

Lean Manufacturing: A perspective from operational efficiency and the sustainability of machining processes in a metalworking company in Cartagena

Fabián Gazabón Arrieta, MSc¹, Armando Mendoza Díaz, MBA¹, Jennifer Vásquez Aguilar PhD¹, and Alba Zulay Cárdenas Escobar, MSc¹

¹Universidad Tecnológica de Bolívar (UTB), Colombia, fgazabon@utb.edu.co, amendoza@utb.edu.co, jenvasquez@utb.edu.co, acardenas@utb.edu.co

Abstract– The constant search for improvements in production processes has led to the adoption of innovative approaches that improve operational efficiency in companies in the metalworking sector in Cartagena. In this research, we worked with a representative company of this sector which faced a significant problem related to the deficiency in the standardization of processes, which generated an increase in the production of defective products, a reduction in operational efficiency, delays in deliveries. In this context, this project emerged as a strategic response to address the deficiencies identified in the company's machining process. The purpose of this was to apply an innovative approach based on tools and principles of lean manufacturing, by eliminating mudas, elements that do not add value to the product or service. The Lean Manufacturing proposals designed were presented as a solution, where the tools of this methodology were applied in an integrated way to identify opportunities for improvement, reduce production times, minimize costs and standardize activities related to the machining of blocks and cylinder heads. This project was not only conceived as an initiative to overcome operational challenges, but also as an opportunity for improvement for companies in the sector, which are beginning their growth process.

Keywords: Lean Manufacturing, Operational Efficiency, Machining Process, Metalworking Sector, Improvement

Lean Manufacturing: Una perspectiva desde la eficiencia operativa y la sostenibilidad de los procesos de mecanizado, en una empresa metalmecánica de Cartagena

Fabián Gazabón Arrieta, MSc¹, Armando Mendoza Díaz, MBA¹, Jennifer Vásquez Aguilar PhD¹, and Alba Zulay Cárdenas Escobar, MSc¹

¹Universidad Tecnológica de Bolívar (UTB), Colombia, fgazabon@utb.edu.co, amendoza@utb.edu.co, jenvasquez@utb.edu.co, acardenas@utb.edu.co

Resumen– La búsqueda constante de mejoras en los procesos productivos ha llevado a la adopción de enfoques innovadores que permitan mejorar la eficiencia operativa en las empresas del sector metalmecánico de Cartagena. En la presente investigación se trabajó con una empresa representativa de dicho sector la cual enfrentó una problemática significativa relacionada con la deficiencia en la estandarización de los procesos, lo cual generó un aumento en la producción de productos defectuosos, una reducción en la eficiencia operativa, retrasos en las entregas. En este contexto, el presente proyecto, surgió como una respuesta estratégica para abordar las deficiencias identificadas en el proceso de mecanizado de la empresa. Este tuvo como propósito el aplicar un enfoque innovador basado en herramientas y principios del Lean Manufacturing, mediante la eliminación de las mudas, elementos que no aportan valor al producto o servicio. Las propuestas del Lean Manufacturing diseñadas se presentaron como una solución, donde las herramientas de esta metodología fueron aplicadas de manera integrada para identificar oportunidades de mejora, reducir tiempos de producción, minimizar costos y estandarizar las actividades relacionadas con el mecanizado de bloques y culatas. Este proyecto no solo se concibió como una iniciativa para superar desafíos operativos, sino también como una oportunidad para la empresa y empresas similares del sector, que están iniciando su proceso de crecimiento.

Palabras Claves: Lean Manufacturing, Eficiencia Operativa, Proceso de Mecanizado, Sector Metalmecánico, Mejoramiento.

I. INTRODUCCIÓN

El sector metalmecánico en Colombia ha sido históricamente un pilar fundamental para el desarrollo industrial del país. Según un informe de la Cámara de Comercio de Medellín, en 2022, el Producto Interno Bruto (PIB) de la industria metalmecánica alcanzó un valor cercano a los 24 billones de pesos, representando una contribución significativa al PIB nacional [1]. Este sector abarca una amplia gama de actividades, desde la fabricación de maquinaria y equipos hasta la producción de componentes metálicos, lo que lo convierte en un motor clave para la economía colombiana [2].

Además, la industria ha demostrado ser un actor crucial en la generación de empleos industriales, así como en la

transferencia tecnológica hacia otros sectores productivos del país [3].

En términos de exportaciones de artículos del hogar, que forman parte del sector metalmecánico, representaron el 3,4 % de las exportaciones no minero-energéticas del país en 2023, alcanzando un total de USD 672 millones [4]. Las proyecciones para 2025 muestran un crecimiento significativo del 5 % [5]. Estos indicadores reflejan la resiliencia y adaptabilidad del sector frente a los desafíos económicos recientes, consolidando su papel esencial en la estructura productiva y en la generación de valor agregado en Colombia.

Dada la importancia estratégica del sector metalmecánico para el desarrollo económico de Colombia, es imperativo que sus empresas no solo optimicen sus operaciones, sino que también integren objetivos sociales y ambientales en sus estrategias. El sector tiene el potencial de generar un impacto significativo en el empleo, la reducción de desigualdades y la mitigación de efectos ambientales, siempre que adopte prácticas que equilibren productividad y sostenibilidad. Para lograr esto, la implementación de modernas filosofías de mejoramiento, como el Lean Manufacturing, se convierte en una herramienta clave. Esta metodología permite no solo reducir desperdicios y maximizar la eficiencia operativa, sino también promover la responsabilidad social empresarial y la gestión ambiental mediante procesos más limpios y responsables con el entorno [6].

El Lean Manufacturing, con su enfoque en la eliminación de actividades que no agregan valor, fomenta una cultura organizacional de mejora continua, eficiencia y sostenibilidad. Su aplicación en el sector metalmecánico colombiano puede consolidar a las empresas como líderes regionales en competitividad, al tiempo que generan valor compartido para sus comunidades y protegen los recursos naturales. Además, esta filosofía permite a las organizaciones alinear sus procesos con estándares internacionales, fortaleciendo su posición en mercados

globales y promoviendo el cumplimiento de metas de desarrollo sostenible. De esta manera, el sector puede evolucionar hacia un modelo industrial que no solo contribuya al crecimiento económico del país, sino que también refuerce su compromiso con el bienestar social y la sostenibilidad ambiental, consolidando su relevancia en el panorama industrial global [7].

Es así como el sector metalmecánico colombiano enfrenta retos cruciales relacionados con la mejora continua de su eficiencia operativa, un elemento esencial para consolidar su competitividad en el mercado global. La implementación de metodologías como Lean Manufacturing y la optimización de procesos internos son fundamentales para reducir desperdicios, minimizar costos y maximizar la productividad, todo sin comprometer la calidad. Estos esfuerzos no solo responden a las demandas de un mercado cada vez más exigente, sino que también permiten al sector alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables). Una operación eficiente no solo genera mayores márgenes de rentabilidad, sino que también fomenta un uso más racional de los recursos, contribuyendo a una industria más sostenible y resiliente [8], [9]. La transición hacia procesos energéticamente eficientes y la integración de tecnologías limpias están en el centro de la agenda gubernamental, en línea con el ODS 7 (Energía Asequible y No Contaminante).

Este enfoque en la eficiencia operativa no solo permite a las empresas del sector mejorar su desempeño económico, sino que también las posiciona como actores clave en la transición hacia un modelo industrial más sostenible y alineado con las metas nacionales de desarrollo [10], [11].

II. RETOS Y DESAFÍOS DEL SECTOR

La mejora de la eficiencia operativa en las empresas metalúrgicas de Cartagena, Colombia, es clave para fortalecer la productividad y competitividad en un mercado global. La adopción de los principios del Lean Manufacturing, como la metodología 5S, el mapeo de la cadena de valor y la producción justo a tiempo, permitirá a estas empresas reducir desperdicios, mejorar la calidad del producto y optimizar los flujos de trabajo. Desarrollada originalmente por Toyota, esta metodología ha sido ampliamente reconocida por su capacidad para abordar desafíos como las no conformidades excesivas y los tiempos de ciclo prolongados. Estudios han demostrado que su implementación en el sector metalúrgico de Cartagena ha llevado a reducciones significativas en costos operativos y mejoras en la eficiencia general, lo que favorece la posición competitiva de las empresas locales [12], [13].

Al priorizar la eficiencia operativa y enfrentar estos desafíos, las empresas metalúrgicas de Cartagena no solo

mejorarán su rentabilidad, sino que también contribuirán al desarrollo económico de la región mediante la creación de empleo, la innovación y el fortalecimiento de la industria [14], [15].

III. MARCO TEÓRICO

El marco teórico que soporta esta investigación gira en torno a los conceptos de Lean Manufacturing, Eficiencia Operativa, Sostenibilidad Industrial, Procesos de Mecanizado del sector Metalmecánico, Competitividad y Valor Agregado.

Lean Manufacturing, o Manufactura Esbelta, es una filosofía de gestión enfocada en la mejora continua, la eliminación de desperdicios y la maximización del valor para el cliente. Desarrollado originalmente por Toyota, este enfoque se fundamenta en principios como la producción justo a tiempo, la metodología 5S, el mapeo de la cadena de valor y la resolución sistemática de problemas. En el contexto de los procesos de mecanizado, el Lean Manufacturing se traduce en la optimización de flujos de trabajo, reducción de tiempos de ciclo y mejora de la calidad del producto final, logrando una operación más eficiente y rentable [16]. Esta metodología también promueve una cultura organizacional basada en la colaboración y el aprendizaje continuo, elementos esenciales para alcanzar la excelencia operativa [17].

La eficiencia operativa se refiere al uso óptimo de los recursos disponibles para maximizar la producción de bienes y servicios. En el sector metalmecánico, esto implica la implementación de herramientas y estrategias que reduzcan los costos, minimicen los desperdicios y aumenten la productividad. La eficiencia operativa no solo impacta la rentabilidad de la empresa, sino que también fortalece su competitividad en un mercado globalizado [18]. El Lean Manufacturing contribuye directamente a este objetivo al identificar y eliminar actividades que no agregan valor, optimizar el uso de recursos y establecer procesos estandarizados que mejoran la continuidad operativa.

La sostenibilidad industrial implica un equilibrio entre la producción eficiente, la responsabilidad ambiental y el desarrollo social. En el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 12 (Producción y Consumo Responsables) y el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), las empresas están llamadas a reducir su impacto ambiental mediante el uso eficiente de recursos y la adopción de tecnologías limpias [19]. En el sector metalmecánico, esto se traduce en la integración de prácticas como la economía circular, el reciclaje de materiales y la eficiencia energética, elementos clave para garantizar un modelo de producción más responsable y alineado con las exigencias del mercado y la normativa ambiental [20].

En este contexto, el mecanizado es un proceso industrial esencial en el sector metalmecánico, que incluye operaciones como torneado, fresado y rectificado, orientadas a la fabricación de piezas metálicas de alta precisión. Estos procesos requieren altos niveles de eficiencia y calidad para cumplir con los estándares industriales y las demandas del mercado. La aplicación de herramientas Lean, como el mapeo de la cadena de valor y el control visual, permite optimizar el flujo de trabajo y reducir defectos, mejorando tanto la productividad como la satisfacción del cliente [21]. En el contexto colombiano, estas prácticas son fundamentales para consolidar el sector metalmecánico como un actor competitivo y sostenible en la economía global.

Finalmente, la competitividad en el sector metalmecánico se define como la capacidad de las empresas para mantenerse relevantes y sostenibles en un mercado globalizado. Esto se logra mediante la innovación, la generación de valor agregado y la adopción de prácticas de gestión eficientes. El Lean Manufacturing ofrece un marco robusto para mejorar la competitividad, ya que fomenta una cultura de mejora continua que incrementa la capacidad de respuesta a las demandas del mercado, reduce costos y mejora la calidad del producto final [22],[23]. Este enfoque también impulsa la innovación en los procesos productivos, un factor clave para diferenciarse en un entorno empresarial cada vez más exigente.

IV.METODOLOGÍA

Diagnóstico Preliminar del Problema

Como caso de estudio, se seleccionó una empresa representativa del sector metalmecánico de Cartagena, en la cual se realizó un diagnóstico preliminar utilizando la técnica de *Gemba Walk*, una herramienta fundamental en la filosofía Lean Manufacturing. Esta metodología permitió observar directamente las operaciones en el lugar donde se generan los procesos y su valor, identificando riesgos y oportunidades de mejora. Durante estas caminatas, se realizaron entrevistas con operarios y supervisores, lo que permitió detectar problemas recurrentes, identificar procesos críticos y reconocer ineficiencias en la gestión de espacios y almacenamiento

A través de esta técnica, se identificaron deficiencias específicas como la falta de organización en las áreas de trabajo y la ausencia de una distribución adecuada del espacio, lo que impactaba negativamente la eficiencia operativa. Además, se constató que los procesos de *encamisado de bloques* y *mantenimiento general de culatas*, fueron los más demandados por los clientes, que dichos procesos presentan una alta variabilidad y no están estandarizados. Entre las tareas críticas dentro de esos procesos se encuentran el pre-maquinado, el rectificado y el pulido en el *encamisado de bloques*, y el cambio de

guías y válvulas en el *mantenimiento de culatas*, las cuales consumen la mayor parte del tiempo productivo, según lo constatado en las *Gemba Walk*.

Con base en el diagnóstico preliminar obtenido, se construyó un *Árbol del Problema* para estructurar y analizar las causas y efectos asociados a la “falta de una adecuada estandarización de procesos” (Ver Figura1).

Las causas identificadas incluyen la variabilidad en los tipos de motores, la desorganización del área de trabajo, y la ineficiencia en la gestión del almacenamiento y del espacio disponible. Estas deficiencias conducen a efectos negativos como el aumento de productos defectuosos, retrasos en las entregas, pérdida de piezas y daños en motores, afectando directamente la eficiencia y la satisfacción del cliente como se muestra en la Figura 1.

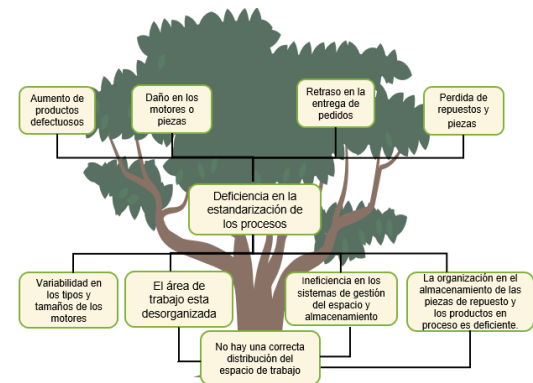


Figura 1. Árbol de Problemas (Elaboración Propia)

El análisis con el Árbol de Problemas evidenció que una causa de segundo orden, relacionada con la *incorrecta distribución del espacio de trabajo*, agrava las otras problemáticas identificadas. Este modelo causal no solo organizó la información disponible, sino que permitió visualizar las interconexiones entre los factores que contribuyen al problema central. Este enfoque proporciona una base sólida para diseñar intervenciones específicas que mejoren la estandarización y eficiencia operativa en la empresa.

Modelo de Intervención

Se analizaron cuatro alternativas para abordar la deficiencia en la estandarización de procesos identificada. Cada diseño conceptual propuesto representa una estrategia única para mejorar la eficiencia, calidad y competitividad de la empresa estudiada.

Las alternativas consideradas incluyen enfoques basados en *Lean Manufacturing*, que elimina desperdicios y promueve la mejora continua; *Sistemas de Gestión de Calidad* basados en normas internacionales como ISO 9001, enfocados en documentar procesos y satisfacer estándares de calidad; *Reingeniería de Procesos*, que

Se consideraron criterios claves como riesgos, sostenibilidad e impactos ambientales, utilizando estándares del PMBOK y normas ISO 9001 e ISO 14001, cuyos resultados se presentan en la Figura 2:

Aspecto	Propuestas Lean	Implementación de Sistemas de Gestión de Calidad	Reingeniería de Procesos	Automatización de Procesos
Riesgo e Incertidumbre	Moderado. Aunque las herramientas Lean están bien establecidas, la implementación puede encontrar resistencia organizacional y desafíos específicos del contexto.	Moderado. La implementación de sistemas de gestión de calidad como ISO 9001 puede tener desafíos, pero cuenta con pautas claras.	Alto. Implica cambios significativos en los procesos existentes, lo que puede generar resistencia organizacional y desconocimiento de los resultados finales.	Alto. La implementación de tecnologías de automatización puede ser costosa y compleja, con posibles desafíos técnicos y de integración.
Sostenibilidad	Alta. El enfoque Lean se centra en la eficiencia y la reducción de desperdicios, lo que generalmente conduce a prácticas más sostenibles.	Moderada. Si bien mejora la calidad y eficiencia, puede no enfocarse directamente en la reducción de desperdicios.	Alta. Al igual que Lean, se enfoca en la optimización de procesos y la reducción de desperdicios.	Moderada. Si bien puede mejorar la eficiencia, la automatización no necesariamente se centra en la reducción de desperdicios.
Principios de Ciclo de Vida	Continuo. El Lean promueve la mejora continua, lo que implica un enfoque constante en la optimización de procesos.	Continuo. Los sistemas de gestión de calidad promueven la mejora continua.	Continuo. La reingeniería de procesos busca una mejora radical y continua.	Continuo. La automatización puede requerir actualizaciones y mantenimiento continuo.
Impactos Ambientales	Positivos. La reducción de desperdicios y la optimización de recursos tienen un impacto ambiental positivo.	Positivos. Mejorar la calidad puede reducir errores y desperdicios, lo que tiene un impacto ambiental positivo.	Positivos. Al optimizar procesos, se reducen desperdicios y se mejora la eficiencia, lo que tiene un impacto ambiental positivo.	Positivos. La eficiencia mejorada puede conducir a un uso más eficiente de recursos y una reducción de desperdicios.

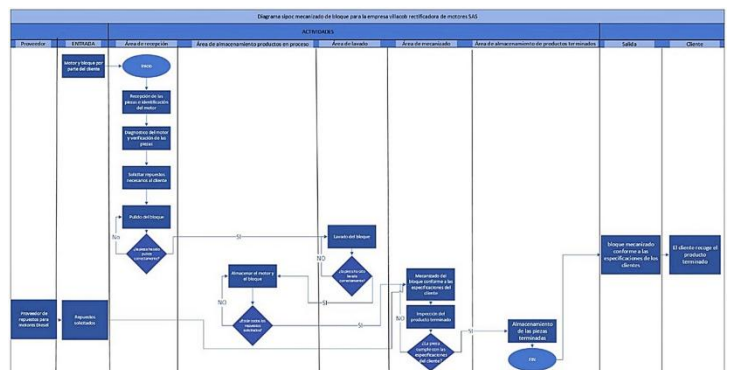
Puesto que el ciclo de vida y los impactos ambientales de todas las propuestas son similares, los aspectos diferenciadores serían la mayor sostenibilidad y el menor riesgo posible, bajo esos preceptos la opción seleccionada sería la propuesta bajo un enfoque Lean Manufacturing.

Estas propuestas de enfoque Lean Manufacturing se llevó a cabo a través de metodologías de gestión de proyectos, como la conocida *Metodología de Cascada* o *Waterfall* en inglés. *Waterfall* es un marco metodológico tradicional que se caracteriza por sus fases secuenciales. Desarrollada por primera vez en 1970 por Winston W. Royce, ha sido ampliamente adoptada en diversas industrias debido a su secuencia lógica y fácil implementación [23]. La adaptación de esta metodología utilizada en la presente investigación incluyó las siguientes etapas que se muestran en la Figura 3:



Resultados de la Implementación del Modelo de Intervención

El diagnóstico de los procesos de mecanizado en la empresa metalmeccánica de Cartagena objeto de estudio, permitió obtener una comprensión detallada de sus operaciones mediante diversas herramientas de análisis. Inicialmente, se realizó un *Mapa de Procesos* que proporcionó una visión panorámica de la secuencia de procesos involucrados en la generación de valor del negocio. Seguidamente, a través de la herramienta *SIPOC*, se identificaron los principales procesos proveedores, insumos, actividades, resultados y procesos clientes, enfocándonos en los procesos de *Encamisado de Bloques y Mantenimiento general de Culatas*, debido a su alta demanda y relevancia dentro de la operación (Ver Figura 4).



El análisis del *Layout* de las instalaciones reveló deficiencias en la distribución del espacio de trabajo, lo que generaba cuellos de botella y afectaba el flujo

eficiente de las actividades. Se evidenció una mala organización en la ubicación de maquinaria, estaciones de trabajo y almacenamiento de herramientas, lo que aumentaba los tiempos de espera y la improductividad. Estas observaciones fueron clave para determinar oportunidades de mejora en la disposición del área de producción y en la optimización de los desplazamientos internos del personal.

Se realizó un *Estudio de Tiempo*, mediante el cual se analizaron las actividades clave dentro de los procesos de mecanizado. En el *Encamisado de Bloques*, se identificó que el tiempo improductivo alcanzaba el 24.68% en la fase de *Pulido de Camisas*, mientras que en el *Pre-Maquinado* representaba el 6.34% y en el *Insertado de Camisas* ascendía al 18.94%. Estos resultados indicaron problemas asociados a retrasos en la preparación de los bloques, búsqueda de herramientas y paradas en la producción por asistencia a otros compañeros. En el *Mantenimiento General de Culatas*, la actividad con mayor ineficiencia fue el *Cambio de Guías y Asientos*, con un 17.77% de tiempo improductivo y un preocupante 41.72% de tiempo ocioso, lo que evidenció falta de estandarización en el proceso y deficiencias en la planificación del trabajo.

Para profundizar en las causas de estos retrasos, se aplicó un *Diagrama de Ishikawa (Fishbone)* que permitió identificar factores clave como la falta de estandarización en los procesos, la mala distribución del espacio de trabajo, la ineficiencia en la gestión del almacenamiento y la variabilidad en los tipos y tamaños de motores procesados. Estos factores generaban problemas operativos como aumento en los defectos, retrasos en la entrega de productos y pérdidas de repuestos y piezas (Ver Figura 5).

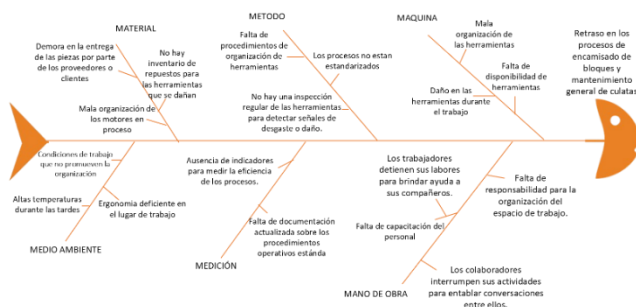


Figura 5. FishBone del Análisis de Causalidad (Fuente Propia)

Finalmente, los hallazgos del diagnóstico confirmaron que la *falta de estandarización de procesos* y la *desorganización en las áreas de trabajo* eran los principales obstáculos para la eficiencia operativa de la empresa. Por ello, se recomendó abordar estos problemas en las siguientes fases del proyecto, priorizando la implementación de metodologías de mejora continua como Lean Manufacturing, con el objetivo de reducir

tiempos improductivos, optimizar el flujo de trabajo y mejorar la competitividad de la empresa.

2. Fase de Diseño de Propuestas de Mejoramiento

La fase de diseño de propuestas se desarrolló mediante un proceso colaborativo entre el equipo de trabajo y la empresa, en el cual se involucró activamente a los empleados en la identificación de oportunidades de mejora y en la formulación de estrategias de estandarización para los procesos de mecanizado. A través de reuniones y análisis conjuntos, se definieron soluciones adaptadas a las necesidades específicas de la organización. Además, se realizó una revisión bibliográfica sobre *Herramientas Lean* aplicables a la problemática detectada, lo que permitió fundamentar las propuestas en metodologías comprobadas.

Como resultado de este trabajo, se planteó la implementación de la *Metodología de las 5S* en las áreas de *Encamisado de Bloques* y *Mantenimiento general de Culatas*. Esta iniciativa buscó mejorar el Orden, la Limpieza y la Disciplina en el lugar de trabajo, eliminando elementos innecesarios, organizando herramientas y materiales de manera eficiente, y estableciendo procedimientos claros para mantener la estandarización en los espacios productivos. La adopción de este enfoque contribuyó a reducir los tiempos improductivos y mejorar la eficiencia operativa en la empresa.

Adicionalmente, se propuso una *Estrategia Integral de Estandarización de Procesos*, compuesta por dos elementos principales: *Elaboración de un Manual de Procedimientos* y *Capacitación del Personal*. El Manual documentará de manera detallada las actividades involucradas en el mecanizado de bloques y culatas, proporcionando instrucciones precisas y uniformes que permitan mejorar la consistencia en las operaciones. Este documento estará basado en la experiencia empírica del equipo y en las mejores prácticas identificadas en la literatura especializada.

La *Capacitación del Personal* se enfocará en garantizar la correcta aplicación de los procedimientos estandarizados y en reforzar los principios de la metodología 5S. Se diseñará un programa de formación con sesiones teórico-prácticas que promuevan la adopción de buenas prácticas, mejoren la comprensión de los estándares de trabajo y fortalezcan la cultura de mejora continua en la empresa. Con estas estrategias, se espera optimizar la productividad y la calidad en los procesos de mecanizado, consolidando un entorno de trabajo más organizado, eficiente y seguro.

3. Fase de Implementación de Propuestas con Enfoque Lean Manufacturing

En la fase de implementación del proyecto, se

aplicaron dos herramientas clave del *Lean Manufacturing*: la *Metodología 5S* y la *Estandarización del Trabajo*, con el fin de mejorar la eficiencia operativa en los procesos de *Encamisado de Bloques y Mantenimiento general de Culatas*. Antes de la implementación, se realizaron sesiones de capacitación dirigidas a colaboradores, líderes de área y administradores, donde se explicó la importancia del proyecto y los beneficios esperados. Durante estas capacitaciones, los empleados mostraron un alto nivel de compromiso y aportaron recomendaciones que facilitaron la correcta aplicación de la metodología.

Aplicación de la Metodología 5S

La aplicación de la Metodología 5S comenzó con la fase de *Clasificación (Seiri)*, donde se identificaron y eliminaron elementos innecesarios en las áreas de trabajo. Se diseñó un formato para registrar herramientas, su frecuencia de uso y su ubicación, lo que permitió depurar el inventario y mejorar la organización del espacio. En la fase de *Organización (Seiton)*, se reubicaron herramientas según su nivel de uso y se implementaron señalizaciones de seguridad basadas en las Normas Técnicas ICONTEC 1461 y 1462, con el fin de prevenir accidentes y mejorar el flujo de trabajo.

La tercera fase, *Limpieza (Seiso)*, incluyó una inspección exhaustiva de las áreas de trabajo, con el objetivo de prevenir daños en los equipos y mejorar el bienestar de los trabajadores. Para garantizar la continuidad de esta práctica, se elaboró un *Manual de Limpieza* que detalló responsabilidades y procedimientos. Se implementó un *Plan de Limpieza* en las áreas de *Cambio de Guías y Asientos, Rectificado de Válvulas, Sentado de Válvulas y Encamisado de Bloques*, asegurando que cada responsable supervisara el cumplimiento de los estándares de higiene. Además, se entregó al gerente un formato de seguimiento para evaluar el progreso de la implementación.

Las fases finales de la metodología, *Estandarización (Seiketsu)* y *Disciplina (Shitsuke)*, se enfocaron en establecer normas y procedimientos que permitieran la sostenibilidad del sistema en el tiempo. Junto con el gerente y los trabajadores, se definieron reglas de limpieza y organización que fueron colocadas en puntos clave de la empresa para reforzar su cumplimiento. Se estableció un sistema de *Seguimiento y Control Mensual*, donde el empleado más experimentado supervisaría el cumplimiento en el mantenimiento general de culatas, mientras que en el encamisado de bloques, el gerente asumiría la supervisión.

La implementación de estas estrategias permitió reducir desperdicios, mejorar la disposición del espacio de trabajo y fortalecer una cultura de orden y disciplina dentro de la empresa. Gracias a la combinación de la Metodología 5S y la Estandarización del Trabajo, se logró

optimizar los procesos clave de producción, promoviendo la eficiencia y la mejora continua en la organización (Ver Figura 6).

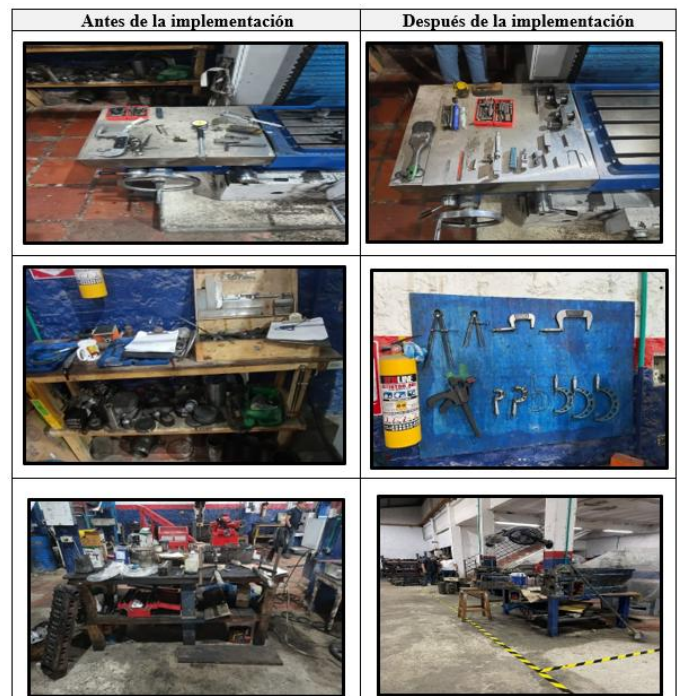


Figura 6. Implementación de Propuestas 5s con Enfoque Lean (Fuente Propia)

Propuesta de reorganización del Layout

Se planteó la reubicación de uno de los procesos del mantenimiento de culatas con la finalidad de reducir las distancias de desplazamiento y por ende los tiempos de estos, el Layout antes de la propuesta era el siguiente:



Figura 7. Diagrama de Recorrido Actual (Fuente Propia)

Antes de la propuesta los desplazamientos totales para el proceso de mantenimiento de culatas eran de 16,84 metros para el proceso completo y de 11,23 metros para el proceso con las culatas previamente rectificadas. El layout de la propuesta es el siguiente:

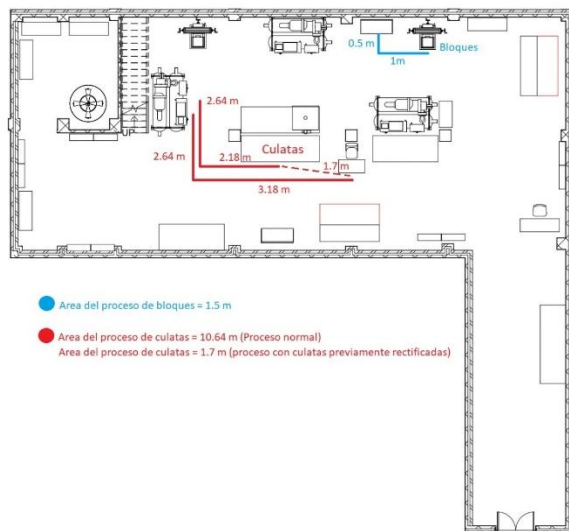


Figura 8. Diagrama de Recorrido Propuesto (Fuente Propia)

Las distancias de desplazamiento para el proceso de mantenimiento de culatas en la propuesta se verán reducidas hasta un total de 10,64 metros para el proceso normal y 1,7 metros para el proceso con las culatas previamente rectificadas.

En conclusión, el porcentaje de disminución en el desplazamiento será de 37% para el recorrido del proceso completo y de 85% para el recorrido del proceso con las culatas previamente rectificadas.

4. Fase de Prueba

Durante un mes, se efectuaron visitas a la empresa para recopilar datos que permitieron consolidar los resultados posteriores a la fase de implementación. Durante este periodo, se llevó a cabo un seguimiento exhaustivo y una evaluación detallada de las herramientas implementadas en los procesos de encamisado de bloques y mantenimiento general de culatas.

Se realizaron mediciones de tiempo para evaluar la duración de los procesos después de la implementación, y compararlos con los tiempos medidos durante la fase diagnóstica. Para esto se tomaron los tiempos de los procesos por actividades.

En el caso del *Encamisado de Bloques*, se evaluó a un único trabajador responsable de realizar las cuatro actividades en una sola área de la empresa que fue denominada *Área de Encamisado de Bloques*. las actividades son: *pre-maquinado*, *insertado de camisas*, *rectificado* y *pulido de camisas*.

Para el *Mantenimiento General de Culatas*, se evaluaron a tres trabajadores que realizan las actividades

en 3 áreas distintas de la empresa denominadas como *área de cambio de guías y asientos*, *área de rectificado de válvulas* y *área de sentado de culatas*. El primer colaborador se encarga de realizar las actividades de cambio de guías y asientos, el segundo del rectificado de válvulas y el tercero del sentado de válvulas.

Luego, se decidió realizar las mediciones del tiempo teniendo en consideración el tiempo improductivo (buscando herramientas, asistencia a compañeros, etc.), tiempo ocioso (charla con compañeros, descansando en el puesto de trabajo, etc.) y el tiempo productivo (tiempo dedicado a la actividad específica).

4. Fase de Evaluación

Para evaluar el impacto de las estrategias implementadas, se utilizó la variable *Tiempo* como indicador clave de mejora en la eficiencia operativa de los procesos *Mantenimiento general de Culatas* y *Encamisado de Bloques*. Inicialmente, se realizó un estudio de tiempos previo a la implementación, donde se obtuvo un tiempo promedio de 91.67 minutos para el *mantenimiento general de culatas* y 139 minutos para el *encamisado de bloques*. Posteriormente, tras la aplicación de las metodologías Lean, se realizaron nuevas mediciones que reflejaron una mejora significativa en ambos procesos.

En el caso del *Mantenimiento general de Culatas*, el tiempo promedio de ejecución se redujo a 77 minutos, representando una mejora del 16%. Además, el tiempo improductivo disminuyó en 32 minutos (74%) y el tiempo ocioso en 15 minutos (65%), lo que evidencia una optimización en el uso del tiempo de trabajo. Por su parte, en el *Encamisado de Bloques*, el tiempo de ejecución se redujo a 114 minutos, con una mejora del 18%. El tiempo improductivo se redujo en 4 minutos (16%) y el tiempo ocioso en 2 minutos (28%), lo que indica una mayor eficiencia en la gestión del flujo de trabajo.

El análisis de costo-beneficio confirmó que la reducción en los tiempos de procesamiento tuvo un impacto directo en la capacidad productiva de la empresa. Antes de la implementación, la empresa realizaba en promedio 2 encamisados de bloques y 4 mantenimientos de culatas por día, con ingresos estimados de \$107.8 millones mensuales. Tras la optimización de los procesos, la capacidad productiva teórica aumentó a 4 encamisados de bloques y 6 mantenimientos de culatas por día, lo que permitiría alcanzar ingresos estimados de \$190.8 millones mensuales, representando un incremento del 77% en las ganancias teóricas.

Desde una perspectiva estructural, el proyecto cumplió con los objetivos planteados, abordando las necesidades identificadas en la Fase de Diagnóstico y mejorando la Eficiencia Operativa de la empresa. Se

destacó la importancia de una planificación detallada, el trabajo en equipo y la integración de herramientas Lean para lograr resultados sostenibles en el tiempo. La metodología 5S y la Estandarización de Procesos demostraron ser estrategias efectivas para reducir desperdicios y mejorar la organización en el área de trabajo.

En conclusión, la implementación de estrategias Lean Manufacturing permitió optimizar los procesos de *Mecanizado de Bloques y Culatas*, mejorando la productividad y reduciendo los tiempos improductivos. La empresa ahora cuenta con bases sólidas para mantener la eficiencia operativa y seguir aplicando metodologías de mejora continua, lo que fortalecerá su competitividad en el sector metalmeccánico y garantizará su sostenibilidad a largo plazo.

V. CONCLUSIONES

La implementación de metodologías Lean Manufacturing en los procesos de mecanizado de bloques y mantenimiento de culatas en la empresa metalmeccánica de Cartagena permitió alcanzar mejoras significativas en la eficiencia operativa. La aplicación de la metodología 5S y la estandarización de procesos contribuyó a la optimización del espacio de trabajo, la reducción del tiempo improductivo y ocioso, y la mejora en la calidad del servicio. Como resultado, se logró una disminución del 16% en el tiempo de mantenimiento de culatas y del 18% en el tiempo de encamisado de bloque lo que evidencia la efectividad de las estrategias implementadas.

El estudio de tiempos reveló que, antes de la implementación, la empresa presentaba una gestión ineficiente del tiempo, con altos niveles de inactividad en sus procesos clave. Tras la aplicación de las estrategias, se logró una reducción del 74% en el tiempo improductivo y del 65% en el tiempo ocioso en el *mantenimiento de culatas*, mientras que en el *encamisado de bloques* estas reducciones fueron del 16% y 28%, respectivamente. Estos resultados demuestran la importancia de la gestión del tiempo y la organización en la mejora del desempeño operativo.

Desde un punto de vista económico, el análisis costo-beneficio evidenció que la optimización de los procesos permitió aumentar la capacidad productiva de la empresa. Mientras que antes de la implementación se producían 2 encamisados de bloques y 4 mantenimientos de culatas por día, después de la optimización la capacidad teórica aumentó a 4 encamisados y 6 mantenimientos diarios. Esto representó un incremento potencial del 77% en las ganancias mensuales, lo que refuerza la viabilidad de la aplicación de Lean Manufacturing en empresas del sector metalmeccánico.

El éxito del proyecto también se atribuye a la

participación activa de los operarios en la identificación de problemas y en la ejecución de las estrategias de mejora. Las capacitaciones previas a la implementación fueron fundamentales para garantizar la comprensión y el compromiso del personal con las metodologías aplicadas. Además, la supervisión continua permitió ajustar las estrategias de acuerdo con las necesidades y condiciones específicas de la empresa, asegurando la sostenibilidad de los resultados obtenidos.

V. DISCUSIÓN Y FUTURAS INVESTIGACIONES

Los resultados obtenidos en este estudio sobre la implementación de herramientas Lean Manufacturing en empresas metalmeccánicas de Cartagena, evidencian mejoras significativas en la eficiencia operativa y la calidad de los procesos. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones previas realizadas en contextos similares.

Por ejemplo, Carrillo et al. [23] documentaron mejoras en la calidad y eficiencia operativa tras la implementación de las 5S y TPM en una empresa metalmeccánica en Cartagena. Asimismo, un estudio en Lima, Perú, evidenció que la aplicación de Lean Manufacturing se asocia significativamente con mejoras en el impacto ambiental y social de las PYMES del sector metalmeccánico [24]. Estas comparaciones subrayan la relevancia de las prácticas Lean en la industria metalmeccánica de América Latina y respaldan la aplicabilidad de los resultados obtenidos en Cartagena.

Sin embargo, se identifican áreas que requieren exploración adicional. Futuras investigaciones podrían profundizar en la integración de herramientas complementarias como Justo a Tiempo (JIT) y Kaizen, evaluando su impacto en la reducción de desperdicios y en la mejora de la planificación de la producción. Además, sería valioso estudiar la incorporación de tecnologías digitales, como la automatización y el análisis de datos en tiempo real, para optimizar aún más la gestión de los procesos metalmeccánicos.

También se sugiere analizar la replicabilidad de estas estrategias en otras áreas de la empresa o en distintas empresas del sector metalmeccánico en Cartagena y otras regiones. Evaluar el impacto a largo plazo de la estandarización de procesos en la productividad y competitividad empresarial permitirá consolidar un marco metodológico sólido para la aplicación de Lean Manufacturing en la industria metalmeccánica, impulsando su transformación hacia modelos de producción más eficientes y sostenibles.

AGRADECIMIENTOS

Se otorga un especial reconocimiento a los estudiantes Daniel Jose Arellano De La Haye, Jireth Elías Parra Bossa, Sergio Junior Yepez Castro. Yerson David Feria Ruiz, quienes

hicieron parte del proceso investigativo en el marco de capstone project del programa de Ingeniería Industrial de la UTB.

REFERENCIAS

- [1] Cámara de Comercio de Medellín, "Sector Metalmecánico en Colombia," [En línea]. Disponible: <https://estudios.ccmpec.org.co/wp-content/uploads/Sector-metalmecanico.pdf>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [2] A. Asociación Nacional de Industriales (ANDI), "Resultados del sector manufacturero en Colombia," [En línea]. Disponible: <https://www.andi.com.co/Home/Noticia/17200-los-resultados-de-la-industria-en-enero>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [3] ProColombia, "Crecimiento del sector metalmecánico en Colombia," [En línea]. Disponible: <https://procolombia.co/sala-de-prensa/noticias/crece-el-potencial-exportador-del-sector-metalmecanico-y-otras-industrias>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [4] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), "Informe de empleabilidad del sector industrial," [En línea]. Disponible: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/mercado-laboral>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [5] ProColombia, "Exportaciones del sector metalmecánico," [En línea]. Disponible: <https://www.procolombia.co/industria/metalmecanico>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [6] J. P. Womack y D. T. Jones, "Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation," 2ª ed., Free Press, 2003.
- [7] ProColombia, "Desarrollo sostenible en la industria metalmecánica," [En línea]. Disponible: <https://procolombia.co>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [8] J. P. Womack y D. T. Jones, "Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation," 2ª ed., Free Press, 2003.
- [9] Naciones Unidas, "Objetivos de Desarrollo Sostenible," [En línea]. Disponible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [10] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "Estrategias para la eficiencia energética en Colombia," [En línea]. Disponible: <https://www.minambiente.gov.co>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [11] Cámara de Comercio de Bogotá, "La industria metalmecánica y su aporte a la sostenibilidad," [En línea]. Disponible: <https://www.ccb.org.co>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [12] J. P. Womack y D. T. Jones, "Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation," 2ª ed., Free Press, 2003.
- [13] Cámara de Comercio de Cartagena, "Impacto del Lean Manufacturing en el sector metalmecánico," [En línea]. Disponible: <https://www.cccartagena.org>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [14] ProColombia, "Desarrollo sostenible e industrialización en Colombia," [En línea]. Disponible: <https://procolombia.co>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [15] DANE, "Análisis del desempeño de la industria metalmecánica," [En línea]. Disponible: <https://www.dane.gov.co>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [16] J. P. Womack y D. T. Jones, "Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation," 2ª ed., Free Press, 2003.
- [17] Cámara de Comercio de Bogotá, "Lean Manufacturing y su impacto en el sector industrial," [En línea]. Disponible: <https://www.ccb.org.co>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [18] ProColombia, "Competitividad en el sector metalmecánico colombiano," [En línea]. Disponible: <https://procolombia.co>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [19] Naciones Unidas, "Objetivos de Desarrollo Sostenible," [En línea]. Disponible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [20] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "Estrategias para la sostenibilidad industrial en Colombia," [En línea]. Disponible: <https://www.minambiente.gov.co>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [21] Cámara de Comercio de Medellín, "Procesos de mecanizado en la industria metalmecánica," [En línea]. Disponible: <https://www.ccmecellin.org>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [22] DANE, "Impacto del Lean Manufacturing en la industria metalmecánica," [En línea]. Disponible: <https://www.dane.gov.co>. [Accedido: 28-ene-2025].
- [23] W. W. Royce, "Managing the Development of Large Software Systems," Proceedings of IEEE WESCON, pp. 1-9, 1970.
- [24] M. S. Carrillo, C. G. Alvis Ruiz, Y. Y. Mendoza Álvarez y H. E. Cohen Padilla, "Lean manufacturing: 5 s y TPM, herramientas de mejora de la calidad. Caso empresa metalmecánica en Cartagena, Colombia", Signos - Investigación en Sistemas de Gestión, vol. 11, no. 1, pp. 71-86, 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/330721952_Lean_manufacturing_5_s_y_TPM_herramientas_de_mejora_de_la_calidad_Caso_empresa_metalmecanica_en_Cartagena_Colombia.
- [25] J. E. Carrillo Balceda, "Implementación de Lean Manufacturing y su asociación con la sostenibilidad de las PYMES del sector metalmecánica en Lima", Tesis doctoral, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú, 2021. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/4960/CARRILLO_%20BALCEDA_%20JES%C3%9AS%20_EL%C3%8DAS_DOCTORADO_2021.pdf