

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

DELVALLE
GRUPO EDUCATIVO

**Optimización del tiempo de *set up* en las impresoras flexográficas
utilizando las herramientas de *lean manufacturing***

Trabajo de graduación presentado por Keiry Fernanda Chang Palma del estudiante para
optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala 2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Optimización del tiempo de *set up* en las impresoras flexográficas
utilizando las herramientas de *lean manufacturing***

Trabajo de graduación presentado por Keiry Fernanda Chang Palma del estudiante para
optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecánica Industrial


Guatemala 2025

Asesor



Ing. Gustavo Barrera

Vo.Bo. Director



Ing. Gustavo Barrera
Ingeniería Mecánica Industrial

Fecha de presentación: Guatemala, 18 de noviembre de 2025

Índice

Lista de cuadros.....	7
Lista de cuadros.....	8
CAPÍTULO 1	9
Introducción	9
CAPÍTULO 2	10
Justificación.....	10
CAPÍTULO 3	11
Objetivos	11
3.1. Objetivo general.....	11
3.2. Objetivos específicos	11
CAPÍTULO 4	12
Identificación de requisitos	12
4.1. Identificación de requisitos por metodología de recolección.....	12
CAPÍTULO 5	14
Revisión del estado del arte.....	14
5.1. Aplicación de herramientas <i>lean</i> en la industria	14
5.2. Validación estadística de los proyectos <i>lean</i>	18
CAPÍTULO 6	23
Metodología	23
6.1. Secciones de planificación	23
6.2. Componentes de Accesibilidad.....	24
6.3. Identificación de necesidades.....	24
6.4. Desarrollo metodológico de las fases del estudio	26
CAPÍTULO 7	38
Resultados	38
7.1. Aplicación de estrategias <i>lean manufacturing</i>.....	38
CAPÍTULO 8	59
Discusión de resultados.....	59
8.1. Relación entre las intervenciones cualitativas y la reducción cuantitativa de tiempos improductivos	59
8.2. Correspondencia entre la mejora en los flujos de trabajo (VSM) y la estabilidad del proceso	60

8.3. Integración entre la estandarización mediante SMED y la mejora cuantitativa en el desempeño.....	60
8.4. Relación entre la mejora operativa y la disponibilidad (OEE parcial).....	61
8.5. Integración global de resultados cualitativos y cuantitativos	61
8.6. Análisis crítico final.....	62
CAPÍTULO 9	63
Conclusiones	63
CAPÍTULO 10	64
Recomendaciones.....	64
CAPÍTULO 11	65
Bibliografías.....	65
CAPÍTULO 12	68
Glosario	68

Lista de cuadros

Cuadro 1. Motivos de paro identificados en el diagrama de Pareto	25
Cuadro 2. Clasificación de actividades de desmontaje o montaje	28
Cuadro 3. Clasificación de actividades internas y externas	29
Cuadro 4. Conversión de actividades internas a externas	30
Cuadro 5. Distribución de tareas del grupo de trabajo	31
Cuadro 6. Clasificación de variables	34
Cuadro 7. Reducción de tiempo de búsqueda	48
Cuadro 8. Resultados de aplicar SMED	51
Cuadro 9. Análisis descriptivo del tiempo de <i>set up</i>	52
Cuadro 10. Análisis del porcentaje de tiempo de <i>set up</i>	53
Cuadro 11. Análisis de disponibilidad (OEE)	54
Cuadro 12. Resultados de normalidad	55
Cuadro 13. Prueba Kruskal-Wallis	56
Cuadro 14. Prueba T de Student	57
Cuadro 15. Prueba Mann-Whitney U	58

Lista de figuras

Figura 1. Diagrama de Pareto	25
Figura 2. Sistema de registro de tiempos (PISO)	32
Figura 3. Formato de toma de datos	33
Figura 4. Estantería antes de 5S	38
Figura 5. Condiciones de adaptadores antes de 5S.....	39
Figura 6. Clasificación de adaptadores	39
Figura 7. Estantería después de 5S	40
Figura 8. Estantería 2 antes de 5S	41
Figura 9. Estantería 2 después de 5S	42
Figura 10. Estantería de rodillos entintadores	43
Figura 11. Rodillos sin ubicación	44
Figura 12. Identificación en <i>revolvers</i>	44
Figura 13. Ubicación específica de rodillos	45
Figura 14. Estantería antes de 5S (montaje)	46
Figura 15. Almacén de mangas	46
Figura 16. Estantería para impresoras 7 y 8	47
Figura 17. Estantería para impresoras 5 y 6	47
Figura 18. Carros antes de VSM	49
Figura 19. Carro de pre prensa	50
Figura 20. Diagrama de responsabilidades (impreso)	51
Figura 21. Diagrama de responsabilidades general	52
Figura 22. Boxplot tiempo de <i>set up</i>	53
Figura 23. Boxplot porcentaje de <i>set up</i>	54
Figura 24. Boxplot disponibilidad	55
Figura 25. Carta de control XmR	56

CAPÍTULO 1

Introducción

La creciente competitividad en el sector de impresión flexográfica exige procesos cada vez más eficientes, capaces de responder con rapidez a la variabilidad de la demanda y mantener la calidad del producto. En este contexto, los tiempos de preparación o *set up* representan una de las principales fuentes de improductividad, al afectar directamente la disponibilidad operativa de las máquinas y, por ende, la productividad general del sistema.

El presente estudio tiene como propósito analizar y demostrar la efectividad de las herramientas de *lean manufacturing* en la reducción del tiempo de *set up* en impresoras flexográficas. Para ello, se implementaron de forma controlada las metodologías 5S, *value stream mapping* (VSM), *single minute exchange of die* (SMED) y *gemba walk*, con el objetivo de optimizar el entorno de trabajo, eliminar desperdicios operativos y estandarizar los procesos de cambio de orden.

El enfoque metodológico se estructuró en dos fases: una cualitativa, destinada a la aplicación de las herramientas *lean*, y una cuantitativa, orientada a validar estadísticamente los resultados mediante pruebas de normalidad, ANOVA, Kruskal-Wallis y *t-test*, aplicadas a indicadores clave como el tiempo de *set up*, el porcentaje de utilización y la disponibilidad (OEE parcial).

Este proyecto no solo busca evidenciar la mejora operativa a través de la reducción del tiempo improductivo, sino también fomentar una cultura organizacional basada en la mejora continua, la estandarización del trabajo y la participación del personal operativo en la generación de valor.

CAPÍTULO 2

Justificación

En la planta industrial guatemalteca objeto de estudio, el proceso de *set up* (conocido como cuadro) en las impresoras flexográficas representa la principal causa de improductividad, acumulando una fracción considerable del tiempo perdido según el análisis de Pareto. Este problema se origina en la alta variabilidad del tiempo de cuadro, la falta de estandarización y deficiencias en la organización de recursos como mangas, rodillos entintadores y adaptadores. Las paradas frecuentes y prolongadas impactan directamente la disponibilidad de la máquina y reducen la capacidad productiva.

Implementar un proyecto de optimización del *set up* mediante herramientas *lean manufacturing* resulta crítico no sólo para reducir estos tiempos improductivos, sino para establecer procesos robustos que mejoren la competitividad de la planta. La metodología propuesta es viable, pues aprovecha herramientas probadas (5S, VSM, SMED y *gemba walk*) y se adapta a las restricciones y necesidades reales identificadas en reuniones previas con gerentes y jefes de área.

El proyecto permitirá contar con un método estandarizado que facilitará futuras replicaciones o mejoras continuas. Se espera que, al concluir el trabajo, se evidencian reducciones significativas en el tiempo de cuadro y un incremento en la disponibilidad operativa (OEE), beneficiando directamente los indicadores de productividad de la planta, así como el cumplimiento de pedidos y la satisfacción del cliente.

CAPÍTULO 3

Objetivos

3.1. Objetivo general

Demostrar, por medio de un análisis estadístico, que la implementación de herramientas de *lean manufacturing* reduce en un mínimo del 25% el tiempo de *set up* y mejora la disponibilidad operativa (OEE parcial) de las impresoras flexográficas en un periodo de seis meses.

3.2. Objetivos específicos

- Analizar las principales causas de improductividad en el proceso de *set up* mediante un estudio de Pareto y observación directa durante el primer mes, para establecer prioridades de intervención.
- Estandarizar el entorno de trabajo y los flujos de insumos mediante la implementación de las metodologías 5S y VSM durante el segundo y tercer mes, asegurando la mejora en los tiempos de localización de herramientas y materiales.
- Optimizar el proceso de cambio de orden aplicando la metodología SMED, mediante la clasificación y conversión de actividades internas y externas, e implementando un nuevo estándar de trabajo con capacitación al personal, entre el cuarto y quinto mes.
- Determinar si existe una reducción significativa en el tiempo de *set up* (en minutos), antes y después de la implementación de las herramientas de *lean manufacturing*.
- Determinar si existe una reducción en el porcentaje de tiempo de *set up*, antes y después de la implementación de las herramientas de *lean manufacturing*.
- Determinar si existió un aumento significativo en la disponibilidad operativa (OEE parcial), antes y después de la intervención.

CAPÍTULO 4

Identificación de requisitos

En esta sección se presenta la recopilación de información primaria, real y no interpretada, obtenida directamente en el campo de estudio para establecer los requisitos válidos y funcionales que guiarán la propuesta de optimización de este trabajo de graduación. La validación de los requisitos se llevó a cabo mediante la aplicación de las siguientes técnicas de investigación en el entorno operativo de las impresoras flexográficas.

4.1. Identificación de requisitos por metodología de recolección

La identificación de los requisitos operativos se estructuró a través de tres métodos clave: entrevistas con personal clave, muestreos del tiempo de proceso y visitas de campo para documentación visual y métrica.

4.1.1. Entrevistas

Se realizaron entrevistas semiestructuradas al personal operativo y de soporte del área de impresión, preprensa y tintas, con el objetivo de identificar las actividades que generan mayor tiempo de inactividad, los puntos de dolor y las necesidades no cubiertas en la rutina diaria.

Población y muestra: Se entrevistó a un total de 8 individuos, incluyendo 4 operarios, 1 alistador, 1 montador, y 2 Supervisores del área de Impresión. Las entrevistas se llevaron a cabo entre el 20 de enero y el 21 de febrero en las instalaciones de la planta.

Información obtenida más relevante:

- Identificación de actividades sin valor agregado (muda): el operario 1 (Carlos Ochoa) indicó: "Se pierde mucho tiempo buscando los *anilox* y las mangas porque no están organizados cerca de la máquina". Varios de los operarios de las impresoras concordaban con este comentario.
- Problemas de almacenamiento: ambos montadores concordaban en que se tiene grandes problemas con la acumulación de mangas ya desmontadas porque no se sabe cuándo dejan de utilizar y que existía una falta de comunicación entre áreas.

4.1.2. Muestreos y levantamiento de datos de producción

Se realizó un muestreo para la medición del tiempo de *set up* actual (línea base) en las impresoras flexográficas, con el objetivo de cuantificar la magnitud del problema y desglosar el proceso en sus componentes.

Población y muestra: se muestreó un total de 35 cambios de trabajo (*set up*) en las máquinas 5, 6 y 7 durante el periodo de noviembre de 2024 a enero de 2025.

4.1.3. Visitas de campo y documentación métrica

Se realizaron visitas de campo al área de impresión, *set up* y tintas para obtener la documentación visual y métrica necesaria para el diseño de la propuesta, enfocada en la distribución de planta (*layout*) y el manejo de materiales.

4.1.4. Identificación de necesidades

La empresa tiene 3 cambios de turno y se observó que en cada uno se realizan como mínimo 2 cambios de orden. Cada orden tiene un rango de 2- 8 colores para imprimir. Esto quiere decir que por cada color se debe de utilizar una manga, una plancha, un rodillo entintador y si es necesario un adaptador.

CAPÍTULO 5

Revisión del estado del arte

El presente capítulo constituye el estado del arte para la optimización del tiempo de *set up* en impresoras flexográficas. Su objetivo es revisar la literatura especializada y las publicaciones recientes sobre la aplicación de las herramientas de *lean manufacturing* y las pruebas estadísticas utilizadas para validar sus efectos. La revisión se ha estructurado en dos secciones principales.

La primera examina los estudios de caso sobre la implementación de herramientas como SMED, 5S, VSM y *gemba walk* para la reducción de tiempos improductivos. La segunda parte se enfoca en la validación estadística de estos proyectos, revisando el uso de pruebas paramétricas como ANOVA y *t-test*, así como pruebas no paramétricas como Kruskal-Wallis y Mann-Whitney U, complementadas con el análisis de la estabilidad del proceso a través de cartas de control Shewhart.

5.1. Aplicación de herramientas *lean* en la industria

Diversos estudios establecen que, antes de la implementación de las metodologías *lean*, es crucial descubrir las razones principales detrás de los problemas identificados [1]. Por lo tanto, se ha documentado la necesidad de realizar un análisis de no conformidad para identificar los elementos que generan mayor pérdida financiera [2].

El análisis de Pareto se ha utilizado en múltiples investigaciones para demostrar que el 80% de las consecuencias se deben al 20% de las causas. La aplicación de este principio ha permitido a otros autores determinar las causas principales de tiempos improductivos, obteniendo la información a partir de datos del sistema recolectados en un periodo de tiempo determinado.

En la literatura, la implementación de *lean manufacturing* a menudo comienza con una etapa preliminar que requiere un análisis detallado del proceso. Se ha reportado que en esta fase se registran los tiempos de cambio y se analizan las condiciones del "set up". Para ello, se ha documentado la importancia del acercamiento con los operarios [3], quienes aportan información sobre elementos que influyen en el proceso, como los *anilox*, adaptadores, material, cuchillas de corte, etc.

Otros estudios recientes relatan que la investigación debe comenzar con la recopilación de datos de producción, incluyendo el tiempo de preparación previa al cambio de orden, los costos y los tipos de productos a generar. Además, se han realizado observaciones directas sobre el proceso de cambio para validar las estadísticas generadas [5].

Más allá de la recolección de datos basada en la observación, se ha demostrado la importancia de realizar consultas a todos los niveles de gestión para conocer sus opiniones y registrar sugerencias de mejora [6]. El artículo *Improving the Machining Process of the Metalworking Industry Using the Lean Tool SMED* [7] resalta la importancia de involucrar a todo el personal para garantizar el éxito y la sostenibilidad de los procesos. Para lograrlo, es fundamental crear conciencia a través de talleres o debates sobre los principios de *lean* [16].

Adicionalmente, se ha establecido la necesidad de identificar los 7 desperdicios antes de implementar herramientas *lean*, ya que metodologías como VSM, Kanban, *kaizen*, 5S, TPM y SMED se utilizan para minimizar estos desperdicios. En varios estudios, el enfoque ha sido en la reducción de desperdicios como esperas, transporte, movimiento innecesario y procesamiento excesivo [8].

Existen diferentes formas de identificar las actividades de desperdicio. La literatura señala que una de las herramientas más adecuadas para este tipo de estudios es el *gemba walk* [9]. Esta técnica ha brindado a los investigadores la oportunidad de observar el trabajo en su lugar de origen, permitiendo la identificación real de los desperdicios en acción.

5.1.1. Selección de estrategias *lean*.

Las herramientas más frecuentes adoptadas por empresas de impresión son *six sigma*, 5S, SMED y en ocasiones *just in time* o *kaizen*, en el caso de 5s y *six sigma* son más fáciles de mantener en largos plazos [10]. En este estudio se centrará en 5S y SMED, ya que, dentro de las especificaciones dadas previas, es necesario optimizar el área física y mejorar las operaciones relacionadas con el cambio de orden. A continuación, se presenta el impacto que las metodologías que el área necesita implementar (5s y SMED) ha tenido resultados en otras empresas. Es esencial considerar que a pesar de que los resultados son de industrias distintas, *lean manufacturing* presenta la ventaja de que es aplicable a cualquiera.

5.1.2. SMED (*single minute exchange of dies*)

En un estudio de caso en una empresa de etiquetado y embalaje en Bangladesh, se aplicó un enfoque *lean* que incluyó SMED, VSM y Kanban. El objetivo era mejorar el rendimiento frente a la competencia y las demandas de los clientes. Como

resultado, se logró reducir el plazo de entrega en un 7.1% y la tasa de quejas en un 83%, lo que demostró la efectividad de estas herramientas para mejorar la calidad y la productividad [1].

En una empresa editorial y de impresión en Indonesia, se utilizó el método SMED para reducir el largo tiempo de cambio, que era el principal cuello de botella de la producción. Se logró convertir el 45% de las actividades de configuración internas en externas, y se complementa con la metodología 5S para organizar las herramientas del área de trabajo. Como resultado, el tiempo de configuración interna se redujo en un 46% (de 14 minutos y 37 segundos a 7 minutos y 59 segundos), lo que generó un incremento del 2% en la producción diaria [5].

En un estudio en una empresa metalúrgica en Portugal, se utilizó la herramienta *lean*, SMED para eliminar desperdicios y aumentar la productividad en su sector de mecanizado. Para esto, se redujeron los tiempos de preparación en un 40% en la fresadora vertical y en un 57% en la fresadora horizontal [7].

Un fabricante de sistemas de escape automotriz en la India, se aplicó la metodología SMED para abordar el problema de los largos tiempos de cambio. El objetivo fue reducir el tiempo de preparación en una máquina de prensa identificada como un cuello de botella. Mediante la conversión de actividades internas a externas, el tiempo de cambio se redujo de 260 a 166 minutos, lo que representa una disminución del 36%. Esto permitió que la producción de lotes aumentará de 60 a 75 por mes [11].

La reducción de tiempo de configuración en una máquina de embutición profunda en la producción de componentes automotrices fue del 38% [12].

5.1.3. VSM (*value stream mapping*)

En un estudio en una línea de fabricación de brazos articulados (*global booms*), se utilizó el mapeo de la cadena de valor (VSM) para abordar la problemática de no poder cumplir con la demanda del cliente y las ineficiencias del proceso. Se identificaron problemas como el exceso de inventario y los tiempos de preparación elevados. La aplicación de *lean* y *kaizen* llevó a una reducción total de 586 minutos en el tiempo de entrega de producción, lo que permitió a la empresa aumentar su tasa de producción y satisfacer la demanda del cliente [16].

En un programa de capacitación basado en realidad virtual (VR) para mejorar el desempeño de las operaciones de capacitación. El objetivo fue abordar la insuficiencia de los mecanismos de instrucción existentes para identificar y eliminar el desperdicio en las actividades de entrenamiento. Los resultados comparativos mostraron que el tiempo de desperdicio y los errores se redujeron significativamente, y la productividad general del proceso mejoró un 12% en comparación con el método convencional [17].

En un estudio sobre un fabricante de ropa interior en la provincia de Java Central, Indonesia, se identificó que el principal desperdicio en el proceso de producción de brasieres era el movimiento innecesario. Para minimizar este desperdicio y los retrasos en las entregas, se eliminaron y simplificaron actividades que no aportan valor. Como resultado, se logró acelerar el tiempo de producción del modelo de brasier en 3 minutos y aumentar la eficiencia promedio de la línea en un 6.17% [18].

5.1.4. 5S

La metodología 5s busca la creación de una cultura de mejora laboral utilizando la clasificación, orden, limpieza, estandarización y disciplina del personal, creando hábitos en el área trabajada [13]. Las ventajas de este método es que se puede realizar en cualquier rubro y área laboral.

- En un estudio realizado en una empresa de fabricación de bolsas de plástico en Bangladesh, se aplicó la metodología 5S para reducir dos desperdicios principales: el tiempo de espera y el movimiento innecesario. Como resultado, el tiempo total de operación se redujo en un 8% en la operación de soplado y en un 18% en la de impresión, lo que demostró la efectividad de la herramienta para eliminar actividades que no agregan valor [8].
- En un estudio sobre una empresa manufacturera de adhesivos acuosos que enfrentaba una baja productividad, se aplicó una estrategia de mejora basada en la metodología 5S y *kaizen*. La aplicación se desarrolló en etapas de diagnóstico, diseño e implementación durante 7 meses. Antes de la intervención, la productividad promedio era de 4.37 Kg/h-h. Después de la aplicación de las metodologías *lean*, el valor promedio de productividad aumentó a 5.58 Kg/h-h [13].
- En un estudio de caso en una Pyme del sector de impresión flexográfica en Perú, se buscó mejorar la eficiencia operacional para resolver problemas como la alta variabilidad en los tiempos de preparación, errores operativos y falta de organización en las estaciones de trabajo. La investigación propuso un modelo de producción basado en *lean manufacturing* que integró las metodologías SMED, 5S y trabajo estandarizado. Como resultado, se logró reducir los tiempos de preparación en un 32% en los cuellos de botella y en un 50% en el tiempo de configuración, lo que se tradujo en un aumento del 7% en la eficiencia de la línea, un aumento del 43.24% en la disponibilidad y un ahorro anual de 69,338 USD [17].
- En un estudio de caso en una empresa de alimentos y bebidas en Bangladesh, se aplicó la metodología 5S para abordar la pérdida de tiempo

y la baja eficiencia. La investigación se centró en la implementación de las 5S para mejorar la organización del área de trabajo, con el objetivo de eliminar el movimiento innecesario y el tiempo de espera que causaban desperdicios [20].

5.1.4. *Gemba walk*

En un estudio sobre la mejora de la eficiencia en un entorno de fabricación, se aplicó el *gemba walk* como un método para identificar problemas y crear una relación de confianza con los empleados. A través de visitas a la planta, se observaron las actividades y se interactuó con los trabajadores para identificar las causas de la baja eficiencia. Como resultado, se descubrieron tres problemas principales: el tiempo estándar poco realista, la mala asignación de tareas entre departamentos y la falta de producción en inventario.

En un estudio en una empresa de electrónica industrial y profesional en Eslovaquia, se aplicó el *gemba walk* para abordar el problema de la baja eficiencia laboral. A través de las visitas a la planta, se buscó identificar problemas y construir confianza con los empleados para recopilar información.

5.2. Validación estadística de los proyectos *lean*

- a) Un estudio que aplica rigurosamente la validación estadística es; *Aplicación del lean manufacturing (5S y kaizen) para el incremento de la productividad en el área de producción de adhesivos acuosos de una empresa manufacturera*, por Vargas y Camero (2021). La investigación se centra en resolver el problema de baja productividad en una empresa, donde se implementaron las metodologías 5S y kaizen.

Hipótesis planteadas

- Hipótesis nula (H_0): La productividad del 2019 es igual a la productividad del 2018.
- Hipótesis alternativa (H_a): La productividad del 2019 es mayor a la productividad del 2018.

Pruebas y diagramas realizados

- Prueba de normalidad: Para determinar si los datos seguían una distribución normal, el estudio aplicó la prueba de Shapiro-Wilk.
- Diagrama de caja (*Box-Plot*): Se utilizó un diagrama de caja para visualizar

la distribución de la productividad de 2018 y 2019.

- Prueba de hipótesis: La prueba estadística utilizada fue la de Wilcoxon, que es una prueba no paramétrica. Esta prueba es adecuada para datos que no siguen una distribución normal, como fue el caso.

Análisis de resultados

- Valor-p: el valor-p obtenido fue de 0.024.
- Nivel de significancia (α): se estableció un nivel de significancia de 0.05.

Conclusión de la hipótesis

Dado que el valor-p (0.024) es menor que el nivel de significancia (0.05), el estudio concluye que se rechaza la hipótesis nula (H_0). Esto significa que se acepta la hipótesis alternativa (H_a), confirmando que la productividad del 2019 fue significativamente mayor que la de 2018, validando así el efecto positivo de las metodologías *lean* aplicadas.

- b) Un estudio realizado por Carlos Monteiro, Luís P. Ferreira, Nuno O. Fernandes, J. C. Sá, M. T. Ribeiro y F. J. G. Silva en 2019, titulado *Improving the Machining Process of the Metalworking Industry Using the Lean Tool SMED*, se desarrolló en una empresa del sector metalmecánico. El objetivo fue eliminar desperdicios y aumentar la productividad en el área de mecanizado aplicando la herramienta SMED (*single minute exchange of dies*), orientada a reducir los tiempos de preparación en las máquinas.

Pruebas y diagramas realizados

- Análisis descriptivo: se emplearon métricas como máximo, mínimo, media y desviación estándar para evaluar la variabilidad de los tiempos de preparación antes y después de la implementación de SMED.
- Consistencia del proceso: la desviación estándar fue utilizada como indicador clave, mostrando si los tiempos se volvían más estables y predecibles tras la mejora.

Análisis de resultados

- Resultados en fresadora vertical: se logró una reducción del 40% en los tiempos de preparación.
- Resultados en fresadora horizontal: la mejora alcanzó el 57%.
- Impacto general: además de la reducción absoluta de tiempos, la desviación estándar mostró una mayor consistencia, lo que evidenció un proceso más predecible y eficiente.
- Nivel de significancia (α): se consideró un nivel estándar de 0.05 como

criterio de validación estadística implícita en los resultados.

- c) Un estudio realizado por Maciej Wojtaszak y Witold Biały en 2013, titulado *Measurement System Analysis of Attribute or Continuous Data, as one of the First Steps in Lean Six Sigma Projects*, se desarrolló en el marco de proyectos de *lean six sigma* en la industria del caucho. El objetivo fue analizar la confiabilidad del sistema de medición durante la fase medir del ciclo DMAIC, ya que la calidad de los datos es un requisito indispensable antes de aplicar mejoras o pruebas de hipótesis en los procesos productivos.

Hipótesis planteadas

- Hipótesis nula (H₀): el sistema de medición no introduce variaciones significativas y refleja de manera confiable las diferencias entre piezas.
- Hipótesis alternativa (H_a): el sistema de medición introduce variaciones significativas, afectando la confiabilidad de los datos recogidos.

Pruebas y análisis realizados

- ANOVA y Gage R&R: se descompuso la variación total en componentes (piezas, operadores, interacción operador × pieza y error de repetibilidad).
- Cartas de control de Shewhart (X-barra y R): Se aplicaron para verificar la estabilidad de las mediciones a lo largo del tiempo, detectando problemas de repetibilidad y reproducibilidad en las evaluaciones iniciales.
- Pruebas de hipótesis (p-valores del ANOVA): Se evaluaron diferencias significativas entre operadores y piezas.
- Estadística descriptiva: Se emplearon medidas de posición y dispersión (media, mínimos, máximos y desviación estándar) para caracterizar la variabilidad de las mediciones.

Análisis de resultados

- Antes de mejoras: más del 50% de la variación provenía del sistema de medición, especialmente de la reproducibilidad. Las cartas de control mostraron puntos fuera de control, evidenciando inestabilidad en las mediciones. Los p-valores confirmaron que la interacción operador × pieza era significativa, lo que comprometía la confiabilidad de los datos.
- Después de mejoras (capacitación y mejor instrumentación): la variación atribuible al sistema se redujo a 17%, considerada marginalmente aceptable. Las cartas de Shewhart mostraron mayor estabilidad, y los operadores no introdujeron diferencias sistemáticas ($p > 0.7$).

Conclusión de la hipótesis

Aunque inicialmente se rechazó H_0 por la fuerte influencia del sistema de medición en la variación total, tras las mejoras implementadas la evidencia estadística apoyó que el sistema se volvió confiable para su uso en proyectos *lean six sigma*.

- d) Un estudio realizado por Oyedolapo Ogunbiyi, Adebayo Oladapo y Jack Goulding en 2014, titulado *An empirical study of the impact of lean construction techniques on sustainable construction in the UK*, se desarrolló en empresas constructoras del Reino Unido. El objetivo fue analizar cómo la aplicación de técnicas de *lean construction* contribuye al desarrollo de la construcción sostenible, explorando beneficios, áreas de enlace entre ambos enfoques y el nivel de adopción dentro del sector.

Hipótesis planteadas

- Hipótesis nula (H_{01}): no existe un entendimiento generalizado del concepto de *lean* y sostenibilidad en la industria de la construcción.
- Hipótesis nula (H_{02}): la adopción de *lean* y sostenibilidad no depende de la conciencia de los beneficios que generan.
- Hipótesis nula (H_{03}): no hay sinergias o vínculos entre *lean construction* y sostenibilidad.
- Hipótesis alternativas (H_a): se planteó que sí existe entendimiento generalizado, que la adopción depende de la conciencia de beneficios y que hay sinergias claras entre *lean* y sostenibilidad.

Pruebas y técnicas estadísticas realizadas

- Prueba de fiabilidad (Cronbach's α): para validar la consistencia interna de los cuestionarios ($\alpha = 0.807$, considerado "bueno").
- *t-test* de una muestra: para comprobar si los beneficios percibidos superaban el umbral crítico de 2.5 en la escala Likert aplicada ($\alpha = 0.05$).
- Prueba de concordancia de Kendall (W): para evaluar el grado de acuerdo entre los encuestados ($p = 0.000 \rightarrow$ rechazo de H_0).
- Kruskal-Wallis: Para identificar diferencias significativas entre profesionales con menor y mayor experiencia.

Análisis de resultados

- Beneficios más valorados: mejor imagen corporativa, aumento de productividad, reducción de residuos y menor consumo de energía.
- Áreas de enlace *lean*–Sostenibilidad: Los más fuertes fueron la reducción

de residuos, la gestión ambiental y la maximización del valor; el menos relevante fue la reducción de costos.

- Uso de herramientas *lean*: las más empleadas fueron *Just-in-Time*, *visualización*, *reuniones diarias*, *análisis de valor* y *mapeo de la cadena de valor*; mientras que *six sigma* fue la menos utilizada.
- Nivel de significancia (α): se trabajó con $\alpha = 0.05$ y todos los beneficios y vínculos analizados resultaron estadísticamente significativos.

CAPÍTULO 6

Metodología

6.1. Secciones de planificación

La metodología de este trabajo de graduación se estructuró en dos grandes partes: cualitativa y cuantitativa. El objetivo fue definir con precisión los parámetros del estudio y asegurar un enfoque integral en la implementación de herramientas *lean manufacturing* y en la validación estadística de sus efectos.

6.1.1. Parte cualitativa

Esta fase se centró en la implementación controlada de estrategias *lean* en el proceso de *set up* (cuadre) de las impresoras. Se aplicaron tres herramientas clave: 5S, VSM, SMED y *gemba walk*, orientadas a mejorar el entorno de trabajo, optimizar los flujos de insumos y estandarizar el cambio de orden, respectivamente.

6.1.2. Parte cuantitativa

La segunda fase tuvo como objetivo medir el impacto de las herramientas *lean* implementadas, utilizando indicadores específicos relacionados con la eficiencia del proceso de cuadre: tiempo de cuadre, porcentaje de cuadre y disponibilidad (OEE parcial). Se empleó un diseño cuasi-experimental con observación directa, donde se recolectaron datos antes, durante y después de la intervención. Los resultados fueron procesados con herramientas estadísticas (Excel y RStudio) y analizados mediante pruebas de normalidad, análisis de varianza (ANOVA), *t-test* y Kruskal-Wallis, según la distribución de los datos.

6.2. Componentes de Accesibilidad

Como parte del diseño del estudio, se llevaron a cabo reuniones con gerentes y jefes de área. El objetivo fue obtener información sobre las necesidades operativas, limitaciones del entorno de trabajo y prioridades productivas. Este acercamiento permitió definir el alcance posible de la implementación de herramientas *lean* en condiciones reales de planta.

6.3. Identificación de necesidades

6.3.1. Análisis de Pareto

El principio de Pareto (regla del 80/20) establece que una pequeña cantidad de causas genera la mayor parte de los efectos. Se identificaron las principales causas de paro que contribuyen al tiempo inactivo y que afectan la disponibilidad operativa de las impresoras.

Figura 1

Diagrama de Pareto relacionado a las causas



Fuente: Elaboración propio

Donde;

Cuadro 1

Motivos de paro identificados en el diagrama de Pareto

Razón	Motivos de tiempos muertos
A	Cambio de orden
B	Limpieza

C	Sin motivo reportado
D	Ajuste de condiciones de proceso
E	Cambio de componentes
F	Ajuste tonos colores
G	Montaje defectuoso / corrección
H	Fallo mecánico
I	Espera aprobación de calidad
J	Materiales no disponibles
K	Revientes
L	Parada administrativa
M	Falta de operario
N	Defectos de calidad
O	Falta insumos / herramientas
P	Falta montaje
Q	Mantenimiento programado
R	Maquina no programada
S	Corte energía
T	Materiales defectuosos
U	Defectos de calidad
V	Fallo eléctrico
W	Fallo servicios agua aire gas
X	Defecto material
Y	Falta colores / tintas
Z	Desarrollo productos
AA	Fallo electrónico
AB	Inventarios
AC	Especificaciones
AD	Máquina no programada

En particular, se observa que la categoría A, correspondiente al Tiempo de cuadro, representa el evento más recurrente y prolongado dentro de todas las fuentes de inproductividad analizadas, acumulando por sí sola una fracción considerable del total de horas perdidas. Esta concentración de impacto justifica que el proceso de cuadro sea priorizado como el principal foco de intervención dentro del proyecto.

6.4. Desarrollo metodológico de las fases del estudio

6.4.1. Parte cualitativa

La parte cualitativa del estudio se centró en la aplicación práctica de herramientas *lean manufacturing*, con el propósito de optimizar el proceso de *set up* (cuadre) en el área de impresión flexográfica. Las estrategias implementadas fueron 5S, *Value Stream Mapping* (VSM), SMED y *gemba walk*, ejecutadas bajo observación directa y en coordinación con las áreas de montaje y pre-prensa.

5S – Organización y estandarización visual

Se aplicó la metodología 5S para reducir el tiempo de búsqueda de elementos críticos en el cuadre, eliminando el desorden y facilitando la identificación de herramientas. Las acciones destacadas fueron:

- Clasificación de adaptadores por condición de buenos, medios y dañados (se procedió al desecho de estos) y ordenarlos por tamaño (47, 58, 69, 80).
- Clasificación de rodillos entintadores por condición de buenos, medios y dañados (se procedió al desecho de estos) y ordenarlos por número de matrícula en un espacio específico para cada unidad.
- Nueva distribución de espacios para montaje usado, clasificado por número de impresora.

Se estableció un chequeo diario de orden y ubicación, con la participación del turno completo para mantener los estándares de organización. Se deberá recolectar datos del tiempo de búsqueda antes y después de aplicar la estrategia para determinar el % de reducción de tiempo.

Value stream mapping (VSM) – rediseño de flujos de trabajo

VSM se utilizó para visualizar y rediseñar los flujos de insumos y procesos secundarios, con énfasis en la coordinación con el área de montaje. Las mejoras realizadas incluyeron:

- Resolución del cuello de botella en el manejo de mangas usadas, mediante carritos asignados en preprensa.
- Asignación clara de tareas y responsabilidades para cada miembro de la tripulación.

SMED – reducción estructurada del tiempo de *set up*

La metodología SMED se aplicó con un enfoque técnico y estructurado en el proceso de cuadro. Las acciones fueron:

- Clasificación de actividades de montaje y desmontaje.

Cuadro 2

Clasificación de actividades de desmontaje o montaje

Desmontaje	Montaje
1. Terminar orden anterior orden	1. Verificar siguiente orden
2. Cerrar orden	2. Traer mangas y estándar de color a preprensa o estantería.
3. Subir y retirar componentes (<i>anilox</i> , mangas, adaptadores)	3. Consultar condiciones de proceso
4. Llegar mangas a preprensa	4. Cargar o crear receta
5. Llevar ollas a lavar (olla, filtro, mezcladora)	5. Traer <i>anilox</i>
6. Lavar <i>anilox</i> (impresora)	6. Instalar componentes
7. Limpiar <i>anilox</i> (manual)	7. Verificar sentido de enhebrado
8. Llevar <i>anilox</i> a lavar	8. Verificar sentido de bobinado
9. Llevar bandeja a lavar	9. Verificar estado de raclas
10. Bajar tintas	10. Verificar cuchillas de corte y distancias de corte
11. Retiro de pantones.	11. Verificar mediciones
12. Retiro de desperdicio	12. Ingresar información a QM
13. Terminar de empacar última bajada	13. Traer rollo de cuadro
14. Terminar de balancear orden	14. Verifica lado tratado de material.
15. Retirar material de empaque	15. Instalar rollo y alinearlos con planchas
16. Retirar tarimas con unidades de manipulación	16. Colocar pega
17. Devolución de rollo sobrante	17. Subir tintas

	18. Medir viscosidades 19. Preparar bolsa para desperdicio 20. Traer adaptadores 21. Traer <i>cores</i> 22. Preparar material de empaque 23. Preparar tarima para bajas de impresión 24. Ajuste de tonos
--	--

- Clasificación de actividades internas y externas para las actividades de montaje. Estas son las que se deben de optimizar ya que el desmontaje se clasifica como actividades internas.

Cuadro 3

Clasificación de actividades internas y externas referentes al montaje

Internas: Máquina detenida	Externas: Máquina en funcionamiento
1. Traer mangas y estándar de color a preprensa o estantería. 2. Consultar condiciones de proceso 3. Cargar o crear receta 4. Traer <i>anilox</i> 5. Instalar componentes 6. Verificar sentido de enhebrado 7. Verificar sentido de bobinado 8. Verificar estado de raclas 9. Verificar cuchillas de corte y distancias de corte 10. Verificar mediciones 11. Traer rollo de cuadro 12. Verifica lado tratado de material. 13. Instalar rollo y alinearlos con planchas 14. Colocar pega 15. Subir tintas 16. Medir viscosidades 17. Preparar bolsa para desperdicio	2. Verificar siguiente orden 3. Ingresar información a QM

18. Traer adaptadores 19. Traer <i>cores</i> 20. Preparar material de empaque 21. Preparar tarima para bajas de impresión 22. Ajuste de tonos 23. Verificación de orden tonal	
--	--

- Toma de tiempos detallados de cada cambio de orden que se realiza.
- Conversión de actividades internas a externas en referencia a todo lo que se hace en el montaje de la nueva orden.

Cuadro 4

Conversión de actividades internas a externas para las actividades de montaje

Internas: Máquina detenida	Externas: Máquina en funcionamiento
1. Cargar o crear receta	1. Traer mangas y estándar de color a preprensa o estantería.
2. Instalar componentes	2. Consultar condiciones de proceso
3. Verificar sentido de enhebrado	3. Verificar siguiente orden
4. Verificar sentido de bobinado	4. Ingresar información a QM
5. Verificar estado de raclas	5. Traer <i>anilox</i>
6. Verificar cuchillas de corte y distancias de corte	6. Traer rollo de cuadro
7. Verificar mediciones	7. Verifica lado tratado de material.
8. Subir tintas	8. Instalar rollo y alinearlos con planchas
9. Preparar tarima para bajadas de impresión	9. Colocar pega
10. Ajuste de tonos	10. Preparar bolsa para desperdicio
11. Medir viscosidades	11. Traer adaptadores
	12. Traer <i>cores</i>
	13. Preparar material de empaque
	14. Verificar secuencia tonal
	15. Conocer: sentido de bobinado, enhebrado o si las raclas necesitan cambio en cuchillas (de ser más de dos avisar a raclas antes de que acabe la orden).

- Asignación de actividades en la etapa de montaje externa

Cuadro 5

Distribución de tareas de cada miembro del grupo de trabajo

Puesto: Operario Función: Garantizar que la producción cumpla con el estándar de calidad.	Puesto: Ayudante Función: Brindar apoyo al operario.	Puesto: Digitador Función: Clasificar y registrar todos los rollos impresos.
<ol style="list-style-type: none">1. Verificar siguiente orden2. Traer mangas y estándar de color de estantería.3. Consultar condiciones de proceso4. Traer rodillos entintadores5. Ingresar información a sistema digital (QM)	<ol style="list-style-type: none">1. Traer adaptadores2. Traer rollo de cuadro3. Verifica lado tratado de material.4. Instalar rollo y alinearlos con planchas5. Colocar pega	<ol style="list-style-type: none">1. Preparar bolsa para desperdicio2. Traer <i>cores</i>3. Preparar material de empaque

- Implementación de un nuevo estándar de trabajo.
 - Brindar capacitación
 - Campaña de mejora continua
 - Concientización de nuevo método
 - Elaboración de formato *checklist* con actividades previo a cambio de orden

El objetivo fue reducir las fuentes de variación y estandarizar el tiempo de respuesta en cada cambio de orden.

Recolección de datos del sistema

Se maneja cuatro colores para identificar los tiempos en el sistema de registro de tiempos:

- Verde: ejecución
- Rojo: parada de máquina en tiempo de ejecución
- Amarillo: cambio de nueva orden
- Naranja: parada en cambio de nueva orden

Figura 2

Sistema de registro de tiempos por la empresa, conocida como PISO

Tiempo del Evento	Maquina	Orden	Estado de Maquina	Razon	segundos	hh:mm	Notas	log_id
5/6/2025 1:03 PM	IMTEC 05	001400155659	EN EJECUCION	En Ejecucion	32	0:00		786723
5/6/2025 12:58 PM	IMTEC 05	001400155659	SETUP	Cuadro de Nueva Orden	291	0:04		786720
5/6/2025 12:54 PM	IMTEC 05	001400155659	PARADA SETUP	Limpieza	217	0:03		786717
5/6/2025 12:44 PM	IMTEC 05	001400155659	PARADA SETUP	Cambio de Componentes	592	0:09		786715
5/6/2025 12:43 PM	IMTEC 05	001400155659	PARADA SETUP	Limpieza	55	0:00		786713
5/6/2025 12:35 PM	IMTEC 05	001400155659	PARADA SETUP	Ajuste Tonos Colores	474	0:07		786709
5/6/2025 12:34 PM	IMTEC 05	001400155659	SETUP	Cuadro de Nueva Orden	76	0:01		786707
5/6/2025 12:30 PM	IMTEC 05	001400155659	PARADA SETUP	Ajuste Tonos Colores	228	0:03		786706
5/6/2025 12:27 PM	IMTEC 05	001400155659	SETUP	Cuadro de Nueva Orden	214	0:03		786703
5/6/2025 12:26 PM	IMTEC 05	001400155659	PARADA SETUP	Ajuste Tonos Colores	30	0:00		786702
5/6/2025 12:24 PM	IMTEC 05	001400155659	SETUP	Cuadro de Nueva Orden	165	0:02		786700
5/6/2025 12:21 PM	IMTEC 05	001400155659	PARADA SETUP	Ajuste Tonos Colores	143	0:02		786697
5/6/2025 12:21 PM	IMTEC 05	001400155659	SETUP	Cuadro de Nueva Orden	1770	0:29		786689
5/6/2025 11:52 AM	IMTEC 05	001400155659	SIN PROGRAMA	SIN PROGRAMA	0	0:00		786688
5/6/2025 11:51 AM	IMTEC 05	001400155659	PARADA	Ajuste de Condiciones de Proceso	594	0:09		786684
5/6/2025 11:41 AM	IMTEC 05	001400155658	PARADA	Ajuste de Condiciones de Proceso	2816	0:46		786653
5/6/2025 10:54 AM	IMTEC 05	001400155658	EN EJECUCION	En Ejecucion	644	0:10		786645
5/6/2025 10:43 AM	IMTEC 05	001400155658	PARADA	Limpieza	2792	0:46		786622
5/6/2025 9:56 AM	IMTEC 05	001400155658	EN EJECUCION	En Ejecucion	437	0:07		786620
5/6/2025 9:49 AM	IMTEC 05	001400155658	PARADA	Limpieza				

Fuente: Imagen utilizada por cortesía de la empresa

Se tomará el tiempo desde el primer *set up* que se muestre en el estado de máquina (columna 4) cuando se genere un cambio de orden (columna 3) hasta el primer En Ejecución del estado de máquina.

Gemba walk – observación directa en el lugar de trabajo

Como parte del enfoque de mejora continua, se realizaron *gemba walk* en cada una de las etapas del proceso. Durante estas visitas, se documentó:

- Necesidades de capacitación en el uso de espacios organizados.

Estos recorridos permitieron validar la implementación de las estrategias en condiciones reales de operación y ajustar los planes de mejora de forma flexible.

6.4.2. Parte cuantitativa

Recolección de datos

La recolección de datos se llevará a cabo bajo supervisión directa del investigador, durante su horario presencial en planta. Esto asegura que todas las observaciones se realicen bajo condiciones controladas, eliminando factores externos y garantizando la

confiabilidad de los datos.

Para cada sesión de observación, se documentarán los siguientes elementos:

- Fecha: día de recolección.
- Tiempo total observado: duración total del turno supervisado (ej. 270 minutos).
- Tiempo de cuadro: tiempo cronometrado durante el cual se realiza el proceso de *set up*.
- Otras paradas: se registran los tiempos de otros motivos de paro que puedan afectar al tiempo activo.
- Identificación de fase: se registrará si los datos corresponden a la fase antes (sin intervención), mejoras iniciales (aplicación de 5S + VSM) o después (implementación de SMED).
- Tiempo de máquina operando: tiempo en el que la máquina estuvo ejecutando producción durante el turno.

$$\begin{aligned} \textit{Tiempo de máquina operando} \\ = \textit{Tiempo total observado} - \textit{Tiempo de cuadro} \\ - \textit{Otras paradas} \end{aligned}$$

- Porcentaje de cuadro: Se calcula mediante la fórmula:

$$\% \textit{ de Cuadro} = \left(\frac{\textit{Tiempo de cuadro}}{\textit{Tiempo total observado}} \right) * 100$$

Este indicador representa que porcentaje del turno presente se invierte al cambiar de una orden a otra.

- Disponibilidad (OEE parcial): estimación de la disponibilidad del equipo, calculada como:

$$\textit{Disponibilidad} = \left(\frac{\textit{Tiempo de máquina operando}}{\textit{Tiempo total observado}} \right) * 100$$

Representa el porcentaje del tiempo observado en que la máquina estuvo disponible para producción.

- Observaciones: Se anotarán eventos fuera del proceso de cuadro que afecten la productividad (esperas, fallas técnicas, interrupciones, etc.), así como condiciones especiales del operario, equipo o insumos.

Figura 3

Diseño de formato para toma de datos

Fecha	Fase	Tiempo_total_observado	Tiempo_Cuadre	Otras_Paradas	Tiempo_ejecución	%_Cuadre	Disponibilidad

Fuente: Elaboración propia

Descripción de variables

Cuadro 6

Clasificación de variables dependiendo de su tipo y nivel de medición.

Variable	Tipo de variable	Nivel de medición
Fase	Cualitativa nominal	Nominal
Tiempo de cuadro	Cuantitativa continua	Razón
Porcentaje de Cuadre	Cuantitativa continua	Razón
Disponibilidad	Cuantitativa continua	Razón

Fuente: Elaboración propia

Donde;

- Nominal: Solo se puede nombrar o clasificar, sin orden.
- Razón: Tiene orden, diferencias, y un cero real (absoluto).

Herramientas

Para el análisis de los datos recolectados, se utilizarán dos herramientas principales que permiten trabajar con precisión, reproducibilidad y visualización estadística:

- Microsoft Excel:
Se empleará para la organización de datos crudos, cálculos preliminares (como el porcentaje de cuadro y disponibilidad), elaboración de tablas de consolidación y generación de gráficos iniciales. También servirá como puente para exportar los datos hacia RStudio.
- RStudio:
Software de análisis estadístico utilizado para aplicar pruebas de normalidad, pruebas de

hipótesis (ANOVA, *t-test*, Kruskal-Wallis), análisis descriptivo general y demostración gráfica de los datos.

Análisis estadístico

Este análisis se realizará para cada una de las tres variables cuantitativas:

- Tiempo de cuadro
- Porcentaje de cuadro
- Disponibilidad

Análisis descriptivo de las fases

El análisis descriptivo constituye el primer paso del procesamiento estadístico y tiene como finalidad observar el comportamiento general de los datos, identificar patrones, detectar posibles valores atípicos y brindar una vista preliminar de posibles mejoras entre fases, antes de aplicar pruebas de hipótesis.

Para cada una de ellas, por fase, se calcularán:

- Media
- Mediana
- Desviación estándar
- Mínimo y máximo
- Gráficos de caja y bigote para visualizar la dispersión

Este paso permite describir los datos por grupo (fase) sin aplicar aún ninguna prueba comparativa, y es útil para presentar hallazgos preliminares visuales y numéricos.

Prueba de normalidad

La prueba de normalidad es el procedimiento estadístico que permite determinar si una variable numérica se distribuye conforme a una distribución normal (en forma de campana). Para este estudio, se aplicará la prueba de Shapiro-Wilk, recomendada para muestras pequeñas y medianas.

Interpretación:

- Si el resultado de la prueba tiene un p-valor mayor a 0.05, se considera que los datos siguen una distribución normal, se procede a realizar pruebas paramétricas, es decir, prueba ANOVA y prueba T de Student.
- Si el p-valor es menor o igual a 0.05, se concluye que los datos no son normales y deben analizarse con pruebas no paramétricas, entiéndase, prueba de Kruskal-Wallis.

Prueba de hipótesis

Una vez realizado el análisis descriptivo y la prueba de normalidad, se procederá a plantear

formalmente las hipótesis estadísticas que permiten validar si las herramientas *lean manufacturing* aplicadas (5S, VSM y SMED) generaron una mejora significativa en los indicadores evaluados del proceso de cuadro. Esta etapa es fundamental en el análisis cuantitativo, ya que permite determinar si los cambios observados en las variables analizadas se deben a la implementación de las estrategias *lean* y no al azar.

$H_0 =$ No hay diferencia significativa entre las fases

$H_a =$ Si hay diferencia significativa entre las fases

Criterios que considerar para la evaluación de resultados de las pruebas a realizar:

- Se utilizará un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ (95% de confianza).
- Si el p-valor obtenido es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se concluye que la herramienta *lean* tuvo un efecto real sobre la variable analizada.
- Si el p-valor es mayor o igual a 0.05, no se rechaza H_0 , y se concluye que no se observó un efecto estadísticamente significativo en esa variable.

Prueba ANOVA (análisis de varianza)

La prueba ANOVA (*analysis of variance*) es una prueba estadística paramétrica que permite comparar los promedios de más de dos grupos independientes. En este estudio, se cuenta con tres grupos independientes que deben ser evaluados. ANOVA se aplicará cuando todas las variables analizadas presenten una distribución normal, según lo determinado previamente mediante la prueba de Shapiro-Wilk. El objetivo de esta prueba es verificar si existen diferencias significativas entre las tres fases del proyecto, Antes, Mejoras Iniciales y Después (SMED), en cada una de las variables cuantitativas evaluadas

Hipótesis para ANOVA:

$H_0 =$ Los promedios de las fases son iguales

$H_a =$ Al menos una de las fases es diferente

Interpretación:

Si el p-valor < 0.05 , se rechaza H_0 , indicando que existe al menos una diferencia significativa entre las fases

Prueba T de Student

La prueba de Mann-Whitney U es una alternativa no paramétrica al *t-test* para muestras independientes. Se utiliza cuando los datos no cumplen con el supuesto de normalidad. En lugar de comparar medias, evalúa si las distribuciones de dos grupos difieren significativamente. Es ideal para datos ordinales o intervalos sin distribución normal.

- Antes vs mejoras iniciales
- Mejoras iniciales vs SMED
- Antes vs SMED

Hipótesis de la prueba t (para cada comparación):

$H_o =$ No hay diferencia significativa entre las medias de los dos grupos.

$H_a =$ Existe una diferencia significativa entre las medias

Interpretación:

Se mantiene un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, y se considera que existe diferencia significativa si $p < 0.05$.

Prueba de Kruskal-Wallis

La prueba de Kruskal-Wallis es una alternativa no paramétrica al ANOVA. Se utiliza cuando los datos no cumplen el supuesto de normalidad o cuando se desea analizar si existen diferencias estadísticamente significativas entre tres o más grupos independientes, como es el caso de las fases del proceso en este estudio (Antes, Mejoras Iniciales, SMED).

A diferencia del ANOVA, Kruskal-Wallis no requiere que los datos sigan una distribución normal. En lugar de comparar promedios, compara las medianas de los grupos y evalúa si estas provienen de la misma población.

Hipótesis de Kruskal-Wallis:

$H_o =$ Las distribuciones de los grupos son iguales (no hay diferencia)

$H_a =$ Al menos una de las fases presenta una distribuciones distinta (hay diferencia)

Interpretación:

- Si el valor $p < 0.05$, se rechaza H_o y se concluye que al menos una fase es diferente a las otras.
- Si el valor $p \geq 0.05$, no se rechaza H_o y se considera que no hay diferencia significativa entre las fases.

Prueba de Mann Whitney U

La prueba de Mann-Whitney U es una alternativa no paramétrica al *t-test* para muestras independientes. Se utiliza cuando los datos no cumplen con el supuesto de normalidad. En lugar de comparar medias, evalúa si las distribuciones de dos grupos difieren significativamente. Es ideal para datos ordinales o intervalos sin distribución

normal. Al igual que la prueba *t-test* se evaluarán los mismos parámetros, pero de distintas variables:

- Antes vs mejoras iniciales
- Mejoras iniciales vs SMED
- Antes vs SMED

Hipótesis de la prueba Mann Whitney U (para cada comparación):

H_o = No hay diferencia significativa entre las medias de los dos grupos.

H_a = Existe una diferencia significativa entre las medias

Carta de control (*Shewart Analysis*)

Para evaluar la estabilidad del proceso a lo largo del tiempo, se empleó una carta de control tipo XmR (individuales y rango móvil), correspondiente al enfoque de Shewhart. Esta herramienta permitió identificar variaciones estadísticas significativas en el tiempo de cuadro diario, diferenciando entre causas comunes y causas especiales de variación. La carta fue elaborada utilizando software estadístico RStudio, lo que permitió un análisis visual claro del comportamiento del proceso antes, durante y después de las fases de mejora.

7.1. Aplicación de estrategias *lean manufacturing*

7.1.1. Aplicación de 5s:

Estantería 1 de adaptadores para impresora 7 y 8

Clasificación de adaptadores en buenos, medios y dañados. Se ordenan por tamaño: 47 (pequeño), 58 (mediano), 69 (grande) y 80 (extragrande). Se hace un chequeo diario y se solicita apoyo al turno si hay piezas mal ubicadas.

Antes de aplicar 5s

Figura 4

Estantería 1 antes de aplicar 5s.



Nota: Los adaptadores se encuentran en cualquier espacio, hay elementos sin usar, con medio uso y con uso constante.

Figura 5

Condiciones de adaptadores antes de aplicar 5s.



Nota: Algunos adaptadores se encontraban con polvo, manchas de marcador, manchas de tinta, pandeos por malos usos, golpes o desgastes.

Aplicación 5s

Figura 6

Clasificación de adaptadores según su estado para la estantería 1 y estantería 2



Nota: se identificaron como V los buenos, A los regulares, * los no identificados y con cinta roja los dañados o defectuosos.

Después de 5s

Figura 7

Estantería 1 después de aplicar 5s.



Nota: Se consideró la mitad de la estantería para colocar los adaptadores. Únicamente se encuentra la mitad de los adaptadores y los identificados con V, A y *.

Estantería 2 de adaptadores para impresora 5 y 6

Clasificación de adaptadores en buenos, regulares y dañados. Se ordenan por tamaño: 47 (pequeño), 58 (mediano) y 69 (grande). Se realiza un chequeo diario y se solicita apoyo si hay piezas mal ubicadas.

Antes de aplicar 5s

Figura 8

Estantería 2 antes de aplicar 5s.



Nota: Algunos adaptadores se encontraban con polvo, manchas de marcador, manchas de tinta, pandeos por malos usos, golpes o desgastes.

Después de aplicar 5s

Figura 9

Estantería 2 después de aplicar 5s.



Estantería de rodillos entintadores para impresora 5 + rodillos entintadores compartidos para impresora 5, 6 y 7

Clasificando por impresora y estado (en uso o no). La estantería se organizó con *anilox* compartidos a la derecha y exclusivos de la impresora 5 (no nuevos) a la izquierda. Se devolvieron los *anilox* de impresoras 6 y 7 a los *revolvers* y se identificaron los espacios con su matrícula para facilitar el acceso. Condición: si el estándar requiere un *anilox* fuera de la impresora asignada, debe pedirse autorización al supervisor y devolverse en óptimas condiciones.

Figura 10

Estantería de rodillos entintadores después de aplicar 5s.



Nota: Se ordenaron de menor a mayor del número de matrícula.

Asignación de espacios en *revolver* para la impresora 6, 7 y 8

Clasificados por número de matrícula. Uso exclusivo para cada impresora. Se mitigaron los que tiene defectos

Antes de aplicar 5s

Figura 11

Rodillos entintadores sin lugar específico para almacenaje.



Nota: El área utiliza carros transportadores para en la Figura # para transportar elementos para el cambio de orden, sin embargo, se veían en la necesidad de utilizar este transporte como almacenaje. Aunque existiera el almacenaje por medio de *revolvers*, no se tenía control de la ubicación de cada uno de los rodillos y no se utilizaban los espacios correctamente.

Después de aplicar 5s

Figura 12

Identificación de rodillos entintadores en *revolvers*.



Nota: Cada *revolver* tiene capacidad para 9 rodillos entintadores, por lo que la impresora 6 y 7 tiene espacio para 18 rodillos propios, mientras que la impresora 8 tiene capacidad para almacenar 27 rodillos entintadores.

Figura 13

Asignación de ubicación específica para cada rodillo entintador.



Nota: Se ordena de menor a mayor para agilizar la búsqueda.

Separación de mangas para montaje, unificando por un lado las impresoras 7 y 8, y por otro lado las impresoras 5 y 6.

Se implementó la separación de impresoras con dos estanterías: una para montaje de impresoras 5/6 y otra para 7/8, con espacios designados e identificados como M5, M6, M7 y M8. No se mezclan mangas usadas ni órdenes de otras impresoras, lo que permite un flujo continuo y reduce errores de montaje. Las impresoras 7/8 almacenan hasta 4 órdenes de 8 colores y las 5/6 hasta 2; si se bajan mangas por cambio de pedido, pueden volver a su espacio o seguir el flujo de mangas usadas.

Antes de aplicar 5s

Figura 14

Antes de aplicar 5s en espacio para almacenar montaje.



Nota: La estantería 2 está partida en dos secciones, la segunda es exclusiva para mangas usadas y para usar para próximos montajes.

Figura 15

Almacén de mangas usadas (destapadas) y por usar (cubiertas con film blanco)



Nota: El fotopolímero utilizado para crear el sello que transfiere la impresión es delicado, necesita conservarse a condiciones de temperatura baja, no deben de estar expuestas al polvo y deben de manipularse lo menos posible.

Después de aplicar 5s

Figura 16

Espacio de estantería 2 para almacenaje únicamente de mangas para montaje nuevo para las impresoras 7 y 8



Figura 17

Espacio de estantería 1 sobrante para almacén de mangas para montaje nuevo para la impresora 5 y 6.



Reducción de tiempos de búsqueda de elementos

Cuadro 7

Reducción de tiempo de búsqueda de elementos para el cambio de orden.

Elementos para el cambio de orden	Tiempo promedio de búsqueda anterior (minutos)	Tiempo promedio de búsqueda actual (minutos)	% Reducción de tiempo
Adaptadores	8,27	5,45	65,90%
Anilox	11,33	8,5	75,02%
Mangas/montaje	4,07	3,72	91,40%

7.1.2. Aplicación de *value stream mapping* (VSM):

Solución de cuello de botella de mangas utilizadas y montaje nuevo

Antes de VSM

Como se mencionó anteriormente, las mangas utilizadas se devolvían al espacio de la estantería 2. Sin embargo, esta práctica generaba un mayor riesgo de daños y exposición a condiciones inadecuadas. Además, al mezclarse las mangas usadas con las nuevas, se perdía demasiado tiempo en su búsqueda. La falta de espacio provocaba que muchos montajes permanecieran en el área de pre prensa sin llegar a impresión. Esto obligaba al alistador a recorrer periódicamente el área para retirar los montajes ya utilizados y verificar la disponibilidad de espacio para nuevos, lo que a su vez genera cuellos de botella en el proceso.

Figura 18

Carros transportadores antes de aplicar VSM.



Nota: Se utilizaban para almacenar cualquier elemento y no se le daba prioridad para movilizar las mangas de montaje.

Después de VSM

Para resolver el cuello de botella en el manejo de mangas usadas y garantizar un flujo continuo, se implementó un nuevo procedimiento. Ahora, los digitadores trasladan las mangas al área de pre prensa y las colocan en carritos previamente asignados. La persona encargada del desmontaje únicamente debe verificar la disponibilidad de mangas en dichos carritos. En caso de que se llenen, las mangas se deben colocar dentro del área de pre prensa para evitar posibles daños.

Se cuenta con un total de 8 carritos: cada impresora dispone de uno propio, debidamente identificado y de uso exclusivo para el traslado de mangas, mientras que el área de pre prensa dispone del número restante para su gestión. Asimismo, se estableció la norma de no emplear estos carritos para transportar otros elementos.

Figura 19

Carro transportador exclusivo de pre prensa para almacenar planchas usadas.



Nota: estos se dejan fuera del área de pre prensa

7.1.3. Asignación de responsabilidades

No se alteraron las operaciones de cuadro. Se asignó responsabilidades a cada uno de los miembros de la tripulación. Se entregó un diagrama para que estos puedan leerlo y recordar las atribuciones. Este diagrama es una secuencia óptima de realizar las tareas de cuadro y se estableció como referencia.

Figura 20

Diagrama impreso con listado de responsabilidades de cada uno de los integrantes de la tripulación en cada impresora

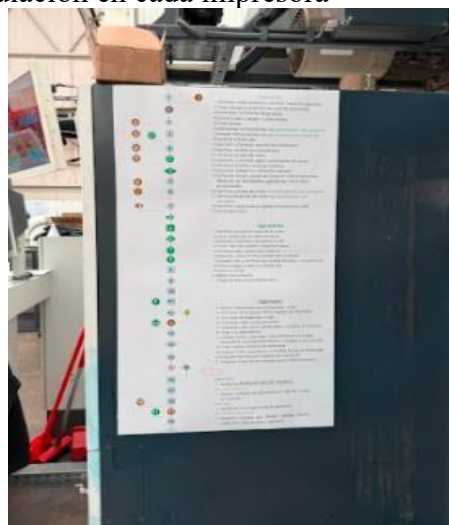
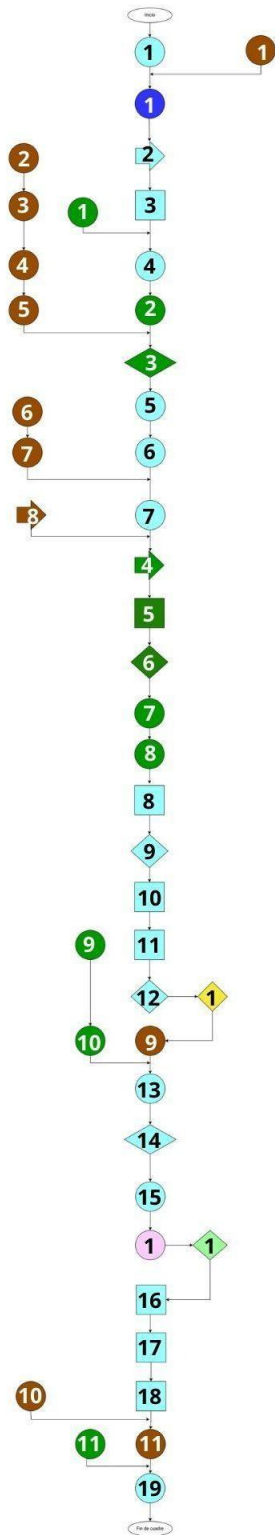


Figura 21

Diagrama con listado de responsabilidades de todas las partes interesadas para realizar un cambio de orden.



Operario

1. Terminar orden anterior y verificar cual es la siguiente.
2. Traer mangas y estándar de color de estantería.
3. Consultar condiciones de proceso.
4. Cerrar orden y cargar o crear receta.
5. Traer Anilox.
6. Desinstalar componentes con participación del ayudante.
7. Instalar componentes con participación del ayudante.
8. Verificar enhebrado
9. Decisión: ¿Cambiar sentido de enhebrado?
10. Verificar sentido de embobinado
11. Verificar estado de raclas
12. Decisión: ¿Cambiar algún componente de raclas?
13. Arrancar primera toma de muestra
14. Decisión: ¿Registro y afinación manual?
15. Chequeo visual, identificación de errores.
16. Verifica cuchillas de corte con participación del ayudante.
17. Verifica distancias de corte con participación del ayudante.
18. Verificar mediciones e ingresa información a QM.
19. Inicia ejecución.

Ayudante

1. Verificar secuencia tonal de la orden.
2. Lavar anilox dentro de impresora.
3. Decisión: ¿Cambiar secuencia tonal?
4. Traer rollo de cuadro o material nuevo.
5. Verificar lado tratado del material supervisado por operario.
6. Decisión: ¿Esta correcto el lado del material?
7. Instalar rollo y verificar que quede alineado con planchas.
8. Colocar pega a película enhebrada.
9. Subir las tintas.
10. Medir viscosidades.
11. Preparar bolsa para desperdicio.

Digitador

1. Retirar desperdicio para balancear orden.
2. Terminar de empacar última bajada de impresión.
3. Terminar de balancear orden.
4. Trasladar rollos a área de retiro
5. Trasladar rollos para rebobinado y notificar en sistema.
6. Traer los adaptadores
7. Limpiar anilox y devolver cada elemento a su lugar (estantería correspondiente y mangas a pre-prensa)
8. Traer cores y material de empaque.
9. Colocar cores centrados y a medida del eje embobinado.
10. Preparar tarima para bajadas de impresión
11. Preparar material de empaque para rollos impresos

Supervisor:

1. Realiza la devolución de rollo sobrante.

Personal de raclas:

1. Realiza cambios de elementos si más de 1 racla lo necesita.

Colorista:

1. Ajuste de tonos.

Aprobación de orden:

1. Decisión tomada por cliente, calidad, diseño, supervisor, jefe de área u operario.

7.1.4. Aplicación de SMED

Resultados de Minutos por color

Cuadro 8

Resultados obtenidos de aplicar SMED en algunas de las referencias impresas.

Referencia	Cantidad de colores promedio	Tiempo promedio de <i>set up</i> (minutos)	Minutos/colores
Empaque de aceites	7	108	15,43
Empaque de concentrado de animal	6	95	15,78
Empaque de marshmallow	8	96	12,00
Empaque de leche en bolsa	5	80	15,93
Empaque de agua	2	39	19,25
Empaque de yogurt	4	63	15,81
Empaque de cremas	4	44	11,00
Empaque de azúcar	7	84	11,95

Nota: Los datos se recopilaron durante un período de dos meses, pero se presentan de manera resumida como un promedio de las referencias impresas más comunes, considerando también el promedio de colores utilizados, con el fin de facilitar la comprensión de los resultados.

7.2. Análisis descriptivo por fases

Tiempo de *set up* (minutos)

Cuadro 9

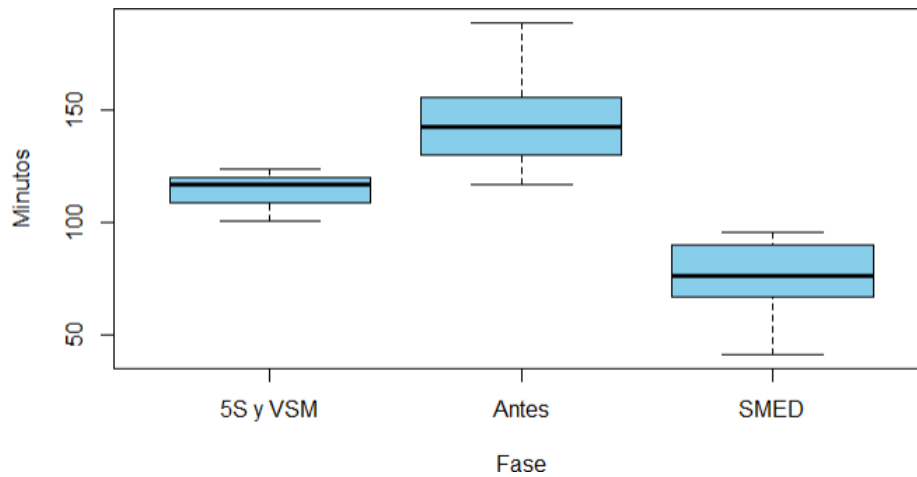
Análisis descriptivo por fases del tiempo de cambio de orden.

Tiempo de Cambio de Orden (SetUp)			
Estadístico	Antes	5S y VSM	SMED
Media	143.8148	113.5936	76.7333
Mediana	142.2333	117.0167	76.4
Desv. estándar	20.6628	8.4165	13.8583
Mínimo	116.5667	100.6667	41
Máximo	188.8333	123.7333	95.3333

Fuente: Elaboración propia

Figura 22

Diagrama de caja y bigote de las fases del tiempo de cambio de orden.



Fuente: Imagen utilizada por cortesía de Rstudio

Cuadro 10

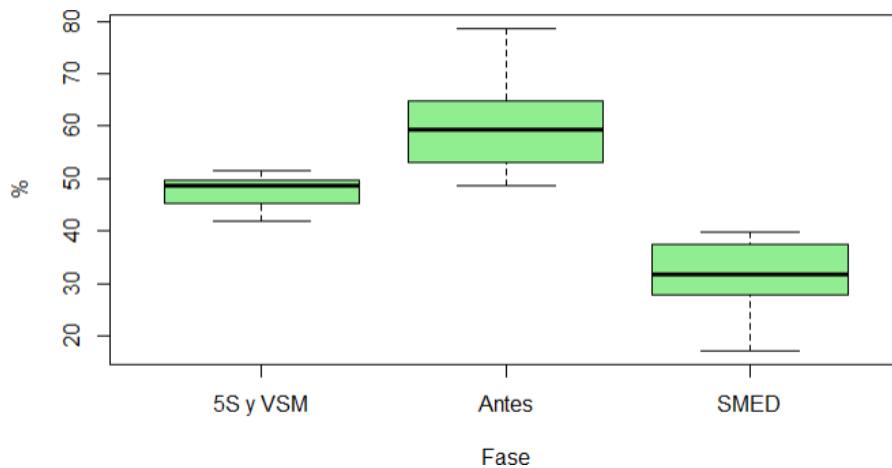
Análisis descriptivo por fases para el porcentaje total de tiempo utilizado en el cambio de orden.

% del tiempo total utilizado en Cambio de Orden			
Estadístico	Antes	5S y VSM	SMED
Media	59.8616	47.172	31.9722
Mediana	59.2639	48.7569	31.8333
Desv. estándar	8.6635	3.3427	5.7743
Mínimo	48.5694	41.9444	17.0833
Máximo	78.6806	51.5417	39.7222

Fuente: Elaboración propia

Figura 23

Diagrama de caja y bigote de las fases para el porcentaje total de tiempo utilizado en el cambio de orden.



Fuente: Imagen utilizada por cortesía de Rstudio

Disponibilidad (OEE parcial)

Cuadro 11

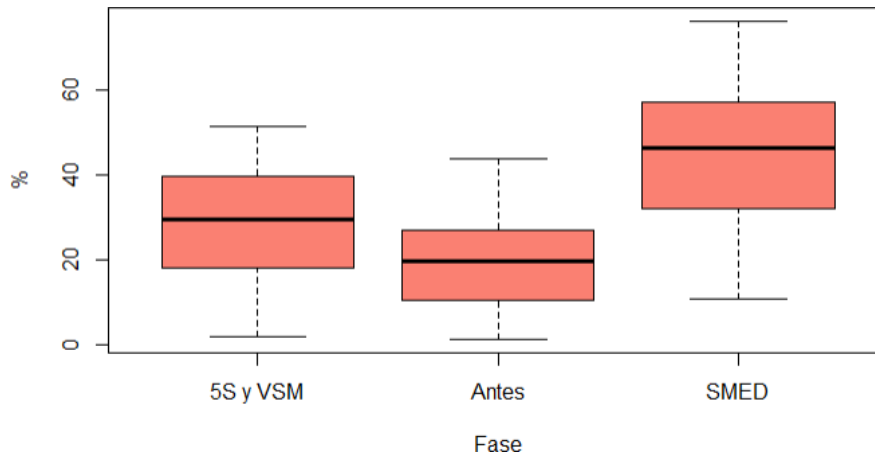
Análisis descriptivo por fases para la disponibilidad (parámetro extraído del OEE).

Disponibilidad (OEE parcial)			
Estadístico	Antes	5S y VSM	SMED
Media	19.9309	27.5678	44.2479
Mediana	19.5556	29.4444	46.4132
Desv. estándar	11.0804	16.4479	16.9417
r			
Mínimo	1.0972	1.8533	10.7778
Máximo	43.6875	51.2361	76.25

Fuente: Elaboración propia

Figura 24

Diagrama de caja y bigote de las fases para por fases para la disponibilidad (parámetro extraído del OEE).



Fuente: Imagen utilizada por cortesía de Rstudio

Prueba de normalidad

Cuadro 12

Resultados de determinación de comportamiento de normalidad para cada fase clasificada por variables.

Prueba de normalidad - Shapiro Test			
Variable	Fase	p-valor	¿Distribución Normal?
Tiempo de Cambio de Orden (SetUp)	5S y VSM	0.10992	Sí
	Antes	0.01313	No
	SMED	0.16754	Sí
% del tiempo total utilizado en Cambio de Orden	5S y VSM	0.09862	Sí
	Antes	0.01378	No
	SMED	0.16754	Sí
Disponibilidad (OEE parcial)	5S y VSM	0.68438	Sí
	Antes	0.43025	Sí
	SMED	0.90206	Sí

Fuente: Elaboración propia

Prueba ANOVA

Cuadro 5

Prueba de varianza para las variables normales.

Prueba ANOVA - valores paramétricos		
Fase	p-valor	¿Rechaza Ho?
Disponibilidad (OEE parcial)	3.11E-07	Sí

Fuente: Elaboración propia

Prueba de Kruskal-Wallis (no paramétricas)

Cuadro 13

Prueba de distribuciones para las variables no normales.

Prueba de distribuciones para las variables no normales.		
Prueba Kruskal Wallis - valores no paramétricos		
Fase	valor-p	¿Rechaza Ho?
Tiempo de Cambio de Orden (<i>set up</i>)	4.24E-12	Si
% del tiempo utilizado en cambio de orden	3.61E-12	Si

Fuente: Elaboración propia

Prueba T de student

Cuadro 14

Comparación de medias entre fases para las variables normales.

Comparación de fases - Prueba paramétrica		
Comparación	p-valor	¿Rechaza Ho?
Antes vs 5S/VSM	0.1408	No
Antes vs SMED	3.35E-06	Sí
5S/VSM vs SMED	0.00916	Sí

Fuente: Elaboración propia

Prueba de Mann-Whitney U (no paramétricas)

Cuadro 15

Comparación de medias entre fases para las variables no normales

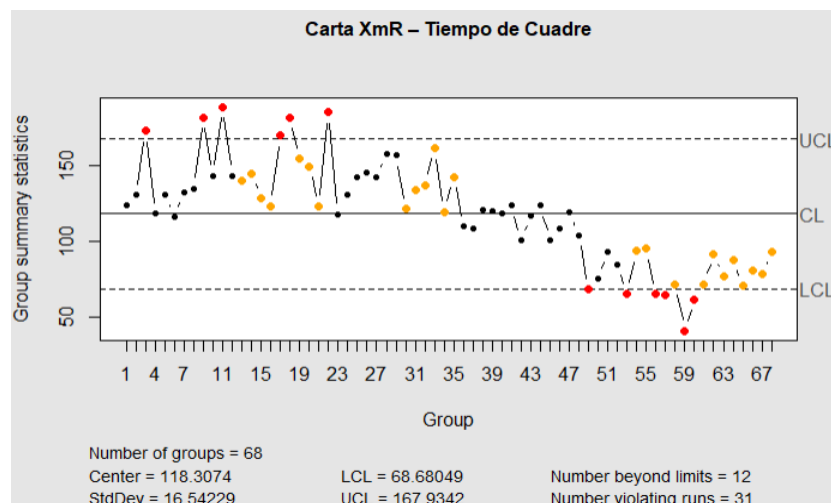
Comparación de fases - Prueba No paramétrica			
Variable	Comparación	p-valor	¿Rechaza Ho?
Tiempo de Cambio de Orden (SetUp)	Antes vs 5S/VSM	2.13E-07	Sí
	5S/VSM vs SMED	1.83E-06	Sí
	Antes vs SMED	9.65E-10	Sí
% del tiempo total utilizado en Cambio de Orden	Antes vs 5S/VSM	1.12E-07	Sí
	5S/VSM vs SMED	1.83E-06	Sí
	Antes vs SMED	9.65E-10	Sí

Fuente: Elaboración propia

Carta de control Análisis de Shewhart

Figura 25

Carta de control XmR del tiempo de cuadro diario durante las fases de mejora *lean*



Fuente: Imagen utilizada por cortesía de Rstudio

CAPÍTULO 8

Discusión de resultados

El presente estudio tuvo como propósito demostrar que la implementación de herramientas *lean manufacturing* reduce en al menos un 25% el tiempo de *set up* y mejora la disponibilidad operativa (OEE parcial) de las impresoras flexográficas en un periodo de seis meses.

La discusión de los resultados se centra en la relación entre las acciones cualitativas implementadas —5S, VSM, SMED y *gemba walk*— y la evidencia cuantitativa obtenida a través de los análisis estadísticos. Esta integración permite comprender de forma analítica cómo las mejoras operativas se reflejaron en resultados medibles y estadísticamente significativos.

8.1. Relación entre las intervenciones cualitativas y la reducción cuantitativa de tiempos improductivos

El análisis de Pareto mostró que el cambio de orden (*set up*) constituía la causa más importante de improductividad, concentrando la mayor proporción de tiempo de paro dentro del total de eventos registrados. Este resultado orientó la estrategia de intervención hacia dicha etapa, coherente con el principio del 80/20, que establece que un número reducido de causas genera la mayoría de los efectos negativos en un proceso.

La implementación de las 5S permitió eliminar causas físicas de improductividad relacionadas con el desorden, la falta de ubicación fija y la presencia de componentes en mal estado. De manera específica, los tiempos de búsqueda se redujeron en 65.9% para adaptadores (de 8.27 a 5.45 min), 75.0% para *anilox* (de 11.33 a 8.50 min) y 91.4% para mangas o montajes (de 4.07 a 3.72 min).

Esta mejora cualitativa en la organización del entorno se tradujo en una reducción cuantitativa del tiempo total de cambio de orden, la cual fue comprobada mediante la prueba de Kruskal-Wallis, obteniendo un $p = 4.24E-12$, confirmando que las diferencias entre fases fueron estadísticamente significativas.

El fundamento de este resultado radica en que las 5S no solo promueven limpieza y orden, sino que estandarizan el entorno de trabajo, reduciendo la dependencia de la experiencia individual y eliminando la variabilidad en la localización de herramientas. Desde la perspectiva *lean*, el entorno organizado genera flujos más estables y facilita la ejecución de tareas con menor esfuerzo, justificando el impacto positivo observado en las mediciones.

8.2. Correspondencia entre la mejora en los flujos de trabajo (VSM) y la estabilidad del proceso

La aplicación de *value stream mapping* (VSM) permitió visualizar y rediseñar los flujos de materiales entre las áreas de preprensa y montaje. El análisis inicial identificó un cuello de botella en el manejo de mangas usadas, generado por la mezcla de materiales y la ausencia de espacios definidos para su almacenamiento.

El rediseño implementado estableció carritos exclusivos por impresora y responsabilidades definidas para el traslado de mangas, eliminando la acumulación innecesaria y garantizando un flujo continuo. Cualitativamente, esto redujo la dependencia del operario para resolver problemas de ubicación y priorización, y cuantitativamente se reflejó en una disminución de la dispersión de los tiempos de *set up*, observada en los diagramas de caja y bigote y en la carta de control Shewhart.

Tras la intervención, los límites de control se estrecharon y la media del proceso se estabilizó, evidenciando que las mejoras en el flujo material redujeron la variabilidad estadística del proceso. Desde el enfoque *lean*, este resultado confirma que eliminar cuellos de botella genera procesos más predecibles y controlables, mejorando así la confiabilidad de la producción.

8.3. Integración entre la estandarización mediante SMED y la mejora cuantitativa en el desempeño

La aplicación de la metodología SMED constituyó la acción más determinante para la reducción del tiempo de *set up*. A nivel cualitativo, se efectuó la clasificación de actividades internas y externas, así como la conversión de tareas hacia la categoría externa, de modo que pudieran realizarse con la máquina operando o en preparación.

Adicionalmente, se desarrolló un nuevo estándar de trabajo, acompañado de capacitaciones y de un *checklist* validado mediante *gemba walks*. Esto permitió distribuir de forma clara las funciones entre operario, ayudante y digitador, reduciendo tiempos muertos y sobrecarga de tareas.

El efecto cuantitativo de estas acciones se observó en la reducción de los tiempos promedio por color, alcanzando valores de 11.0 a 12.0 minutos por color en referencias como empaques de azúcar, cremas y marshmallow, frente a valores previos superiores a 15 minutos por color.

La prueba de Kruskal-Wallis ($p = 4.24E-12$ para tiempo de cambio de orden y $p = 3.61E-12$ para porcentaje de *set up*) confirmó la significancia de esta reducción, mientras que los gráficos de caja evidenciaron menor dispersión y presencia de valores atípicos, indicando un proceso más estable.

La mejora obtenida se explica por la reducción de actividades internas innecesarias y la sincronización del trabajo del equipo. Desde la teoría *lean*, la conversión de tareas internas a externas reduce las pérdidas por espera, incrementando el tiempo útil disponible y mejorando la eficiencia global del proceso.

8.4. Relación entre la mejora operativa y la disponibilidad (OEE parcial)

El incremento de la disponibilidad operativa (OEE parcial) fue el resultado acumulativo de las mejoras implementadas en las fases anteriores. Cualitativamente, la eliminación de movimientos improductivos, la reorganización del flujo de insumos y la estandarización del montaje redujeron el tiempo en que las máquinas permanecían inactivas. Cuantitativamente, el análisis ANOVA confirmó un cambio estadísticamente significativo ($p = 3.11E-07$), lo que demuestra que la disponibilidad aumentó como consecuencia directa de la reducción en los tiempos de *set up*.

El vínculo entre ambos indicadores se explica porque cada minuto ahorrado en el cambio de orden incrementa la fracción del turno dedicada a la producción efectiva. Desde el punto de vista del OEE, el componente de disponibilidad mejora cuando se reducen los tiempos planificados de preparación y los tiempos de paro no productivo, validando así el cumplimiento del objetivo específico de aumentar la disponibilidad de las impresoras flexográficas.

8.5. Integración global de resultados cualitativos y cuantitativos

El análisis integral de los resultados demuestra que las mejoras cualitativas implementadas mediante herramientas *lean* tuvieron un impacto cuantitativo directo y medible en los indicadores de desempeño.

En conjunto:

- 5S eliminó los desperdicios de movimiento y mejoró la organización del entorno.
- VSM optimizó el flujo de materiales y redujo los tiempos de espera.
- SMED redujo el tiempo interno de *set up* mediante la estandarización y reasignación de tareas.
- *Gemba walk* aseguró la validez y sostenibilidad de las mejoras, al observar y ajustar las condiciones reales del proceso.

- La interacción de estas metodologías generó un sistema más ágil, ordenado y estable, capaz de mantener tiempos de respuesta consistentes entre órdenes. De forma empírica, se confirmó que la reducción de más del 25% en el tiempo de *set up* y el aumento significativo de la disponibilidad (OEE parcial) no fueron eventos independientes, sino consecuencias directas de la reconfiguración del proceso bajo los principios *lean*.

8.6. Análisis crítico final

Los resultados permiten afirmar que la integración de herramientas *lean manufacturing* no solo optimizó los tiempos operativos, sino que transformó la estructura de trabajo hacia un modelo más disciplinado y predecible. La evidencia cualitativa demostró que las mejoras implementadas modificaron la cultura de trabajo y la distribución física, mientras que la evidencia cuantitativa validó estadísticamente que dichos cambios generaron mejoras reales y sostenibles.

En síntesis, el estudio comprobó que la eficiencia técnica y la estabilidad estadística del proceso están directamente relacionadas con el orden operacional y la estandarización del trabajo. Por tanto, la hipótesis planteada y el objetivo general se cumplieron plenamente: la aplicación sistemática de herramientas *lean manufacturing* permitió reducir de manera comprobable los tiempos de *set up* y aumentar la disponibilidad operativa en el proceso de impresión flexográfica, contribuyendo a un modelo de producción más eficiente, controlado y sustentable.

CAPÍTULO 9

Conclusiones

- Se demostró estadísticamente que la implementación de herramientas *lean manufacturing* redujo en más del 25% el tiempo de *set up* y mejoró significativamente la disponibilidad operativa (OEE parcial) de las impresoras flexográficas. Los resultados de las pruebas ANOVA ($p = 3.11E-07$) y Kruskal-Wallis ($p = 4.24E-12$) confirman que las mejoras observadas no fueron producto del azar, sino consecuencia directa de la aplicación sistemática de estrategias *lean*.
- El análisis de Pareto permitió identificar que el *set up* constituía la principal causa de improductividad, lo que justificó priorizar la intervención en esta fase. La observación directa validó que los paros prolongados estaban asociados al desorden, la falta de comunicación y la carencia de estandarización.
- La implementación de las metodologías 5S y VSM permitió estandarizar el entorno de trabajo y reorganizar el flujo de materiales, reduciendo los tiempos de búsqueda en un 65.9% para adaptadores, 75% para *anilox* y 91.4% para mangas. Estas mejoras cualitativas incidieron directamente en la reducción de tiempos de *set up*.
- La aplicación de SMED y la capacitación del personal permitieron convertir actividades internas en externas y estandarizar las tareas de cambio de orden. Esto redujo el tiempo promedio por color entre un 25% y 30%, demostrando la efectividad del método en procesos flexográficos.
- Los análisis estadísticos demostraron reducciones significativas tanto en los minutos totales de *set up* como en su porcentaje dentro del turno de trabajo. Asimismo, se comprobó un incremento en la disponibilidad operativa, lo cual valida el cumplimiento integral de los objetivos específicos planteados.
- La integración de las herramientas *lean* generó un proceso más ágil, estandarizado y controlado. La mejora en la eficiencia técnica estuvo acompañada de una evolución cultural, al fomentar la disciplina operativa, la comunicación entre áreas y el enfoque en la mejora continua. De esta manera, se comprobó que la aplicación estructurada del pensamiento *lean* es una vía efectiva para aumentar la productividad y sostenibilidad del proceso de impresión flexográfica.

CAPÍTULO 10

Recomendaciones

Sostenibilidad de la mejora

- Mantener la aplicación constante de las 5S mediante auditorías periódicas y campañas de sensibilización. La disciplina en la organización del entorno de trabajo es clave para preservar los resultados obtenidos.

Estandarización continua

- Actualizar regularmente los estándares de trabajo SMED conforme evolucionen las referencias o los equipos. Incluir retroalimentación de los operarios en las revisiones, asegurando que el estándar sea funcional y adaptable.

Formación y cultura organizacional

- Desarrollar programas de capacitación continua en principios *lean* para todos los niveles del área de impresión, promoviendo una cultura de mejora constante y sentido de pertenencia hacia los resultados del proceso.

Expansión del modelo

- Replicar la metodología aplicada en otros procesos de la planta, como preprensa, tintas o empaque, adaptando las herramientas *lean* a sus particularidades para obtener una optimización integral de la línea de producción.

Futuras investigaciones

- Se recomienda realizar estudios que integren herramientas digitales o de inteligencia artificial para el monitoreo en tiempo real de los tiempos de *set up* y del OEE, así como evaluar el impacto de la cultura *lean* en el clima laboral y la sostenibilidad operativa a largo plazo.

CAPÍTULO 11

Bibliografías

- *Implementing lean manufacturing for improvement of operational performance in a labeling and packaging plant: A case study in Bangladesh.* (2022). Mohammad Ahsan Habib.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123022004881?via%3Dihub>
- Lipiak, J. (2017). *Methodology for Assessing the Factors Affecting the Quality and Efficiency of Flexographic Printing Process.* ScienceDirect.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817312584>
- Guevara, D. (2022). *Propuesta para aumentar la eficiencia operativa de la impresora flexográfica en una empresa dedicada a la fabricación de etiquetas y multipacks.* Universidad Politecnica Salesiana Ecuador.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24551/1/UPS-GT004249.pdf>
- Palala, E. (2019). *DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN DE LOS TIEMPOS IMPRODUCTIVOS DE UN PROCESO DE IMPRESIÓN FLEXOGRÁFICA POR MEDIO DE LA METODOLOGÍA SMED.* Universidad de San Carlos de Guatemala. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3946_IN.pdf
- Pratiwi, M. (2018). *The effectiveness of single minute exchange of dies for lean changeover process in printing industry.* MATEC Web Of Conferences. https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/13/mateconf_icet4sd2018_01064.pdf
- Rishi, J. P., Srinivas, T. R., Ramachandra, C. G., & Ashok, B. (2018). Implementing the Lean Framework in a Small & Medium & Enterprise (SME) – A case Study in Printing Press. *IOP Conference Series Materials Science And Engineering*, 376, 012126. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/376/1/012126>
- Monteiro, C. (2019). *Improving the Machining Process of the Metalworking Industry Using the Lean Tool SMED.* ScienceDirect.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919311321>

- Shahriar, M. M. (2022). *Implementation of 5S in a plastic bag manufacturing industry: a case study*. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790822000933>
- *7 Desperdicios de lean: cómo optimizar los recursos*. (2020). Kanban Software For Agile Project Management. <https://businessmap.io/es/gestion-lean/valor-desperdicios/7-desperdicios-de-lean>
- Adascalita, L. (2021). *POSSIBILITIES OF USING THE LEAN STRATEGY TO OPTIMIZE PRINTING PRODUCTION*. Conference Proceedings Of The Academy Of Romanian Scientists. https://www.researchgate.net/profile/Adascalita-Lucia/publication/386140033_POSSIBILITIES_OF_USING_THE_LEAN_STRATEGY_TO_OPTIMIZE_PRINTING_PRODUCTION/links/674618e2359dcb4d9d3ab689/POSSIBILITIES-OF-USING-THE-LEAN-STRATEGY-TO-OPTIMIZE-PRINTING-PRODUCTION.pdf
- C. Rosa. (2019). *SMED methodology: The reduction of setup times for Steel Wire-Rope assembly lines in the automotive industry*. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235197891730745X>
- A.M. Vieira. (2021). *SMED methodology applied to the deep drawing process in the automotive industry*. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235197892032059X>
- Vargas, L. (2021). *Aplicación del Lean Manufacturing (5s y Kaizen) para el incremento de la productividad en el área de producción de adhesivos acuosos de una empresa manufacturera*. Scielo Perú. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-99932021000200249&script=sci_arttext&tlng=pt
- Palange, A. (2020). *Lean manufacturing a vital tool to enhance productivity in manufacturing*. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785320398783>
- Abusaq, Z., Zahoor, S., Habib, M., Rehman, M., Mahmood, J., Kanan, M., & Mushtaq, R. (2023). Improving Energy Performance in Flexographic Printing Process through Lean and AI Techniques: A Case Study. *Energies*, 16(4), 1972. <https://doi.org/10.3390/en16041972>
- Masuti, P. M. (2019). *Lean manufacturing implementation using value stream mapping at excavator manufacturing company*. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785319330330>
- Wang, P., Wu, P., Chi, H., & Li, X. (2020). *Adopting lean thinking in virtual reality-based personalized operation training using value stream mapping*. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580520309353>

- Suhardi, B., KS, M. H. P., & Jauhari, W. A. (2020). Implementation of value stream mapping to reduce waste in a textile products industry. *Cogent Engineering*, 7(1), 1842148. <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1842148>
- Huaman, E., & Villegas, F. (2024). Enhancing Operational Efficiency in Flexographic SMEs through lean manufacturing
- . En *IEOM Society*. <https://doi.org/10.46254/AU03.20240071>
- Riad Bin Ashraf, S., Mynur Rashid, M., & Harunur Rashid, Dr. A. R. M. (2017). Implementation of 5S Methodology in a Food & Beverage Industry. *Research Gate*. https://www.researchgate.net/profile/Sk-Ashraf-2/publication/315697643_Implementation_of_5S_Methodology_in_a_Food_Beverage_Industry_A_Case_Study/links/58dcc0be92851c611d430ae7/Implementation-of-5S-Methodology-in-a-Food-Beverage-Industry-A-Case-Study.pdf
- Howaniec, H., Binasova, V., & Kasajova, M. (2021). *Increasing Work Efficiency in a Manufacturing Setting Using Gemba Walk*. Research Gate. https://www.researchgate.net/publication/357169558_Increasing_Work_Efficiency_in_a_Manufacturing_Setting_Using_Gemba_Walk
- Micieta, B., Howaniec, H., Binasova, V., Kasajova, M., & Fusko, M. (2021, 18 diciembre). *Increasing Work Efficiency in a Manufacturing Setting Using Gemba Walk*. <https://ersj.eu/journal/2792>
- Wojtaszak, M., & Biały, W. (2013). *Measurement system analysis of attribute or continuous data, as a one of the first steps in Lean Six Sigma projects*. Systemy Wspomagania W Inżynierii Produkcji - Tom Z. 1 (3) (2013) - BazTech - Yadda. <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-ad451f82-1e22-4a06-8b7a-fca00b031685>
- Ogunbiyi, O., Oladapo, A., & Goulding, J. (2014). An empirical study of the impact of lean construction techniques on sustainable construction in the UK. *Research Gate*. https://www.researchgate.net/profile/Adebayo-Oladapo/publication/260228283_An_empirical_study_of_the_impact_of_lean_const_ruction_techniques_on_sustainable_construction_in_the_UK/links/53f1faca0cf272810e4c7cf8/An-empirical-study-of-the-impact-of-lean-construction-techniques-on-sustainable-construction-in-the-UK.pdf

CAPÍTULO 12

Glosario

Cuadro 16

Definición de términos utilizados en la investigación

No.	Término	Definición
1	<i>lean</i>	Metodología de gestión y producción enfocada en la optimización de procesos mediante la identificación y eliminación de desperdicios, buscando la máxima eficiencia y valor para el cliente.
2	Montaje	Proceso de preparación donde las mangas o cilindros de impresión son equipados con el fotopolímero (cliché o plancha) debidamente adherido mediante el uso de cinta adhesiva de doble cara.
3	Preprensa	Área o fase del proceso donde se realiza la preparación y procesamiento de las planchas de fotopolímero, incluyendo la exposición a luz UV para crear el relieve o imagen que será transferida en la impresión.
4	Impresión	Etapas de producción donde el diseño gráfico es transferido de las planchas de impresión al sustrato (material plástico, en este contexto) utilizando la maquinaria de impresión flexográfica.
5	Flexografía	Método de impresión en relieve que utiliza planchas flexibles de fotopolímero y rodillos <i>anilox</i> para transferir la tinta directamente al sustrato, comúnmente usado para empaques y etiquetas.
6	Adaptadores	Manguitos o acoplamientos cilíndricos utilizados para compensar la diferencia de diámetro entre el eje de la máquina y las mangas de montaje de mayor tamaño.
7	<i>Anilox</i>	Cilindros de cerámica o acero grabados con una matriz de celdas microscópicas (alveolos) que tienen la función esencial de dosificar y transferir una cantidad controlada y uniforme de tinta a la plancha de impresión.

8	Mangas	Cilindro tubular removible que se instala en la máquina de impresión y sobre el cual se monta la plancha de fotopolímero para la transferencia de la imagen.
9	Tintas	Compuesto químico homogéneo y pigmentado, formulado para adherirse al sustrato y que es esencial para la reproducción del color y del diseño gráfico.
10	<i>Cores</i>	Tubos cilíndricos de cartón resistente o material similar, utilizados como soporte central sobre el cual se enrolla y almacena el material (film o sustrato) una vez impreso.
11	Digitador	Personal técnico responsable de la captura, registro y documentación sistemática de los datos de producción de cada rollo impreso en los sistemas de control de planta.
12	Ayudante	Personal de soporte cuyas funciones incluyen la asistencia al operario en diversas tareas operacionales, logísticas y de preparación de la máquina.
13	Operario	Técnico calificado y principal responsable de la operación, supervisión, ajustes de la máquina de impresión y de asegurar la calidad y el volumen de la producción.
14	<i>Revolver</i>	Sistema o estructura de almacenamiento rotatorio que permite organizar y facilitar el acceso a los rodillos <i>anilox</i> (entintadores) de la máquina.
15	Número de Matrícula	Identificador único y codificado (ID) asignado a cada rodillo <i>anilox</i> para su trazabilidad, registro de uso y mantenimiento dentro de los sistemas de gestión de inventario y calidad de la planta.
16	Alistador	Técnico o auxiliar responsable de la gestión de los recursos de la máquina, incluyendo el desmontaje de los componentes de trabajos terminados, la organización y el control de los materiales para las órdenes de producción subsiguientes.