905	38 792	4,33
Feb-24	152 033	35 822	4,24
Mar-24	162 584	37 345	4,35
Abr-24	164 932	38 822	4,25
May-24	164 996	38 836	4,25
Jun-24	167 060	38 851	4,30
Jul-24	175 419	40 330	4,35
Total	1 155 929	268 798	4,30

*Nota***.** Elaboración propia a partir de los registros de producción y costos del área de recubrimiento antirreflejo de EssilorLuxottica del Perú S.A. (2024).

Tabla 29

Costos de producción en el área de recubrimiento antirreflejo después de Lean Manufacturing (agosto 2024 – febrero 2025)

Fecha	Total costo de producción (S/.)	Producción mensual	Costos unitarios mensuales (S/.)
Ago-24	158 786	41 786	3,80
Set-24	159 851	41 803	3,82
Oct-24	159 916	41 820	3,82
Nov-24	157 112	41 872	3,75
Dic-24	167 436	43 536	3,85
Ene-25	158 506	41 975	3,78
Feb-25	147 297	38 762	3,80
Total	1 107 904	291 554	3,80

Nota. Elaboración propia a partir de los registros de producción y costos del área de recubrimiento antirreflejo de EssilorLuxottica del Perú S.A. (2024–2025).

Como se observa en la Tabla 28 (pre-Lean) y la Tabla 29 (post-Lean), el costo unitario se redujo de S/ 4,30 a S/ 3,80 (−11,5 %), mientras que el periodo post-Lean produjo 291 554 unidades (ago 2024–feb 2025). En términos agregados, el costo mensual promedio bajó de S/ 165 118 a S/ 158 272, y el ahorro total del periodo post frente al pre alcanzó S/ 47 924,96, pese a un mayor volumen procesado. Estos resultados son coherentes con la estandarización del trabajo (5S) y la reducción del tiempo de cambio (SMED), que comprimen costos directos y estabilizan la salida.

Tabla 30

Costos asociados a la merma en el área de recubrimiento antirreflejo antes de Lean Manufacturing (enero–julio 2024)

Mes	Costo	Merma (un)	Costos unitarios
Ene-24	S/ 10 024	2 331	S/ 4,30
Feb-24	S/ 9 253	2 152	S/ 4,30
Mar-24	S/ 8 674	2 017	S/ 4,30
Abr-24	S/ 10 024	2 331	S/ 4,30

May-24	S/ 10 071	2 342	S/ 4,30
Jun-24	S/ 9 740	2 265	S/ 4,30
Jul-24	S/ 10 617	2 469	S/ 4,30
TOTAL	S/ 68 401	15 908	S/ 4,30

Nota. Elaboración propia con base en los registros de unidades no conformes y costos unitarios aplicados en el área de recubrimiento antirreflejo de EssilorLuxottica del Perú S.A. (2024).

Tabla 31

Costos asociados a la merma en el área de recubrimiento antirreflejo después de Lean Manufacturing (agosto 2024–febrero 2025)

Mes	Costo	Merma (un)	Costos unitarios
Ago-24	S/ 7 854	2 067	S/ 3,80
Set-24	S/ 5 380	1 416	S/ 3,80
Oct-24	S/ 5 521	1 453	S/ 3,80
Nov-24	S/ 5 520	1 453	S/ 3,80
Dic-24	S/ 5 960	1 569	S/ 3,80
Ene-25	S/ 5 571	1 466	S/ 3,80
Feb-25	S/ 5 059	1 331	S/ 3,80
TOTAL	S/ 40 866	10 755	S/ 3,80

Nota. Elaboración propia con base en los registros de unidades no conformes y costos unitarios aplicados en el área de recubrimiento antirreflejo de EssilorLuxottica del Perú S.A. (2024–2025).

De acuerdo con la Tabla 27 (antes de Lean) y la Tabla 28 (después de Lean), el costo total asociado a la merma se redujo de S/ 68 401 a S/ 40 866, lo que implica un ahorro de S/ 27 535 (≈ −40,3%). En paralelo, la cantidad de merma disminuyó de 15 908 a 10 755 unidades (−5,153 un; ≈ −32,4%). Asimismo, el costo unitario aplicado al cálculo de merma pasó de S/ 4,30 (periodo pre) a S/ 3,80 (periodo post), equivalente a una variación de −11,5%.

En conjunto, los resultados reflejan un impacto positivo en la rentabilidad y sostenibilidad del proceso productivo, consolidando a la estandarización y la

mejora continua como factores clave para incrementar la competitividad del área de recubrimiento antirreflejo.

Índice de calidad antes de Lean

Con el propósito de caracterizar el desempeño del proceso previo a la mejora, se calculó el índice de calidad (IC) como la razón entre cantidad final y producción real para el periodo enero–julio de 2024. La Tabla 32 resume los resultados mensuales y el acumulado del periodo evaluado.

Tabla 32

Índice de calidad antes de Lean Manufacturing (ene–jul 2024)

Mes	Producción real	Merma (un)	Cantidad final	Calidad (%)
Ene-24	38 792	2 331	36 461	93,99
Feb-24	35 822	2 152	33 670	93,99
Mar-24	37 345	2 017	35 328	94,60
Abr-24	38 822	2 331	36 490	93,99
May-24	38 836	2 342	36 494	93,97
Jun-24	38 851	2 265	36 586	94,17
Jul-24	40 330	2 469	37 861	93,88
Total	268 798	15 908	252 890	94,08

*Nota***.** IC = Cantidad final / Producción real. Elaboración propia con base en registros del área de recubrimiento antirreflejo (2024).

Como se observa en la Tabla 32, el proceso presenta una calidad global de 94,08%, con 15 908 unidades de merma sobre 268 798 producidas. La estabilidad del indicador (≈94%) sugiere consistencia operativa, aunque con un nivel de desperdicio que justificó la intervención mediante estandarización y mejora del método de trabajo.

Índice de calidad después de Lean

A fin de medir el efecto de la estandarización, la organización del puesto (5S) y la reducción de tiempos de cambio (SMED), se repitió el cálculo del IC para el periodo agosto de 2024–febrero de 2025. La Tabla 30 presenta los resultados posteriores a la implementación.

Tabla 33

Índice de calidad después de Lean Manufacturing (ago. 2024–feb 2025)

Mes	Producción real	Merma (un)	Cantidad final	Calidad (%)
Ago-24	41 786	2 067	39 719	95,05%
Set-24	41 803	1 416	40 387	96,61%
Oct-24	41 820	1 453	40 367	96,53%
Nov-24	41 872	1 453	40 419	96,53%
Dic-24	43 536	1 569	41 967	96,40%
Ene-25	41 975	1 466	40 509	96,51%
Feb-25	38 762	1 331	37 431	96,57%
Total	291 554	10 755	280 799	96,31%

Nota. IC = Cantidad final / Producción real. Elaboración propia con base en registros del área de recubrimiento antirreflejo (2024–2025).

De acuerdo con la Tabla 30, la calidad global se eleva a 96,31% y la merma relativa desciende (10 755 sobre 291 554), lo que implica una mejora de +2,23 p.p. respecto del escenario inicial.

Con el objetivo de ofrecer una lectura consolidada del cambio en la conformidad del producto, la Tabla 31 integra los resultados acumulados antes y después de la mejora.

Tabla 34

Resumen comparativo del índice de calidad (antes vs. después de Lean)

Escenario	Producción real acumulada	Merma acumulada (un)	Cantidad final acumulada	Índice de calidad (IC)	Calidad global (%)
Antes de Lean (ene–jul 2024)	268 798	15 908	252 890	0,9408	94,08
Después de Lean (ago 2024–feb 2025)	291 554	10 755	280 799	0,9631	96,31

Nota. La calidad global corresponde a Cantidad final acumulada / Producción real acumulada. Elaboración propia (2024–2025).

El comparativo de la Tabla 31 confirma una mejora sostenida y consistente: el IC pasa de 94,08% a 96,31%, con mayor producción y menor merma relativa.

Análisis de RATE, Tiempo de Ciclo y Takt Time

Con el fin de valorar el efecto de la estandarización, 5S y SMED sobre la productividad del área de recubrimiento antirreflejo, se comparan tres métricas clave: RATE (tasa de salida de unidades conformes por hora), tiempo de ciclo (seg/un) y takt time (seg/un). Las Tablas 32 y 33 condensan los resultados antes y después de la mejora.

Tabla 35

RATE (tasa de producción de conformes) – Comparativo antes vs. después de Lean Manufacturing

Escenario	Unidades conformes acumuladas	Horas disponibles acumuladas	RATE (u/h)	Variación
Antes de Lean (ene–jul 2024)	252 890	3 959	63,89	—
Después de Lean (ago 2024–feb 2025)	280 799	3 937	71,33	11,65%

*Nota***.** RATE (u/h) = Conformes acumuladas ÷ horas disponibles. Elaboración propia con base en registros del área de recubrimiento antirreflejo (2024–2025).

La Tabla 32 muestra un incremento del RATE de 63,89 a 71,33 u/h (+11,65%), consistente con la reducción de mermas y la preparación externa de recursos (SMED), que permitió aprovechar mejor las horas disponibles para producir unidades conformes.

Tabla 36

Comparativo de Tiempo de Ciclo y Takt Time (seg/un)

Escenario	Tiempo de ciclo (seg/un)	Takt time (seg/un)	Brecha (Ciclo – Takt)
Antes de Lean (ene–jul 2024)	56,35	49,66	6,69
Después de Lean (ago 2024–feb 2025)	50,47	49,66	0,81

Nota.

- Tiempo de ciclo = Tiempo disponible acumulado / Cantidad final acumulada, expresado en segundos por unidad.
- Takt de referencia = tiempo estándar mensual (26 días × 21,75 h = 565,5 h) × demanda mensual 41 000 un → 49,66 seg/un.
- El takt time se fija como valor nominal de referencia (49,66 seg/un) calculado con el tiempo disponible planificado y una demanda constante de 41 000 un/mes, para comparar la convergencia del ciclo entre periodos
- Elaboración propia (2024–2025).

Según la Tabla 33, el tiempo de ciclo bajó de 56,35 seg/un a 50,47 seg/un, acercándose al takt (49,66 seg/un). La brecha se redujo de +6,70 s a +0,81 s, es decir, una disminución del 87,9%. Aunque el ciclo aún queda levemente por encima del takt (alineado con un cumplimiento cercano pero no pleno de la demanda), la convergencia confirma que la estandarización, 5S y SMED han fortalecido la capacidad del proceso, disminuido pérdidas y estabilizado la salida de unidades conformes.

4.6. Pruebas de hipótesis

Hipótesis general

Si se implementan las herramientas Lean Manufacturing, entonces se mejorará la productividad en el área de antirreflejo de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.

Formulación estadística

H_0 (Hipótesis nula):

La implementación de las herramientas Lean Manufacturing (5S y SMED) no mejora significativamente la productividad del área de recubrimiento antirreflejo.

H_1 (Hipótesis alternativa):

La implementación de las herramientas Lean Manufacturing (5S y SMED) mejora significativamente la productividad del área de recubrimiento antirreflejo.

Los datos utilizados provienen de los reportes mensuales de producción del área de recubrimiento antirreflejo para dos momentos: antes y después de la implementación Lean. La productividad se calculó mediante la fórmula:

$$\text{Productividad (unid/h)} = \text{Cantidad final (unid)} / \text{Horas efectivas (h)}$$

Tabla 37

Productividad mensual del área de recubrimiento antirreflejo antes y después de la implementación de Lean Manufacturing

Periodo	Mes	Horas/mes	Cantidad final (unid)	Productividad (unid/h)
	Ene-24	565,5	36 461	64,48

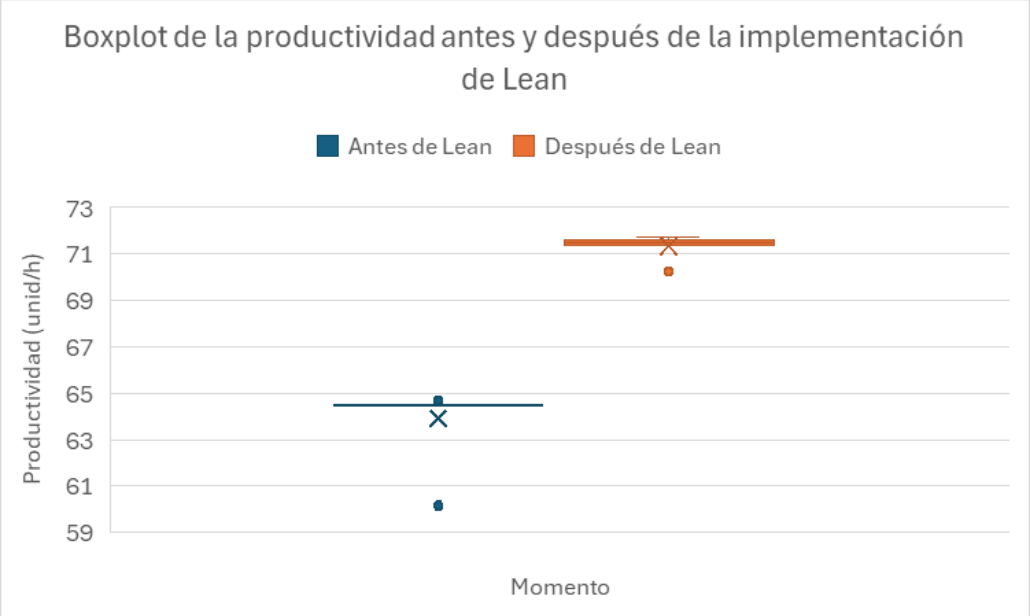
Antes de Lean	Feb-24	522,00	33 670	64,50
	Mar-24	587,25	35 328	60,16
	Abr-24	565,50	36 490	64,53
	May-24	565,50	36 494	64,53
	Jun-24	565,50	36 586	64,70
	Jul-24	587,25	37 861	64,47
Después de Lean	Ago-24	565,50	39 719	70,24
	Set-24	565,50	40 387	71,42
	Oct-24	565,50	40 367	71,38
	Nov-24	565,50	40 419	71,47
	Dic-24	587,25	41 967	71,46
	Ene-25	565,50	40 509	71,63
	Feb-25	522,00	37 431	71,71

Nota. La productividad se expresa en unidades por hora (unid/h) y se obtuvo a partir de los registros mensuales de producción del área de recubrimiento antirreflejo.

Media antes (ene–jul 2024):

Figura 22

Boxplot de la productividad antes y después de la implementación Lean



Selección de las pruebas estadísticas

Para comprobar la hipótesis general, se siguió un procedimiento sistemático de análisis estadístico acorde con un diseño pre–post sin grupo control. Aunque los datos corresponden a mediciones antes y después de la intervención Lean, los registros mensuales de ambos periodos no presentan emparejamiento natural uno a uno. Por ello, la comparación se realizó considerando dos muestras independientes: el periodo preintervención (enero–julio de 2024) y el periodo postintervención (agosto de 2024–febrero de 2025).

Primero, se evaluó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro–Wilk, debido al tamaño muestral reducido (n = 7 por periodo). Al no cumplirse el supuesto de normalidad, se aplicó la prueba no paramétrica U de Mann–Whitney para dos muestras independientes, con el objetivo de determinar si existían diferencias significativas en la productividad operativa entre ambos periodos.:

Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk):

Determina si los datos de productividad en ambos momentos (antes y después) siguen una distribución normal.

Se utiliza porque el número de observaciones es menor a 30 (n = 7), por lo que es más adecuada que Kolmogorov-Smirnov.

Prueba U de Mann–Whitney para dos muestras independientes:

Permite comparar dos grupos independientes cuando no se cumple el supuesto de normalidad. En esta investigación se utilizó para contrastar la productividad operativa mensual del periodo preintervención frente al periodo postintervención, dado que los meses evaluados antes y después

de Lean corresponden a ventanas temporales distintas y no a pares naturales de observación.

Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk)

Los valores de p son menores que 0.05, lo cual indica que se rechaza la normalidad. En consecuencia, corresponde aplicar una prueba no paramétrica (Prueba U de Mann–Whitney para dos muestras independientes).

Tabla 38

Prueba de normalidad Shapiro-Wilk

Variable	W	p	Conclusión
Productividad antes de Lean	0,495	0,000014	No normal
Productividad después de Lean	0,679	0,002166	No normal

Nota. W corresponde al estadístico de Shapiro–Wilk y p al nivel de significancia. Se rechaza normalidad cuando p < 0,05.

Prueba U de Mann–Whitney para dos muestras independientes

La prueba U de Mann–Whitney evidenció diferencias estadísticamente significativas en la productividad mensual antes y después de la implementación Lean.

Tabla 39

Resultados de la prueba U de Mann–Whitney

Variables comparadas	Estadístico U	p
Productividad (antes) – Productividad (después)	0,000	0,0006

Nota. Se trabajó con un nivel de significancia de α = 0,05.

El valor p = 0,0006 es menor que 0,05, lo cual demuestra que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la productividad operativa del

periodo preintervención y la del periodo postintervención. En términos operativos, la productividad promedio aumentó de 63,91 a 71,33 unid/h, equivalente a una mejora de 11,6%.

Como complemento al valor p, se calculó el tamaño del efecto mediante r = |Z| / √N, obteniéndose un valor aproximado de r ≈ 0,84, lo cual representa un efecto grande. Además, todos los valores mensuales del periodo postintervención fueron superiores a los valores mensuales del periodo preintervención, evidenciando una separación clara entre ambos grupos.

Por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) yse acepta la hipótesis alternativa (H_1), concluyendo que la implementación de herramientas Lean Manufacturing se asoció con una mejora significativa de la productividad mensual del área de recubrimiento antirreflejo.

Hipótesis Específica 1 (5S → Productividad)

Si se implementa la metodología 5S en el área de antirreflejo, entonces se mejorará la productividad de una empresa de fabricación de lentes oftálmicos.

Formulación estadística

H_0 (Hipótesis nula):

El nivel de cumplimiento de las 5S no se relaciona significativamente con la productividad mensual del área de recubrimiento antirreflejo.

H_1 (Hipótesis alternativa):

El nivel de cumplimiento de las 5S se relaciona significativamente con la productividad mensual del área de recubrimiento antirreflejo.

Los datos utilizados provienen de los registros internos del programa de auditorías 5S y los reportes mensuales de producción del área de recubrimiento antirreflejo. La productividad se calculó mediante la fórmula:

Productividad (unid/h)= Cantidad final (unid)/ Horas efectivas (h)

Tabla 40

Nivel de cumplimiento de las 5S y productividad mensual del área de recubrimiento antirreflejo

Mes	Cumplimiento 5S (%)	Horas/mes	Cantidad final (unid)	Productividad (unid/h)
Ago-24	75	565,5	39 719	70,24
Set-24	85	565,5	40 387	71,42
Oct-24	85	565,5	40 367	71,38
Nov-24	87	565,5	40 419	71,47
Dic-24	90	587,25	41 967	71,46
Ene-25	93	565,5	40 509	71,63
Feb-25	95	522,0	37 431	71,71

Nota. La productividad se expresa en unidades por hora (unid/h) y se obtuvo a partir de los registros mensuales del programa 5S y de producción del área de recubrimiento antirreflejo.

Selección de las pruebas estadísticas

Para comprobar la hipótesis, se siguió un procedimiento sistemático de análisis estadístico que garantiza la validez de los resultados:

Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk):

Determina si los datos de ambas variables siguen una distribución normal.

Se utiliza porque el número de observaciones (n = 7) es menor a 30, lo cual hace más adecuado esta prueba que el Kolmogorov-Smirnov.

Prueba de correlación de Spearman:

Permite cuantificar el grado de relación entre dos variables continuas u ordinales cuando no se cumple el supuesto de normalidad en al menos una de ellas.

El coeficiente ρ oscila entre -1 y +1; cuanto más próximo a ±1, mayor es la fuerza de la relación.

Regresión lineal simple (análisis complementario):

Evalúa el efecto del cumplimiento 5S sobre la productividad mediante una ecuación lineal del tipo:

$$\text{Productividad} = \beta_0 + \beta_1(\text{Cumplimiento 5S})$$

donde β_1 representa cuánto aumenta la productividad por cada 1% adicional de cumplimiento 5S.

Este enfoque (Shapiro + Spearman + regresión complementaria) permite evaluar la relación estadística y estimar el impacto del cumplimiento 5S sobre la productividad.

Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk)

Los resultados muestran que el cumplimiento 5S presenta distribución normal ($p > 0,05$); sin embargo, la productividad no cumple normalidad ($p < 0,05$). Por ello, se emplea una prueba no paramétrica para la correlación.

Tabla 41

Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk)

Variable	W	p	Conclusión
Cumplimiento 5S (%)	0,932	0,568	Distribución normal

Variable	W	p	Conclusión
Productividad (unid/h)	0,679	0,002	No normal

Nota. W corresponde al estadístico de la prueba de Shapiro–Wilk y p al nivel de significancia. Se asume normalidad de las variables cuando p > 0,05.

Prueba de correlación de Spearman

El coeficiente de correlación ρ = 0,955 revela una relación fuerte y positiva entre el cumplimiento del programa 5S y la productividad.

Tabla 42

Prueba de correlación de Spearman

Variables comparadas	ρ de Spearman	p	Conclusión
Cumplimiento 5S (%) – Productividad (unid/h)	0,955	0,001	Correlación positiva significativa

Nota. ρ corresponde al coeficiente de correlación de Spearman y p al nivel de significancia estadística.

El valor p = 0,001 (< 0,05) demuestra que dicha relación es estadísticamente significativa, es decir, no se debe al azar. Por tanto, conforme aumenta el cumplimiento de las 5S, también tiende a incrementarse la productividad del área.

Tabla 43

Resultados del modelo de regresión lineal entre el cumplimiento de las 5S y la productividad del área de recubrimiento antirreflejo

Parámetro	Coeficiente	Error Est.	t	p
β_0 (Intercepto)	65,31	1,14	57,12	< 0,001

Parámetro	Coeficiente	Error Est.	t	p
β_1 (Pendiente)	0,069	0,013	5,28	0,003
$R^2 = 0,848$				

Nota. β_0 y β_1 representan el intercepto y la pendiente del modelo de regresión lineal, respectivamente. R^2 indica el grado de explicación del modelo y p el nivel de significancia estadística.

El modelo de regresión confirma que por cada 1% de incremento en el cumplimiento 5S, la productividad aumenta en promedio 0,069 unidades por hora. El $R^2 = 0,848$ indica que el 84,8% de la variabilidad de la productividad puede explicarse por el grado de cumplimiento del programa 5S, lo que evidencia un efecto estadístico y operativamente relevante.

El análisis confirma que el nivel de cumplimiento del programa 5S se relacionó positiva y significativamente con la productividad del área de recubrimiento antirreflejo. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), concluyendo que existe una relación positiva y significativa entre el cumplimiento de las 5S y la productividad mensual del área de recubrimiento antirreflejo.

Hipótesis específica 2 (SMED → Productividad)

Si se implementa la metodología SMED en el área de recubrimiento antirreflejo, entonces se mejorará la productividad de la empresa de fabricación de lentes oftálmicos.

Formulación estadística

H_0 (Hipótesis nula):

El nivel de cumplimiento del SMED no se relaciona significativamente con la productividad mensual del área de recubrimiento antirreflejo.

H_1 (Hipótesis alternativa):

El nivel de cumplimiento del SMED se relaciona significativamente con la productividad mensual del área de recubrimiento antirreflejo.

Los datos se obtuvieron de las auditorías mensuales de cumplimiento SMED y los registros de producción del área de recubrimiento antirreflejo durante el periodo agosto 2024 – febrero 2025, correspondiente a la etapa posterior a la implementación Lean.

Productividad (unid/h)= Cantidad final (unid)/ Horas efectivas (h)

Tabla 44

Nivel de cumplimiento del SMED y productividad mensual del área de recubrimiento antirreflejo

Mes	Cumplimiento SMED (%)	Horas/mes	Cantidad final (unid)	Productividad (unid/h)
Ago-24	78	565,50	39 719	70,24
Set-24	80	565,50	40 387	71,42
Oct-24	83	565,50	40 367	71,38
Nov-24	85	565,50	40 419	71,47
Dic-24	86	587,25	41 967	71,46
Ene-25	88	565,50	40 509	71,63
Feb-25	89	522,00	37 431	71,71

Nota. La productividad (unid/h) se calculó a partir de las horas efectivas y la cantidad final producida, mientras que el cumplimiento del SMED (%) proviene de las auditorías mensuales del área de recubrimiento antirreflejo.

Selección y justificación de las herramientas estadísticas

Para evaluar la relación entre el nivel de cumplimiento del SMED (%) y la productividad (unid/h), se siguió el siguiente procedimiento:

Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk):

Se usa porque el tamaño muestral (n = 7) es menor a 30, lo que hace más confiable esta prueba que Kolmogorov-Smirnov. Su propósito es determinar si ambas variables se distribuyen normalmente.

Prueba de correlación de Spearman:

Se emplea cuando no se cumple el supuesto de normalidad en al menos una de las variables. Permite evaluar la fuerza y dirección de la relación entre el cumplimiento SMED (%) y la productividad (unid/h). El coeficiente ρ toma valores entre -1 y +1.

Regresión lineal simple (análisis complementario):

Se aplica para estimar el efecto del cumplimiento SMED sobre la productividad mediante:

$$\text{Productividad} = \beta_0 + \beta_1(\text{Cumplimiento SMED})$$

donde β_1 representa el cambio esperado en productividad por cada 1% adicional de cumplimiento SMED.

Este enfoque (Shapiro + Spearman + regresión complementaria) permite evaluar la relación estadística y estimar el impacto del cumplimiento SMED sobre la productividad.

Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk)

Los resultados muestran que el cumplimiento SMED presenta distribución normal ($p > 0.05$); sin embargo, la productividad no cumple normalidad ($p < 0,05$). Por ello, para la relación estadística se emplea una prueba no paramétrica (Spearman).

Tabla 45

Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk)

Variable	W	p	Conclusión
Cumplimiento SMED (%)	0,952	0,749	Distribución normal
Productividad (unid/h)	0,679	0,002	No normal

Nota. W corresponde al estadístico de la prueba de Shapiro–Wilk y p al nivel de significancia. Se asume normalidad cuando p > 0,05.

Prueba de correlación de Spearman

El coeficiente ρ = 0,929 indica una relación positiva fuerte: a mayor cumplimiento de SMED, mayor productividad.

Tabla 46

Prueba de correlación de Spearman

Variables comparadas	ρ de Spearman	p	Conclusión
Cumplimiento SMED (%) – Productividad (unid/h)	0,929	0,003	Correlación positiva significativa

Nota. ρ corresponde al coeficiente de correlación de Spearman y p al nivel de significancia estadística.

El valor p = 0,003 (< 0,05) confirma que esta relación es estadísticamente significativa. Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1). Por tanto, se concluye que el cumplimiento del SMED se relaciona de forma positiva y significativa con la productividad mensual del área de recubrimiento antirreflejo.

Tabla 47

Resultados del modelo de regresión lineal entre el cumplimiento del SMED y la productividad del área de recubrimiento antirreflejo

Parámetro	Coeficiente	Error Est.	t	p
β_0 (Intercepto)	63,13	2,76	22,86	< 0,001
β_1 (Pendiente)	0,097	0,033	2,97	0,031
R^2 = 0,638				

Nota. β_0 y β_1 representan el intercepto y la pendiente del modelo. R^2 indica el grado de explicación del modelo y p el nivel de significancia estadística.

El modelo de regresión (complementario) indica que por cada 1% adicional de cumplimiento SMED, la productividad aumenta en promedio 0,097 unid/h. El R^2 = 0,638 señala que el 63,8% de la variabilidad de la productividad puede explicarse por el cumplimiento SMED. Adicionalmente, los residuos del modelo presentan normalidad (Shapiro–Wilk, p = 0,707), lo cual respalda el ajuste lineal. En consecuencia, se rechaza H_0 y se acepta H_1, concluyendo que el cumplimiento del SMED se relaciona de manera positiva y significativa con la productividad mensual del área de recubrimiento antirreflejo.

Hipótesis específica 3 (5S + SMED → costo unitario)

Si se implementan las metodologías 5S y SMED en el área de recubrimiento antirreflejo, entonces se reducirá el costo unitario (S/ por lente) del producto.

Formulación estadística

H_0 (Hipótesis nula): 5S + SMED no reducen significativamente el costo unitario (S/ por lente).

H_1 (Hipótesis alternativa): 5S + SMED sí reducen significativamente el costo unitario (S/ por lente).

Los datos provienen de los reportes mensuales de costos y producción del área de recubrimiento antirreflejo para dos momentos: antes (ene–jul 2024) y después (ago 2024–feb 2025) de la implementación Lean. El costo unitario mensual se calculó con la fórmula:

Costo unitario (S/ por lente) = Total costo de producción mensual (S/) / Producción real mensual (unid)

En el periodo pre, el costo unitario promedio fue 4,30 S/ por lente; en el periodo post fue 3,80 S/ por lente, equivalente a una reducción promedio de 0,50 S/ por lente (≈ −11,5%).

Selección de las pruebas estadísticas

Para comprobar la hipótesis se siguió un enfoque pre–post sin grupo control, comparando dos periodos independientes: enero–julio de 2024 y agosto de 2024–febrero de 2025. Debido a que los registros mensuales del periodo pre y post no presentan emparejamiento natural uno a uno, la comparación estadística debe realizarse considerando dos muestras independientes

Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk)

Tabla 48

Prueba de normalidad del costo unitario mensual por periodo (Shapiro–Wilk)

Variable	W	p	Conclusión
Costo unitario antes de Lean	0,844	0,108	Normal
Costo unitario después de Lean	0,972	0,909	Normal

*Nota***.** En un diseño antes–después con muestras independientes, el supuesto paramétrico se evalúa sobre las diferencias (pre – post).

El resultado de Shapiro–Wilk arrojó W = 0,844/0,972 y p = 0,108/0,909. Como p > 0,05, no se rechaza la normalidad de las diferencias; por tanto, se justifica el uso de una prueba paramétrica (t de Student para muestras independientes).

Tabla 49

Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene

Variable	Estadístico de Levene	p	Conclusión
Costo unitario mensual	2,881	0,115	Varianzas homogéneas

Nota. Se asume homogeneidad de varianzas cuando p > 0,05*.*

Prueba t de Student para muestras independientes

Se puede usar t de Student para muestras independientes con varianzas iguales.

Tabla 50

Prueba t de Student para muestras independientes (costo unitario pre vs. post)

Media pre (S/)	Media post (S/)	Diferencia media (pre – post)	t	gl	p
4,296	3,803	0,493	22,301	12	< 0,001

*Nota***.** La reducción promedio del costo unitario fue de 0,493 S/ por lente (IC 95%: 0,445 a 0,541).

La prueba t de Student para muestras independientes evidenció una reducción estadísticamente significativa del costo unitario después de la implementación de 5S y SMED ($t = 22,01$; $gl = 12$; $p < 0,001$). En términos operativos, el costo unitario promedio disminuyó de S/ 4,296 a S/ 3,803 por lente, lo que representa una reducción promedio de S/ 0,493 por lente, equivalente a aproximadamente 11,5%.

En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), concluyéndose que la implementación conjunta de 5S y SMED se asoció con una reducción significativa del costo unitario del producto en el área de recubrimiento antirreflejo.

4.7. Presentación de resultados

Con el fin de evaluar el impacto de la implementación de herramientas Lean (5S y SMED) en el área de antirreflejo, se consolidaron los indicadores clave antes y después de la mejora. En particular, se comparan productividad económica (unidades/sol), eficacia (cumplimiento de la demanda), calidad del proceso (IC), costo unitario, merma y tiempo de cambio por lote. La Tabla 51 integra, en una sola vista, los valores pre (ene–jul 2024) y post (ago 2024–feb 2025), junto con la variación observada.

Tabla 51

Resumen de indicadores antes y después de Lean en el área de antirreflejo

Indicador	Antes de Lean (ene–jul 2024)	Después de Lean (ago 2024–feb 2025)	Mejora
Productividad económica (unid/S.)	0,2327	0,2629	0,0302
Eficacia (% demanda cubierta)	88,12%	97,84%	+9,72 p.p.
Índice de calidad (IC)	94,08%	96,31%	+2,23 p.p.
Costo unitario (S/ por lente)	4,30	3,80	−0,50 (−11,6%)
Merma (% sobre producción)	5,92%	3,69%	−2,23 p.p.
Tiempo de cambio por lote (min)	35	18	−17

Nota. Elaboración propia con base en registros del área de recubrimiento antirreflejo (2024–2025).

Como se observa en la Tabla 51, la productividad económica aumenta de 0,2327 a 0,2629 unid/S, consistente con la reducción del costo unitario de S/ 4,30 a S/ 3,80. A la par, la eficacia sube de 88,12% a 97,84%, acercando la producción a la demanda mensual constante (41 000 unid). El índice de calidad (IC) también mejora (+2,23 p.p.), en línea con la reducción de mermas (−2,23 p.p.). Finalmente, la disminución de 17 min/lote en cambios (SMED) libera capacidad y sostiene el mejor desempeño global.

Productividad (unidades por sol)

Para aislar el efecto económico directo de Lean, se examinó la Productividad económica (unid/S.) = Producción real acumulada del periodo / Costo total de producción acumulado del periodo. La Tabla 52 resume el indicador de productividad económica por periodo.

- Pre: Producción real = 268 798; Costo total = 1 154 929

  268 798 / 1 154 929 = 0,2327

- Post: Producción real = 291 554; Costo total = 1 108 904

  291 554 / 1 108 904 = 0,2629

Mejora = 0,2629 − 0,2327 = 0,0302

Tabla 52

Indicador de productividad económica (unidades/sol)

Escenario	Productividad (unid/S.)
Antes de Lean (ene–jul 2024)	0,2327
Después de Lean (ago 2024–feb 2025)	0,2629

*Nota***.** Productividad económica = Producción real del periodo ÷ Costo total del periodo.
Fuente: registros de costos y producción (2024–2025).

Como se detalla en la Tabla 52, la productividad económica mejora +0,0302 unid/S. En términos prácticos, esta ganancia proviene de dos frentes: i) menores costos unitarios (ver Tabla 55), y ii) mayor aprovechamiento de la capacidad por reducción de tiempos no productivos (ver Tabla 57).

Eficacia (cumplimiento de la demanda)

La eficacia se calculó como proporción de cobertura de la demanda mensual (41 000 unid). La Tabla 53 presenta los resultados acumulados por periodo.

Tabla 53

Indicador de eficacia de producción (cumplimiento de demanda)

Escenario	Demanda acumulada (unid)	Cantidad final acumulada (unid)	Eficacia (%)
Antes de Lean (ene–jul 2024)	287 000	252 890	88,12%
Después de Lean (ago 2024–feb 2025)	287 000	280 799	97,84%

*Nota***.** Eficacia = 100 × (Cantidad final ÷ Demanda). Fuente: plan de demanda y partes de producción (2024–2025).

Según la Tabla 53, la eficacia sube +9,73 p.p. tras Lean Manufacturing, cerrando prácticamente la brecha mensual con la meta de 41 000 unidades.

Calidad del proceso (IC)

El índice de calidad (IC) se definió como Cantidad final / Producción real. La Tabla 54 resume el comportamiento agregado por periodo.

Tabla 54

Índice de calidad (IC) del proceso

Escenario	Producción real (unid)	Merma (unid)	Cantidad final (unid)	IC (%)
Antes de Lean (ene–jul 2024)	268 798	15 908	252 890	94,08
Después de Lean (ago 2024–feb 2025)	291 554	10 755	280 799	96,31

Nota. Índice de calidad (IC) = 100 × (Conformes ÷ Producción total). Fuente: reporte de mermas y salidas conformes (2024–2025).

En la Tabla 54 se aprecia una mejora de +2,23 p.p. en el IC, explicada por la reducción de variabilidad en operaciones críticas (limpieza, preparación de cargas y curado), así como por el orden y limpieza (5S) que disminuyen no conformidades incidentales.

Costo unitario

La intervención Lean buscó, además, bajar el costo por lente. La Tabla 55 muestra el costo unitario promedio por periodo.

Tabla 55

Costo unitario promedio del producto (S/ por lente)

Escenario	Costo unitario (S/)
Antes de Lean (ene–jul 2024)	4,30
Después de Lean (ago 2024–feb 2025)	3,80

Nota. Costo unitario mensual reportado por Contabilidad de Planta. Fuente: registros de costos (2024–2025).

Como cuantifica la Tabla 55, el costo unitario desciende S/ 0,50 (−11,6%). Esta caída es coherente con la mayor productividad económica.

Merma

La merma se expresó como porcentaje de la producción real. La Tabla 56 concentra los resultados.

Tabla 56

Tasa de merma (% sobre producción real)

Escenario	Producción real (unid)	Merma (unid)	Merma (%)
Antes de Lean (ene–jul 2024)	268 798	15 908	5,92%
Después de Lean (ago 2024–feb 2025)	291 554	10 755	3,69%

Nota. Porcentaje de merma = 100 × (Unidades no conformes ÷ Producción real). Fuente: parte de producción y merma (2024–2025).

De acuerdo con la Tabla 56, la tasa de merma se reduce −2,23 p.p., evidencia directa de la estandarización y del control de variables del recubrimiento (parámetros de hornos, manipulación y limpieza), que se traducen en más unidades conformes al primer intento.

Tiempo de cambio por lote (SMED)

Para medir el impacto de SMED, se monitoreó el tiempo de cambio por lote. La Tabla 57 sintetiza el resultado del estudio de tiempos.

Tabla 57

Tiempo de cambio por lote (min) antes y después de SMED

Escenario	Tiempo de cambio (min/lote)
Antes de Lean (ene–jul 2024)	35
Después de Lean (ago 2024–feb 2025)	18
Mejora	−17

Nota. Tiempos medidos con cronometraje y hoja de verificación; conversión de actividades internas a externas según SMED. Fuente: estudio de tiempos del área de antirreflejo (2024–2025).

Como se aprecia en la Tabla 57, la reducción de 17 min/lote, considerando un régimen de 15 lotes/día, libera aproximadamente 255 min/día (4,25 h/día) de capacidad, la cual se reasigna a producción efectiva.

CAPÍTULO V: IMPACTOS

La implementación de 5S y SMED en el área de recubrimiento antirreflejo se orientó a un objetivo central: ganar capacidad efectiva reduciendo tiempos improductivos y variabilidad, para responder con costos más competitivos y calidad estable. A continuación, se presenta un análisis de impactos operativos, económicos y organizacionales observados tras la intervención.

Impacto operativo (capacidad y flujo)

La estandarización del puesto y la separación de actividades internas/externas redujeron el tiempo de cambio por lote en 17 minutos; considerando 15 lotes diarios (3 turnos × 5 lotes/turno), esto equivale a 255 min/día de capacidad liberada (17 × 15 = 255 min/día = 4,25 h/día), que se reasignó a producción efectiva.

En términos mensuales, bajo una operación típica de 22 días/mes, la capacidad liberada es del orden de 4,25 × 22 ≈ 93,5 h/mes (≈ 92 h/mes según días reales operados).

Este resultado proviene de convertir tareas a externas (prealistamiento, checklist, preparación de materiales) y paralelizar operaciones según el enfoque SMED.

Operativamente, el área alineó la producción con la demanda de manera mucho más consistente, alcanzando un cumplimiento acumulado del 97,84% y reduciendo la brecha a 6 201 unidades en siete meses. En términos de estabilidad de programa, esto significa menos retrasos, menor reprogramación y uso más racional de la capacidad instalada.

Impacto económico (costos unitarios y merma)

Conforme a los resultados del Capítulo IV (ver Tabla 56), la línea recuperó aproximadamente 92 h/mes de capacidad, lo que explica la reducción del costo unitario (S/ 4,30 → S/ 3,80) y la disminución de la merma reportada en este capítulo.

Costos unitarios

Tras la mejora, el costo unitario promedio del periodo pasó de S/ 4,30 a S/ 3,80 por lente. En paralelo, el volumen acumulado del periodo aumentó (pre: 268 798 unidades; post: 291 554), lo que resulta coherente con la recuperación de capacidad y la reducción de tiempos improductivos. La reducción de S/ 0,50 por unidad (−11,6%) confirma un impacto económico directo: producir más, a menor costo unitario y con mayor estabilidad del proceso.

Ahorro estimado (cálculo propio): Si se toma la producción real del periodo post analizado (291 554 lentes) y se multiplica por la reducción unitaria redondeada de S/ 0,50, se obtiene un ahorro directo aproximado de S/ 145 777. Considerando la reducción exacta promedio de S/ 0,493 por lente, el ahorro estimado asciende aproximadamente a S/ 143 799.

Merma (costo y volumen)

En paralelo, los costos de merma cayeron de S/ 68 401 (15 908 unidades no conformes) a S/ 40 866 (10 755 unidades), consolidando un ahorro de S/ 27 535 solo por desperdicio, coherente con el menor costo unitario post mejora (Costo de merma estimado = unidades no conformes × costo unitario del periodo).

Además del efecto monetario, disminuyó la tasa de merma: en el periodo post se registró 3,69%, frente al 5,92% antes de Lean y SMED (−2,23 p.p.). Menos

reprocesos significan más tiempo netos para producir bueno a la primera, menos congestión y menos consumo de insumos por unidad conforme.

Impacto en calidad y confiabilidad del proceso

La estabilización del trabajo (5S) y la estandarización de los puntos de control redujeron la variabilidad de resultados: menos desvíos, menos ajustes y menos paros por micro fallas. En la práctica, esto se ve en el descenso de la merma (5,92% → 3,69%) y el aumento del IC (94,08% → 96,31%), además de la estabilización del costo unitario en el periodo post (S/ 3,80), lo que sugiere un proceso más robusto.

Impacto organizacional (cultura y sostenibilidad)

Los cambios no fueron solo técnicos. Se instauraron rutinas de orden y limpieza (5S), roles definidos para cambios de lote, listas de verificación y auditorías periódicas que aseguran la vigencia de los estándares. Esta disciplina operativa sienta la base para mantener los logros y escalar mejoras futuras sin depender exclusivamente de esfuerzos extraordinarios.

Impacto comercial y de servicio

Con mayor capacidad efectiva y menor variabilidad, el área puede cumplir el programa con menos sobresaltos, atender picos moderados sin recurrir de inmediato a sobretiempos, y proteger plazos de entrega. La producción cercana a la demanda y la menor brecha acumulada se reflejan en mayor confiabilidad percibida por el cliente interno (acabados posteriores/comercial).

Impacto ambiental y de seguridad

Reducir merma implica menos residuos y menos consumo de insumos por unidad conforme; la organización del puesto (5S) mejora la ergonomía y disminuye riesgos por objetos fuera de lugar o materiales mal almacenados. Estos efectos, aunque indirectos, consolidan una operación más limpia y segura.

Síntesis de impacto global

En conjunto, la intervención liberó tiempo productivo (−17 min por cambio; ≈ 255 min/día), alineó la producción con la demanda (cumplimiento acumulado 97,84%), redujo costos unitarios (S/ 4,30 → S/ 3,80) y disminuyó la merma tanto en costo (−S/ 27 535) como en volumen (−5 153 unidades), todo con volúmenes acumulados mayores en el periodo post. Estos hallazgos muestran una mejora integral: más capacidad, menor desperdicio, costos contenidos y mayor estabilidad del proceso.

CONCLUSIONES

Impacto global de Lean (objetivo general).

La implementación de las herramientas Lean Manufacturing (5S y SMED) se asoció con una mejora estadística y operativa significativa en la productividad del área de recubrimiento antirreflejo. Dado que la productividad en los periodos preintervención y postintervención no cumplió el supuesto de normalidad (Shapiro–Wilk, $p < 0,05$), y considerando que los registros mensuales no presentan emparejamiento natural, se aplicó la prueba U de Mann–Whitney para dos muestras independientes. El resultado evidenció diferencias estadísticamente significativas entre ambos periodos ($U = 0,000$; $p = 0,0006$), con un tamaño del efecto grande ($r \approx 0,84$). En términos operativos, la productividad promedio aumentó de 63,91 unid/h (ene–jul 2024) a 71,33 unid/h (ago 2024–feb 2025), consolidando un proceso más estable y alineado con la demanda.

Efecto de 5S en la productividad (objetivo específico 1).

El cumplimiento del programa 5S se relacionó de forma positiva y significativa con la productividad mensual. La prueba de Shapiro–Wilk mostró normalidad en el cumplimiento 5S ($p > 0,05$), pero no en productividad ($p < 0,05$); por ello se aplicó la correlación de Spearman, obteniéndose $\rho = 0,955$ ($p = 0,001$), lo cual evidencia una relación fuerte y significativa. Además, el modelo de regresión lineal (análisis complementario) presentó una pendiente $\beta_1 = 0,069$ unid/h por cada 1% adicional de cumplimiento 5S ($p = 0,003$) y $R^2 = 0,848$, evidenciando

una asociación relevante entre el orden, la limpieza, la estandarización y el rendimiento del área. Se rechaza H_0 y se acepta H_1.

Efecto de SMED en tiempos improductivos (objetivo específico 2).

El cumplimiento de SMED se relacionó de forma positiva y significativa con la productividad mensual. Dado que la productividad no cumplió normalidad ($p < 0,05$), se utilizó Spearman, obteniéndose $\rho = 0,929$ ($p = 0,003$), lo cual indica una relación fuerte y significativa. Asimismo, la regresión lineal, como análisis complementario, arrojó una pendiente $\beta_1 = 0,097$ unid/h por cada 1% adicional de cumplimiento SMED ($p = 0,031$) y $R^2 = 0,638$, evidenciando que la estandarización y reducción de tiempos de cambio se asociaron con el incremento de la productividad. Se rechaza H_0 y se acepta H_1.

Reducción del costo unitario (objetivo específico 3).

El costo unitario disminuyó de S/ 4,30 a S/ 3,80 (−S/ 0,50; ≈ −11,6%). La diferencia fue estadísticamente significativa mediante la prueba t de Student para muestras independientes ($t = 22,301$; $gl = 12$; $p < 0,001$). En consecuencia, se confirma que la aplicación conjunta de 5S y SMED se asoció con una reducción significativa del costo unitario por lente en el área de recubrimiento antirreflejo.

Calidad y merma.

El índice de calidad global mejoró de 94,08% a 96,31% y la merma se redujo tanto en unidades como en costo (5,92% → 3,69%), reforzando la contribución combinada de la estandarización, el orden, la limpieza y los cambios rápidos sobre la confiabilidad del proceso.

Sostenibilidad del cambio.

La instauración de checklists, estándares visuales y rutinas de control favorece la permanencia de los resultados. El principal riesgo de regresión es la rotación de personal y el relajamiento de auditorías; por ello, la disciplina de seguimiento es crítica para sostener el desempeño.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda mantener la aplicación combinada de 5S y SMED como estrategia de mejora continua, dado que se evidenció una mejora significativa de la productividad (U de Mann–Whitney, p = 0,0006) y mejoras asociadas en eficacia, merma, tiempo de cambio y costo unitario.
- Se recomienda fortalecer el programa 5S mediante capacitaciones continuas y retroalimentación visual, asegurando que cada operario mantenga estándares de orden, limpieza y estandarización.
- Se recomienda continuar aplicando la metodología SMED para mantener y mejorar la reducción de los tiempos de cambio, realizando mediciones periódicas con cronómetro y checklist de cambio rápido.
- Se recomienda asegurar la trazabilidad de los costos de materia prima y del tiempo de operación, integrando estos datos al análisis de productividad global para medir el impacto económico de la mejora continua.
- Se recomienda mantener el enfoque Lean orientado a la reducción de desperdicios, controlando mensualmente el costo unitario y los porcentajes de merma (5,92 % → 3,69 %) para garantizar la rentabilidad del proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abad, V., & Salas, P. (2023). Lean Manufacturing para mejorar la productividad de la empresa embotelladora Uceda S.A.C. Chiclayo – 2021 (Tesis de Licenciatura, Universidad Señor de Sipán). Repositorio Institucional USS. https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/11330/Abad%20Palomino%2C%20Victor%20%26%20Salas%20Quispe%2C%20Patricia.pdf?sequence=16&isAllowed=y

Arroyo, S., & Mancha, A. (2024). Análisis y propuesta de mejora de procesos aplicando herramientas de Lean Manufacturing en una fábrica de calzados en la ciudad de Huancayo (Tesis de licenciatura, Universidad Continental). Repositorio Universidad Continental. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14717/3/IV_FIN_108_TE_Arroyo_Mancha_2024.pdf

Ávila, V., & Piernagorda, I. (2018, setiembre). Recubrimientos antirreflectivos con índice de refracción variable [Ponencia]. XXI Semana de la Enseñanza de la Física, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. https://www.researchgate.net/publication/342872892

Castañeda, M., & Sangama, D. (2020). Modelo de mejora basado en herramientas del Lean Manufacturing para reducir productos defectuosos en una empresa peruana de alimentos (Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas). Repositorio UPC. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/654445/Casta%c3%b1eda_IM.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Cayax, E. (2005). Implementación de un sistema de control de la producción en una empresa que se dedica a la fabricación de lentes (Tesis de

licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala). Repositorio Universidad de San Carlos Guatemala. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1455_IN.pdf

Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2010). Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros (13ª ed.). McGraw-Hill.

Chávarri Bazán, P. E. (2024). Mejora de la productividad del área flexográfica para aumentar la demanda de la empresa Termoencogibles del Perú S.A. utilizando herramientas lean (Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Repositorio Universidad Nacional Mayor de San Marcos. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/8fe37c2f-0692-4a39-a914-de4b6d0da839/content

De León, Á., Herrera, C., & Villanueva, H. (2018). Desarrollo de la documentación del proceso de producción en LMO, S.A. de C.V. base para la implementación del proceso y la gestión de calidad (Tesis de maestría, Universidad Don Bosco). Repositorio Universidad Don Bosco. https://rd.udb.edu.sv/server/api/core/bitstreams/563fd04c-970a-413b-8542-7d79a6d31ef2/content

Diccionario de la lengua española. (s. f.). Eficiencia. Real Academia Española. https://dle.rae.es/eficiencia

Drucker, P. F. (1999). Management challenges for the 21st century. HarperBusiness.

EssilorLuxottica Perú. (2024). *Procedimiento de producción (PR-PRO-001, versión 1)* [Documento interno]. Área de Producción, EssilorLuxottica Perú.

Fajardo Cueva, O. L. (2024). Reducción de las paradas de planta aplicando el mapeo de la cadena de valor (VSM) y cambios rápidos (SMED) de la metodología Lean Manufacturing. Industrial Data, 27(1), 25–39. https://doi.org/10.15381/idata.v27i1.

Heizer, J., & Render, B. (2014). Principles of operations management (10th ed.). Pearson.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Hirano, H. (1996). 5 pillars of the visual workplace: The sourcebook for 5S implementation. Productivity Press.

Imai, M. (1986). Kaizen: The key to Japan's competitive success. McGraw-Hill.

Ixcaquic, S. (2012). Establecimiento y aplicación de principios de producción más limpia en el proceso de fabricación de lentes ópticos en el área de acabado (Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala). Repositorio Universidad de San Carlos de Guatemala. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2624_IN.pdf

Jiménez, P. (2019). Mejora de procesos de fabricación de lentes oftálmicas con validación de resultados (Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica de Madrid). Repositorio Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/54150/1/TFG_PABLO_JIMENEZ_MASSA.pdf

Juran, J. M. (1999). Juran's quality handbook (5th ed.). McGraw-Hill.

Kotler, P., & Keller, K. L. (2012). Marketing management (14th ed.). Pearson.

Liker, J. K. (2004). The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. McGraw-Hill.

Medina, E., & Oriundo, J. L. G. (2020). Implementación del SMED para incrementar la productividad en la línea flexográfica Martín 618 en una empresa cartonera Huachipa 2020 (Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo). Repositorio Universidad César Vallejo. https://hdl.handle.net/20.500.12692/67682

Medina Varela, P. D., Muñoz Guevara, J. A., & Zapata Urquijo, C. A. (2022). Lean manufacturing: Modelos y herramientas. Universidad Tecnológica de Pereira.

Mesías, J. A. (2016). Implementación del SMED para reducir tiempos de cambio en banco de prueba de motores de una empresa metalmecánica S.A., Callao (Tesis de ingeniería, Universidad César Vallejo). Repositorio UCV. https://hdl.handle.net/20.500.12692/21832

Monden, Y. (2011). Toyota production system: An integrated approach to just-in-time. CRC Press.

Montgomery, D. C. (2017). Design and Analysis of Experiments (9th ed.). John Wiley & Sons.

Mucha, R. L. (2018). Aplicación del modelo SMED en el proceso productivo de línea de extrusión para mejorar la productividad de la empresa INDECO, Lima-2018 (Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo). Repositorio Universidad César Vallejo. https://hdl.handle.net/20.500.12692/27729

Muro, D. T. (2022). Aplicación del método SMED para mejorar la productividad en el área de extrusión de la empresa PROCOMSAC 2022 (Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo). Repositorio Universidad César Vallejo.

https://hdl.handle.net/20.500.12692/106921

Nakajima, S. (1988). Introduction to TPM: Total productive maintenance. Productivity Press.

Navarro, G. F. (2024). Propuesta de implementación de herramientas de lean manufacturing para incrementar la productividad del proceso de envasado en una empresa de bebidas carbonatadas (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Repositorio UNMSM. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/7859f309-14f5-4346-9f1e-0ed1f70fe52e

Niekurzak, M., Lewicki, W., Coban, H. H., & Bera, M. (2023). A model to reduce machine changeover time and improve production efficiency in an automotive manufacturing organisation. Sustainability, 15(13), 10558. https://doi.org/10.3390/su151310558

Ohno, T. (1988). Toyota production system: Beyond large-scale production. Productivity Press.

Oliveira, C., & Lima, T. M. (2023). Setup time reduction of an automotive parts assembly line using lean tools and quality tools. Eng, 4(3), 2352–2362. https://doi.org/10.3390/eng4030134.

Paipay, G., & Zavala, S. (2023). Gestión de la producción para el incremento de la productividad en el proceso productivo de órdenes de fabricación de lentes oftálmicos (Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas). Repositorio académico UPC. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/671634/Paipay_SG.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2014). The Six Sigma handbook: A complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels (4th ed.). McGraw-Hill Education.

Ribeiro, M. A. S., Santos, A. C. O., de Amorim, G. F., de Oliveira, C. H., Braga, R. A. S., & Netto, R. S. (2022). Analysis of the implementation of the Single Minute Exchange of Die methodology in an agroindustry through action research. Machines, 10(5), 287. https://doi.org/10.3390/machines10050287

Shahriar, M. M., Parvez, M. S., Islam, M. A., & Talapatra, S. (2022). Implementation of 5S in a plastic bag manufacturing industry: A case study. Cleaner Engineering and Technology, 8, 100488. https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100488

Shingo, S. (1985). A revolution in manufacturing: The SMED system. Productivity Press.

Slack, N., Chambers, S., & Johnston, R. (2013). Administración de operaciones (10ª ed.). Pearson Educación.

Sousa, R., & Voss, C. A. (2002). Quality management and business performance: The development of a theoretical model. International Journal of Operations & Production Management, 22(2), 1–25.

Sullca, P. (2024). Aplicación de SMED para incrementar la productividad en una empresa de fabricación de láminas de polipropileno (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos). Repositorio Universidad Nacional Mayor de San Marcos. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/524da091-7c40-4059-8259-03f8de8eebdc/content

Villanueva, H., & Sierra, H. (2022). Estudio de factibilidad para la creación de un centro especializado óptica del Tolima (Tesis de maestría, Corporación Universitaria Minuto de Dios). Repositorio Corporación Universitaria Minuto de Dios. https://repository.uniminuto.edu/server/api/core/bitstreams/6be128bc-4030-446a-8d4a-d0e02f0b7cee/content

Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation. Simon & Schuster.

Yanayaco, S. (2023). Las 5S como estrategias para mejorar la organización del área de producción… (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión). Repositorio UNDAC. http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3560

Zeithaml, V. A., Bitner, M. J., & Gremler, D. D. (2009). Servicios de marketing: Un enfoque de integración del cliente a través de la tecnología. McGraw-Hill.

ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario para Líderes de Procesos (Demanda del producto)

Datos Generales
Nombre:
Cargo:
Tiempo en la empresa:
Escala de Likert:
1 = Muy baja | 2 = Baja | 3 = Media | 4 = Alta | 5 = Muy alta

Preguntas	1	2	3	4	5
1. ¿Cuál es su percepción sobre la productividad actual del área de recubrimiento antirreflejo?					
2. ¿Qué tan frecuentes considera que son las mermas y reprocesos en el área?					
3. ¿Qué nivel de impacto tienen los tiempos de cambio de lote en la capacidad de producción?					
4. ¿Cómo calificaría la organización del área de trabajo (orden, limpieza, disposición de materiales)?					
5. ¿Qué tan efectivas cree que serían las herramientas Lean (5S, SMED) para mejorar la productividad?					
6. ¿Qué tan dispuesto está a implementar cambios para optimizar la eficiencia y cumplir con la demanda?					

Anexo 2. Cuestionario para operarios (Tiempos y Trabajo Diario)

Datos Generales
Nombre:
Cargo:
Tiempo en la empresa:
Escala de Likert:
1 = Muy baja | 2 = Baja | 3 = Media | 4 = Alta | 5 = Muy alta

Preguntas	1	2	3	4	5
1. ¿Cómo calificaría la productividad actual en su puesto de trabajo?					
2. ¿Con qué frecuencia considera que se presentan retrasos por tiempos de preparación o cambio de lote?					
3. ¿Qué tan claras están las instrucciones de trabajo en su área?					
4. ¿Cómo evalúa la capacitación que ha recibido sobre técnicas de organización (ej. 5S)?					
5. ¿Qué tan dispuesto está a aplicar herramientas como SMED para reducir tiempos de cambio de lote?					
6. ¿Qué tan dispuesto está a participar en iniciativas de mejora continua?					

Anexo 3. Cuestionario para jefaturas (calidad y costos)

Datos Generales
Nombre:
Cargo:
Tiempo en la empresa:
Escala de Likert:
1 = Muy baja | 2 = Baja | 3 = Media | 4 = Alta | 5 = Muy alta

Preguntas	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1. ¿Qué tan informado está sobre la situación actual del área de recubrimiento antirreflejo?					
2. ¿Cómo calificaría el nivel de cumplimiento de la demanda en el área?					
3. ¿Qué tan efectivos considera los procesos actuales en términos de calidad del producto final?					
4. ¿Cómo evalúa el costo generado por mermas y reprocesos en el área?					
5. ¿Qué tan importante considera implementar herramientas Lean Manufacturing en el área?					
6. ¿Qué tan preparados están las jefaturas para liderar cambios en los procesos actuales?					
7. ¿Qué tan relevante considera el feedback de operadores y líderes de área para la toma de decisiones?					

Anexo 4. Cronograma de capacitación

Actividad de capacitación	Fecha de inicio	Fecha de finalización	Responsables	Firma
Reunión informativa con alta dirección sobre Lean, 5S y SMED	01/06/2024	02/06/2024	Dirección de planta + Ingeniero de procesos	
Taller introductorio a las 5S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke)	03/06/2024	07/06/2024	Ingeniero de procesos + Jefe de producción	
Taller introductorio a SMED (conceptos y beneficios)	08/06/2024	12/06/2024	Ingeniero de procesos + Supervisores	
Campaña de comunicación visual interna (afiches, paneles, charlas breves)	13/06/2024	19/06/2024	Supervisores + Calidad	
Sesiones de capacitación con supervisores (roles y responsabilidades en 5S + SMED)	20/06/2024	24/06/2024	Ingeniero de procesos + Supervisores	
Sesiones de capacitación con operarios (manejo de equipos, orden, limpieza, tiempos de cambio)	25/06/2024	30/06/2024	Supervisores + Calidad	
Prácticas supervisadas de aplicación de 5S en planta (área antirreflejo)	01/07/2024	05/07/2024	Operarios + Supervisores	
Prácticas supervisadas de aplicación de SMED (simulación de cambios rápidos)	06/07/2024	12/07/2024	Operarios + Supervisores	
Evaluación de compromiso y retroalimentación del personal	13/07/2024	15/07/2024	Calidad + Ingeniería de procesos	

Anexo 5. Capacitación y taller 5S + seguridad

TALLER AUDITORÍA 6S		
Fecha:	**Área:**	**Nombre:**

Categoría a Evaluar	Componente	Ubicación	Aspecto Observado	Escriba una "S" para la observación	Puntaje asignado



Anexo 6. Check list para procedimientos de limpieza para el montaje de lentes en cámaras de antirreflejo

Título				
Check list para procedimientos de limpieza y montaje de lentes en cámaras de antirreflejo				
Fecha		Sup. Calidad		
Turno		Sup. Producción		
Máquina				
Operario				
Familia	**Pregunta**		**OK**	**NOK**
Sectores	¿Los sectores se encuentran limpios? (manchas, polvo, mugre)			
	¿Se evidencia exceso de AR de anteriores ciclos?			
	¿El almacenamiento de los sectore cargados se realiza en su soporte y al interior de una Flow Box?			
	¿Se cuenta con las herramientas de montaje y desmontaje de los sectores?			
Implementos de montaje de lentes	¿El montaje se hizo al interior de una Flow Box?			
	¿El operario realizó el montaje de lentes con guantes para prevenir la deposición de huellas dactilares en los lentes			
	¿El operario cuenta con paños para limpieza de lentes libres de pelusas o impurezas para limpiar los lentes?			
	¿El operador cuenta con una fuente lumínica acompañada de un fondo negro que permita una mejor identificación de			
Medio	¿La temperatura de la sala blanca está dentro de los parámetros establecidos? 22º C +/- 3º C			
	¿La humedad de la sala blanca está dentro de los parámetros establecidos? 50% +/- 5%			
	¿Se cuenta con aire comprimido para la limpieza de los lentes?			
Proceso montaje de lentes	¿Los lentes cuentan con el tiempo apropiado de desgasificado y curado antes de ser montados?			
	¿El almacenamiento de los lentes en los sectores cuenta con una hora o menos antes de ser ingresados a las máquinas?			
	¿Los lentes se encuentran bien posicionados: no girados y correctamente orientados (CC o CX)?			
Proceso montaje de materiales en máquina	¿Se retiraron los materiales quemados del cilclo anterior?			
	¿Se aspiró la máquina para eliminar residuos de materiales contaminación del ciclo anterior?			
	¿Se cargaron los materiales correspondientes al ciclo a ejecutarse?			
	¿Los materiales están cargados a ras de la cavidad correspondiente del crisol de forma plana, sin faltante ni			
	¿Se utilizó un liner para garantizar la planicidad del material en su cavidad?			
	¿Se renovó el DSX?			
	¿Se verificó la frecuencia del cuarzo?			

Anexo 7. Sectores 5S y sus responsables

Sectores 6S

ITEM	INFRAESTRUCTURA	RESPONSABLE	ÁREA
1	Despacho / Control Documentario	Guido Bazaldúa	Logística
2	Lentes de Contacto	Deivy Paredes	Logística
3	Ecommerce / Wholesale / Devoluciones	Lourdes Manrique	Logística
4	Monturas	Doris Muñoa	Logística
5	Consumibles y Suministros	Juan Carlos Villcas	Logística
6	Frame Received / Picking Lenses	Christian Chiscul	Logística
7	Corte y Montaje / Mailed Out	José Martínez	Laboratorio
8	Mantenimiento / Patio Sur	Ayrton Bernuy	Laboratorio
9	Sala Limpia	Elvio Isidro	Laboratorio
10	Freeform / Coloreado	Luis Caballero	Laboratorio
11	Digitación / Oficina Soporte	Oliver Alberca	Laboratorio
12	Oficina Administrativos	Piero Santamaría	Oficina
13	Entrada / comedor / vestuarios	David Pantoja	Áreas comunes



Anexo 8.compra de racks y herramientas para mejoras 5S





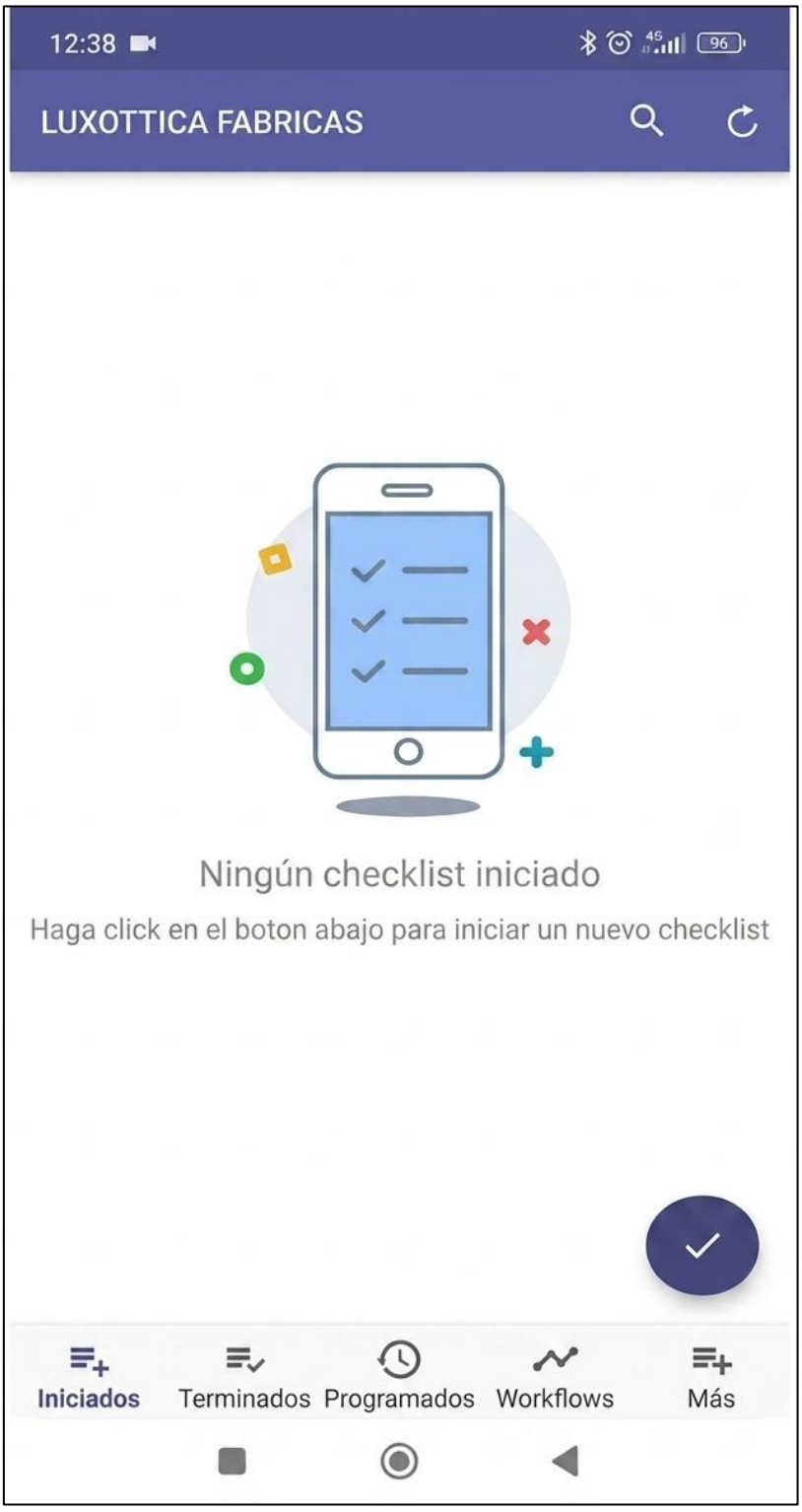
Anexo 9. Plan de auditorías

EssilorLuxottica		PLAN DE AUDITORÍA 6S		
Equipo Auditor:	SABINA PEREZ	ELIZABETH MAYTA	Fecha de Elaboración	27/03/2025
	ANTHONY TERRONES	MILAGROS VEGA	Lugar/Sede	CITADELA
	ALBERTO CRISPIN	KAREN QUISPE		
	MULLER AMARO	DORIS ROJAS		
	DORIS MUÑOA	VICTOR RAMOS		
Objetivo:	VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE LAS 6S		Fecha de Auditoría:	
Criterio de Auditoría:	6S		02 AL 04 DE ABRIL	
Alcance:	TODAS LAS ÁREAS			
04 ABRIL	AREA DE DESPACHO	SECTOR 1 - DESPACHO/CONTROL DOCUMENTARIO	ALBERTO CRISPIN MIULLER AMARO	GUIDO BAZALDÚA
	AREA DE RECEPCION DE MERCADERIA			
	AREA DE CONTROL DOCUMENTARIO			
02 ABRIL	LENTES DE CONTACTO - GMO	SECTOR 2 - LENTES DE CONTACTO	ANTHONY TERRONES KAREN QUISPE	DEIVY PAREDES
	LENTES DE CONTACTO - TOPSA			
04 ABRIL	DEVOLUCIONES	SECTOR 3 - ECCOMMERCE / WHOLESALE / DEVOLUCIONES	ALBERTO CRISPIN MIULLER AMARO	LOURDES MANRIQUE
	WHOLESALE			
	ECCOMMERCE			
	ANAQUELES DEL SECTOR			
04 ABRIL	ALMACEN DE MONTURAS	SECTOR 4 - MONTURAS	ANTHONY TERRONES KAREN QUISPE	JUAN GUZMAN
	SALA LOEP			
	ZONA DE ETIQUETADO			
	DISTRIBUCION DE MONTURA			
	ZONAS ADMINISTRATIVAS			
03 ABRIL	ALMACEN DE CONSUMIBLES	SECTOR 5 - CONSUMIBLES Y SUMINISTROS	ANTHONY TERRONES KAREN QUISPE	JUAN CARLOS VILLCAS
	ALMACE DE SUMINISTROS			
	DEPOSITO 1 Y 2			
	MEZANINE - 2DO NIVEL			
04 ABRIL	CENTRO LOGISTICO	SECTOR 6 - PICKING LENSES	ALBERTO CRISPIN MIULLER AMARO	CHRISTIAN CHISCUL
	ALMACEN DE LENTES			
	FRAME RECEIVED			
	MESAS DE TRABAJO			
03 ABRIL	AREA DE BISELADO	SECTOR 7 - CORTE Y MONTAJE / MAILED OUT	DORIS MUÑOA MILAGROS VEGA	JOSÉ MARTINEZ
	AREA DE BLOQUEO			
	BODEGA DE TRANSITO			
	AREA DE DESPACHO - MAILED OUT			

EssilorLuxottica		PLAN DE AUDITORÍA 6S		
Equipo Auditor:	Sabina Pérez	Elizabeth Mayta	Fecha de Elaboración	27/03/2025
	Anthony Terrones	Milagros Vega		
	Alberto Crispín	Karen Quispe	Lugar/Sede	CITADELA
	Miuller Amaro	Doris Rojas		
	Doris Muñoa	Victor Ramos		
Objetivo:	VERIFICAR EL CUMPLIMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE LAS 6S		Fecha de Auditoria:	
Criterio de Auditoria:	6S		02 AL 04 DE ABRIL	
Alcance:	TODAS LAS ÁREAS			

04 ABRIL	ZONA GRIS	SECTOR 8 - MANTENIMIENTO / PATIO SUR	DORIS MUÑOA MILAGROS VEGA	AYRTON BERNUY
	AREA DE MANTENIMIENTO			
	PATIO TRASERO/MANIOBRAS			
03 ABRIL	PREPARACION DE INSUMOS	SECTOR 9 - SALA LIMPIA	ELIZABETH MAYTA DORIS ROJAS	ELVIO ISIDRO
	CONTROL DE CALIDAD			
	MESAS DE TRABAJO			
	SAND BLAST			
04 ABRIL	ZONA DE BLOQUEO	SECTOR 10 - SURFACING	SABINA PEREZ VICTOR RAMOS	LUIS CABALLERO
	ZONA DE TALLADO			
	ZONA DE PULIDO			
	ZONA DE GRABADO LASER			
	AREA DE CONTROL DE CALIDAD			
	ZONA DE COLOREADO			
	MESAS DE TRABAJO			
03 ABRIL	AREA DE DIGITACION	SECTOR 11 - DIGITACIÓN Y OFICINA SOPORTE	SABINA PEREZ VICTOR RAMOS	OLIVER ALBERCA
	AREA DE SOPORTE/OFICINA ADMINISTRATIVA			
02 ABRIL	AREA ADMINISTRATIVA	SECTOR 12 - OFICINAS ADMINISTRATIVAS	DORIS MUÑOA MILAGROS VEGA	PIERO SANTAMARIA
	OFICINAS GERENCIA			
	SALA OAKLEY			
	SALA RAY BAN			
04 ABRIL	AREA DE VESTIDORES	SECTOR 13 - ÁREAS COMUNES (VESTUARIO, COMEDOR, RECEPCIÓN)	ELIZABETH MAYTA DORIS ROJAS	DAVID PANTOJA
	RECEPCION			
	COMEDOR			

Anexo 10. Aplicativo para realizar auditorías 5S



Anexo 11. Resultado de primera auditoria 5S

Items

Área 1 | Datos generales

Seleccione su nombre (Obligatorio)

Elizabeth Mayta

Area a auditar (Obligatorio)

Sala Limpia

Área 2 | Observaciones

Seleccione la categoría a evaluar

Material

Componentes Materiales

Materia prima





Indicar la ubicación dentro del área

mesa de trabajo

Indicar el aspecto observado

se observa luna dejadas sobre objetos

Seleccione una "S" para la observación

2 S

Área 3 | Observaciones

Seleccione la categoría a evaluar

◉ *Material*

Componentes Materiales

◉ *Otros*





Indicar la ubicación dentro del área

Preparación de muestras y Sand Blat

Indicar el aspecto observado

Áreas de trabajo sucias

Seleccione una "S" para la observación

◉ *3 S*

Ingrese un valor

-10

Área 4 | Observaciones

Seleccione la categoría a evaluar

◉ *Activo*



Área 13 | Resultado Final

Puntaje (Obligatorio)

-125

Puntaje Final 6 S (%) (Obligatorio)

75

Anexo 12. Resultado y reconocimiento segunda auditoria 5S + seguridad

N°	SECTOR	ÁREA	RESPONSABLE DE SECTOR	RESULTADO
1°	SECTOR 2	Lentes de Contacto	Deivy Paredes	86%
2°	SECTOR 9	Sala Limpia	Elvio Isidro	85%
3°	SECTOR 3	Ecommerce / Wholesale / Devoluciones	Lourdes Manrique	84%
4°	SECTOR 1	Despacho / Control Documentario	Guido Bazaldúa	81%
5°	SECTOR 12	Oficina Administrativos	Piero Santamaría	81%
6°	SECTOR 6	Frame Received / Picking Lenses	Christian Chiscul	80%
7°	SECTOR 4	Almacén Monturas	Juan Guzmán	76%
8°	SECTOR 7	Corte y Montaje / Mailed Out	José Martínez	76%
9°	SECTOR 8	Mantenimiento / Patio Sur	Ayrton Bernuy	75%
10°	SECTOR 13	Entrada / comedor / vestuarios	David Pantoja	74%
11°	SECTOR 11	Digitación / Oficina Soporte	Oliver Alberca	73%
12°	SECTOR 10	Freeform / Coloreado	Luis Caballero	64%
13°	SECTOR 5	Consumibles y Suministros	Juan Carlos Villcas	60%





Anexo 13. Base de datos y cálculos estadísticos – Hipótesis general (antes vs. después)

Tabla A13.1.

Productividad mensual del área de recubrimiento antirreflejo antes y después de la implementación de Lean Manufacturing

Periodo	Mes	Horas/mes	Cantidad final (unid)	Productividad (unid/h)
Antes de Lean	Ene-24	565.50	36 461	64,48
	Feb-24	522.00	33 670	64,50
	Mar-24	587.25	35 328	60,16
	Abr-24	565.50	36 490	64,53
	May-24	565.50	36 494	64,53
	Jun-24	565.50	36 586	64,70
	Jul-24	587.25	37 861	64,47
Después de Lean	Ago-24	565.50	39 719	70,24
	Set-24	565.50	40 387	71,42
	Oct-24	565.50	40 367	71,38
	Nov-24	565.50	40 419	71,47
	Dic-24	587.25	41 967	71,46
	Ene-25	565.50	40 509	71,63
	Feb-25	522.00	37 431	71,71

*Nota***.** La productividad se expresa en unidades por hora (unid/h) y se obtuvo a partir de los registros mensuales de producción del área de recubrimiento antirreflejo.

Tabla A13.2.

Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk) – Productividad antes y después de Lean

Variable	W	p	Conclusión
Productividad antes de Lean	0,495	1.4e-05	No normal
Productividad después de Lean	0,676	0,002016	No normal

*Nota***.** W corresponde al estadístico de Shapiro–Wilk y p al nivel de significancia. Se rechaza normalidad cuando $p < 0,05$.

Tabla A13.3.

Resultados de la prueba U de Mann–Whitney para muestras independientes

Variables comparadas	Estadístico U	p
Productividad (antes) – Productividad (después)	0,000	0,0006

*Nota***.** Se trabajó con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

Anexo 14. Base de datos y cálculos estadísticos – Hipótesis específica 1 (5S vs Productividad)

Tabla A14.1.
Nivel de cumplimiento de las 5S y productividad mensual del área de recubrimiento antirreflejo

Mes	Cumplimiento 5S (%)	Horas/mes	Cantidad final (unid)	Productividad (unid/h)
Ago-24	75	565.50	39 719	70,24
Set-24	85	565.50	40 387	71,42
Oct-24	85	565.50	40 367	71,38
Nov-24	87	565.50	40 419	71,47
Dic-24	90	587.25	41 967	71,46
Ene-25	93	565.50	40 509	71,63
Feb-25	95	522.00	37 431	71,71

*Nota***.** La productividad se expresa en unidades por hora (unid/h) y se obtuvo a partir de los registros mensuales del programa 5S y de producción del área de recubrimiento antirreflejo.

Tabla A14.2.
Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk) – Cumplimiento 5S y productividad

Variable	W	p	Conclusión
Cumplimiento 5S (%)	0,932	0,568	Distribución normal
Productividad (unid/h)	0,679	0,002	No normal

*Nota***.** Se asume normalidad de las variables cuando p > 0,05.

Tabla A14.3.
Prueba de correlación (Spearman) – Cumplimiento 5S y productividad

Variables comparadas	ρ de Spearman	p	Conclusión
Cumplimiento 5S (%) – Productividad (unid/h)	0,955	0,001	Correlación positiva significativa

Nota. ρ corresponde al coeficiente de correlación de Spearman y p al nivel de significancia estadística.

Tabla A14.4.
Resultados del modelo de regresión lineal (complementario) – 5S sobre productividad

Parámetro	Coeficiente	Error Est.	t	p
β_0 (Intercepto)	65,31	1,14	57,12	< 0,001
β_1 (Pendiente)	0,069	0,013	5,28	0,003
R^2	0,848			

*Nota***.** β_0 y β_1 representan el intercepto y la pendiente del modelo de regresión lineal, respectivamente. R^2 indica el grado de explicación del modelo.

Anexo 15. Base de datos y cálculos estadísticos – Hipótesis específica 2 (SMED → Productividad)

Tabla A15.1.
Nivel de cumplimiento del SMED y productividad mensual del área de recubrimiento antirreflejo

Mes	Cumplimiento SMED (%)	Horas/mes	Cantidad final (unid)	Productividad (unid/h)
Ago-24	78	565,50	39 719	70,24
Set-24	80	565,50	40 387	71,42
Oct-24	83	565,50	40 367	71,38
Nov-24	85	565,50	40 419	71,47
Dic-24	86	587,25	41 967	71,46
Ene-25	88	565,50	40 509	71,63
Feb-25	89	522,00	37 431	71,71

*Nota***.** La productividad (unid/h) se calculó a partir de las horas efectivas y la cantidad final producida, mientras que el cumplimiento del SMED (%) proviene de las auditorías mensuales del área de recubrimiento antirreflejo.

Tabla A15.2.
Prueba de normalidad (Shapiro–Wilk) – Cumplimiento SMED y productividad

Variable	W	p	Conclusión
Cumplimiento SMED (%)	0,952	0,749	Distribución normal
Productividad (unid/h)	0,679	0,002	No normal

*Nota***.** Se asume normalidad cuando $p > 0,05$.

Tabla A15.3.
Prueba de correlación (Spearman) – Cumplimiento SMED y productividad

Variables comparadas	ρ de Spearman	p	Conclusión
Cumplimiento SMED (%) – Productividad (unid/h)	0,929	0,003	Correlación positiva significativa

*Nota***.** ρ corresponde al coeficiente de correlación de Spearman y p al nivel de significancia estadística.

Tabla A15.4.
Resultados del modelo de regresión lineal (complementario) – SMED sobre productividad

Parámetro	Coeficiente	Error Est.	t	p
β_0 (Intercepto)	63,13	2,76	22,86	< 0,001
β_1 (Pendiente)	0,097	0,033	2,97	0,031
R^2	0,638			

*Nota***.** β_0 y β_1 representan el intercepto y la pendiente del modelo. R^2 indica el grado de explicación del modelo.

Anexo 16. Contraste estadístico – Hipótesis específica 3 (5S + SMED → costo unitario)

Tabla A16.1.
Costo unitario mensual antes y después de Lean (S/ por lente)

Periodo	Mes	Total costo de producción (S/)	Producción real mensual (unid)	Costo unitario mensual (S/ por lente)
Antes de Lean	Ene-24	167 905	38 792	4,33
Antes de Lean	Feb-24	152 033	35 822	4,24
Antes de Lean	Mar-24	162 584	37 345	4,35
Antes de Lean	Abr-24	164 932	38 822	4,25
Antes de Lean	May-24	164 996	38 836	4,25
Antes de Lean	Jun-24	167 060	38 851	4,30
Antes de Lean	Jul-24	175 419	40 330	4,35
Después de Lean	Ago-24	158 786	41 786	3,80
Después de Lean	Set-24	159 851	41 803	3,82
Después de Lean	Oct-24	159 916	41 820	3,82
Después de Lean	Nov-24	157 112	41 872	3,75
Después de Lean	Dic-24	167 436	43 536	3,85
Después de Lean	Ene-25	158 506	41 975	3,78
Después de Lean	Feb-25	147 297	38 762	3,80

*Nota***.** El costo unitario mensual se calculó como: Costo unitario = (Total costo de producción mensual) / (Producción real mensual).

Tabla A16.2.
Prueba de normalidad Shapiro–Wilk del costo unitario mensual por periodo (pre – post)

Variable	W	p	Conclusión
Costo unitario antes de Lean	0,844	0,108	Distribución normal
Costo unitario después de Lean	0,972	0,909	Distribución normal

*Nota***.** En un diseño pre–post con dos muestras independientes, el supuesto de normalidad se evalúa por separado en cada grupo: costo unitario antes de Lean y costo unitario después de Lean. Se asume normalidad cuando $p > 0,05$.

Tabla A16.3.
Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene

Variable	Estadístico de Levene	p	Conclusión
Costo unitario mensual	2,881	0,115	Varianzas homogéneas

*Nota***.** La prueba de Levene se aplicó para evaluar la homogeneidad de varianzas entre el costo unitario mensual antes y después de Lean. Se asume homogeneidad de varianzas cuando $p > 0,05$.

Tabla A16.4.

Prueba t de Student para muestras independientes del costo unitario (costo unitario pre vs. post)

Media pre (S/)	Media post (S/)	Diferencia de medias (pre – post)	t	gl	p
4,296	3,803	0,493	22,301	12	< 0,001

*Nota***.** La reducción promedio del costo unitario fue de 0,493 S/ por lente (IC 95%: 0,445 a 0,541).