Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2026,
Volumen 10, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i3

DIAGNÓSTICO DEL GRADO DE IMPLEMENTACIÓN DE LEAN MANUFACTURING EN UNA EMPRESA DEL SECTOR METALMECÁNICO: ESTUDIO DE CASO EN SERTEC INGENIERÍA S.A.S., SANTA MARTA, COLOMBIA

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF LEAN MANUFACTURING IMPLEMENTATION IN A METAL-MECHANICAL SECTOR COMPANY: A CASE STUDY AT SERTEC INGENIERÍA S.A.S., SANTA MARTA, COLOMBIA

Antonio José Martínez Lengua
Universidad Sergio Arboleda, Colombia

Scarlet Dayana Guerrero Morales
Universidad Sergio Arboleda, Colombia

Santiago David Campo Ponce
Universidad Sergio Arboleda, Colombia

José Luis Lobo Díaz
Universidad Sergio Arboleda, Colombia

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i3.24751

Diagnóstico del Grado de Implementación de Lean Manufacturing en una Empresa del Sector Metalmecánico: Estudio de Caso en SERTEC Ingeniería S.A.S., Santa Marta, Colombia

Antonio José Martínez Lengua[1]
antonio.martinezl@usa.edu.co
https://orcid.org/0009-0001-2047-097X
Universidad Sergio Arboleda, Santa Marta
Colombia

Scarlet Dayana Guerrero Morales
scarlet.guerrero01@usa.edu.co
https://orcid.org/0009-0005-5342-0038
Universidad Sergio Arboleda, Santa Marta
Colombia

Santiago David Campo Ponce
santiago.campo01@usa.edu.co
https://orcid.org/0009-0007-6608-7486
Universidad Sergio Arboleda, Santa Marta
Colombia

José Luis Lobo Díaz
jose.lobo@usa.edu.co
https://orcid.org/0009-0006-0656-6437
Universidad Sergio Arboleda, Santa Marta
Colombia

RESUMEN

El presente artículo evalúa el grado de implementación de Lean Manufacturing en una empresa del sector metalmecánico del Distrito de Santa Marta, Colombia, mediante un estudio de caso de diseño no experimental, alcance descriptivo y enfoque cuantitativo. La organización seleccionada, SERTEC Ingeniería S.A.S., fue elegida por ser la única empresa del sector con disposición para participar en el estudio y por ocupar una posición relevante dentro del mercado regional. El diagnóstico se realizó a través de tres instrumentos complementarios: una encuesta estructurada con escala de frecuencia (1–5), una entrevista semiestructurada al responsable de producción y una lista de verificación Lean organizada en ocho categorías. Los resultados indican que la empresa presenta fortalezas significativas en estandarización de procesos bajo ISO 9001, mantenimiento preventivo, control de calidad y reutilización de materiales. No obstante, se identificaron debilidades en la formalización de la metodología 5S, la consolidación de estudios de métodos y tiempos y la alta dependencia del centro de mecanizado CNC, que constituye el principal cuello de botella. De las ocho categorías evaluadas en la lista de verificación, siete alcanzaron niveles satisfactorios de cumplimiento Lean, con excepción de la gestión de orden y limpieza. Se concluye que SERTEC Ingeniería S.A.S. se encuentra en un nivel de madurez Lean medio-alto para el contexto de las PYMES metalmecánicas colombianas, con oportunidades de mejora concretas asociadas a la implementación del Mapa de Flujo de Valor (VSM), la formalización de las 5S y la optimización de la gestión de inventarios.

***Palabras clave*:** lean manufacturing; diagnóstico lean; sector metalmecánico; mejora continua; productividad; estudio de caso

[1] Autor principal
Correspondencia: antonio.martinezl@usa.edu.co

Assessment of the Level of Lean Manufacturing Implementation in a Metal-Mechanical Sector Company: A Case Study at SERTEC Ingeniería S.A.S., Santa Marta, Colombia

ABSTRACT

This article evaluates the degree of Lean Manufacturing implementation in a metalworking company located in the District of Santa Marta, Colombia, through a case study with a non-experimental design, descriptive scope, and quantitative approach. The selected organization, SERTEC Ingeniería S.A.S., was chosen because it was the only company in the sector willing to participate in the study and because of its relevant position within the regional market. The diagnosis was conducted using three complementary instruments: a structured survey with a frequency scale (1–5), a semi-structured interview with the production manager, and a Lean checklist organized into eight categories. Results indicate that the company demonstrates significant strengths in process standardization under ISO 9001, preventive maintenance, quality control, and material reuse. However, weaknesses were identified in the formalization of the 5S methodology, the consolidation of methods and time studies, and the high dependency on the CNC machining center, which constitutes the main production bottleneck. Of the eight categories evaluated in the Lean checklist, seven reached satisfactory compliance levels, with the exception of order and cleanliness management. It is concluded that SERTEC Ingeniería S.A.S. is at a medium-high Lean maturity level within the context of Colombian metalworking SMEs, with concrete improvement opportunities associated with the implementation of Value Stream Mapping (VSM), the formalization of 5S, and the optimization of inventory management.

***Keywords*:** lean manufacturing; lean diagnosis; metalworking sector; continuous improvement; productivity; case study

Artículo recibido 20 mayo 2026
Aceptado para publicación: 20 junio 2026

INTRODUCCIÓN

En el contexto de una economía global cada vez más competitiva, las empresas manufactureras enfrentan presiones crecientes para mejorar su eficiencia operativa, reducir costos y responder con mayor agilidad a las demandas del mercado. En este escenario, Lean Manufacturing ha emergido como una de las filosofías de gestión más efectivas para alcanzar dichos objetivos mediante la eliminación sistemática de desperdicios en los procesos productivos (Hernández Centeno & Sifuentes Huayanay, 2022; Iparraguirre Sánchez & Torres Villena, 2023). Originado en el Sistema de Producción Toyota (SPT), este enfoque ha trascendido el contexto automotriz para convertirse en un referente metodológico de alcance global, aplicable a sectores tan diversos como la manufactura metalmecánica, la agroindustria y los servicios (Ramírez Arrascue et al., 2025; Maldonado-Guzmán, 2025).

El sector metalmecánico representa uno de los pilares de la industria colombiana, al ser proveedor estratégico de bienes de capital, componentes industriales y servicios de mantenimiento para sectores productivos clave como la minería, la construcción y el petróleo y gas. Sin embargo, investigaciones realizadas en Colombia evidencian que muchas empresas de este sector, especialmente las pequeñas y medianas (PYMES), aún presentan niveles incipientes de adopción de metodologías de mejora continua, con predominio de prácticas de gestión informales, baja estandarización de procesos y presencia significativa de desperdicios operativos (Contreras-Castañeda et al., 2018; Henao Arango, 2021). Esta situación se agudiza en ciudades intermedias como Santa Marta, donde la investigación aplicada sobre Lean Manufacturing en el sector metalmecánico es prácticamente inexistente, constituyendo un vacío de conocimiento que el presente trabajo busca contribuir a llenar.

Lean Manufacturing se fundamenta en la identificación y eliminación de los denominados desperdicios o mudas: actividades que consumen recursos pero no generan valor para el cliente (Favela-Herrera et al., 2019). La literatura especializada reconoce ocho tipos principales de desperdicio: sobreproducción, tiempos de espera, transporte innecesario, sobreprocesamiento, exceso de inventario, movimientos innecesarios, defectos y talento humano no aprovechado (Escuela de Organización Industrial, 2013). Herramientas como las 5S, el Mapa de Flujo de Valor (VSM), el Mantenimiento Productivo Total (TPM) y el cambio rápido de herramientas (SMED) han demostrado consistentemente su efectividad

para identificar y reducir estos desperdicios en contextos metalmecánicos de América Latina y otras regiones del mundo (Corro et al., 2024; Jara et al., 2023; Florez-Cáceres et al., 2024).

Estudios previos realizados en Colombia, como los de Contreras-Castañeda et al. (2018) en Boyacá y Carrillo et al. (2019) en Cartagena, han documentado la presencia de desperdicios recurrentes como tiempos de espera, exceso de inventario y movimientos innecesarios en empresas metalmecánicas. Henao Arango (2021) encontró que, aunque Lean genera beneficios significativos para las empresas manufactureras colombianas, su nivel de implementación sigue siendo bajo en comparación con países más industrializados. En el contexto internacional, Alkhoraif et al. (2019) y Driouach et al. (2019) identificaron patrones similares en PYMES de países en desarrollo, subrayando la necesidad de adaptar las metodologías Lean a las condiciones reales de las organizaciones con recursos limitados.

Frente a este panorama, el presente artículo tiene como objetivo evaluar el grado de implementación de Lean Manufacturing en SERTEC Ingeniería S.A.S., empresa del sector metalmecánico ubicada en el Distrito de Santa Marta, Colombia, mediante un estudio de caso de diseño no experimental y alcance descriptivo. La investigación aplica un diagnóstico multidimensional a través de tres instrumentos complementarios encuesta estructurada, entrevista semiestructurada y lista de verificación Lean con el propósito de identificar el nivel de madurez Lean de la organización, sus fortalezas operativas, los desperdicios presentes y las oportunidades de mejora prioritarias. Los resultados aportan evidencia empírica sobre el estado real del Lean Manufacturing en el sector metalmecánico de la región Caribe colombiana, contribuyendo a llenar el vacío investigativo identificado.

MARCO TEÓRICO

Lean Manufacturing: origen, filosofía y principios

Lean Manufacturing traducido habitualmente como manufactura esbelta o producción ajustada es una filosofía de gestión de la producción que tiene sus raíces en el Sistema de Producción Toyota (TPS), desarrollado en Japón durante la segunda mitad del siglo XX por Taiichi Ohno y Shigeo Shingo. En esencia, Lean propone crear el máximo valor para el cliente utilizando la mínima cantidad de recursos posible, mediante la identificación y eliminación continua de actividades que no agregan valor en todos los procesos de la organización (Hernández Centeno & Sifuentes Huayanay, 2022; Escuela de Organización Industrial, 2013).

Los cinco principios fundamentales de Lean Manufacturing, formulados por Womack y Jones (1996, citados en Favela-Herrera et al., 2019), son: (1) especificar el valor desde la perspectiva del cliente; (2) identificar la cadena de valor y eliminar los pasos sin valor; (3) hacer que fluyan las actividades creadoras de valor sin interrupciones; (4) que el cliente tire del valor desde el proveedor (sistema pull); y (5) perseguir la perfección mediante la mejora continua (Kaizen). Estos principios han demostrado ser transferibles a múltiples contextos industriales, incluyendo el sector metalmecánico, donde estudios como los de Jara et al. (2023), Florez-Cáceres et al. (2024) y Valencia Jarama et al. (2025) confirman su efectividad para incrementar la productividad y reducir los desperdicios operativos.

Los ocho desperdicios (Muda) en el sector metalmecánico

La eliminación de desperdicios es el núcleo operativo de Lean Manufacturing. La literatura especializada reconoce ocho categorías de muda (Escuela de Organización Industrial, 2013; Darsini, 2022): (1) Sobreproducción: fabricar más de lo que demanda el cliente; (2) Tiempos de espera: pausas no planificadas por averías de equipos, escasez de materiales o cuellos de botella; (3) Transporte innecesario: movimiento de materiales que no agrega valor; (4) Sobreprocesamiento: operaciones que exceden los requisitos del cliente; (5) Exceso de inventario: acumulación de materia prima o producto en proceso más allá de las necesidades inmediatas; (6) Movimientos innecesarios: desplazamientos del personal sin valor productivo; (7) Defectos: errores, reprocesos o rechazos; y (8) Talento humano no aprovechado: subutilización de capacidades y conocimiento del personal (Akhtar, 2023; Paramawardhani & Amar, 2020).

En el sector metalmecánico colombiano y latinoamericano, los desperdicios más frecuentes son los tiempos de espera por alistamiento de máquinas, los defectos que generan reprocesos y el exceso de inventario (Contreras-Castañeda et al., 2018; Suaña-Revilla et al., 2024). Indrawati et al. (2019) y Yulianti Faridah & Yonathan Kusuma (2024) documentaron patrones similares en industrias metalmecánicas de Indonesia, mientras que Sverko & Islam (2024) propusieron un modelo integrado de herramientas Lean específicamente adaptado para PYMES del sector.

Herramientas Lean Manufacturing: características y aplicaciones

Las 5S (Seiri-Clasificar, Seiton-Ordenar, Seiso-Limpiar, Seiketsu-Estandarizar y Shitsuke-Sostener) constituyen el punto de partida de cualquier proceso de implementación Lean, al crear las condiciones

básicas de organización y gestión visual en el lugar de trabajo (Carrillo et al., 2019; Bravo Fernández, 2023). El Mapa de Flujo de Valor (VSM) es una herramienta de diagnóstico que permite representar visualmente los flujos de materiales e información en el proceso productivo, facilitando la identificación de desperdicios y la definición del estado futuro deseado (Patil et al., 2021; Fajardo Cueva, 2024).

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) amplía el concepto de mantenimiento preventivo involucrando a todos los operarios en el cuidado de los equipos, con el objetivo de maximizar la Eficiencia Global de los Equipos (OEE) y minimizar las paradas no planificadas (Canahua Apaza, 2021; Florez-Cáceres et al., 2024). El SMED reduce los tiempos de alistamiento, impactando directamente en la flexibilidad productiva (Celis-Gracia et al., 2024). El sistema Kanban gestiona el flujo de producción mediante señales visuales, implementando el principio pull y reduciendo el exceso de inventario. El Kaizen mejora continua representa la cultura organizacional que sostiene todas las demás herramientas Lean, promoviendo la participación activa de todos los miembros en la identificación y solución de problemas (Valencia Jarama et al., 2025; Manzano Rodríguez & Ramos Alfonso, 2024). La Tabla 1 resume las herramientas Lean más utilizadas en el sector metalmecánico.

Tabla 1. Principales herramientas Lean Manufacturing aplicadas en el sector metalmecánico

Herramienta Lean	**Aplicación principal en metalmecánica**	**Referencias clave**
5S	Organización del lugar de trabajo, gestión visual, disciplina operativa	Carrillo et al. (2019); Bravo Fernández (2023)
VSM (Mapa de Flujo de Valor)	Análisis del flujo de procesos, visualización del desperdicio, estado futuro	Patil et al. (2021); Fajardo Cueva (2024)
TPM (Mantenimiento Productivo Total)	Confiabilidad de equipos, mejora del OEE, reducción de paradas	Canahua Apaza (2021); Florez-Cáceres et al. (2024)
SMED	Reducción de tiempos de alistamiento (setup)	Celis-Gracia et al. (2024); Fajardo Cueva (2024)
Kanban	Control del flujo productivo, gestión de inventarios, sistema pull	Sverko & Islam (2024)
Poka-Yoke	A prueba de errores, prevención de defectos	Sverko & Islam (2024)
Kaizen	Cultura de mejora continua, participación del personal	Valencia Jarama et al. (2025)
Trabajo estandarizado	Consistencia de procesos, medición de tiempos ciclo	Mendoza-Galvis et al. (2024)
Andon	Señalización visual de anomalías en línea	Bravo Fernández (2023)
A3 (resolución de problemas)	Resolución estructurada de problemas, PDCA visual	Sverko & Islam (2024)

Nota. Elaboración propia a partir de la revisión sistemática de literatura.

Productividad, competitividad y Lean Manufacturing

La relación entre Lean Manufacturing y productividad ha sido ampliamente documentada. Maldonado-Guzmán (2025) demostró empíricamente que las prácticas de producción esbelta mejoran significativamente el rendimiento operacional de las empresas manufactureras en términos de reducción de tiempos de ciclo, disminución de defectos y mejora en el cumplimiento de plazos de entrega. Iparraguirre Sánchez & Torres Villena (2023) realizaron una revisión sistemática que confirma el impacto positivo de Lean sobre la productividad en múltiples contextos industriales. García-Alcaraz et al. (2022) extendieron el análisis al demostrar que Lean también genera beneficios en términos de sostenibilidad ambiental.

En el contexto de las PYMES latinoamericanas, Driouach et al. (2019) y Alkhoraif et al. (2019) identificaron que las barreras más frecuentes para la implementación Lean son la resistencia al cambio, la falta de formación técnica del personal y la escasez de recursos financieros. No obstante, investigaciones como las de Huang et al. (2022) y Ramírez Arrascue et al. (2025) proponen modelos de implementación Lean progresivos adaptados a las capacidades de las PYMES. La integración de Lean con tecnologías de la Industria 4.0 representa la frontera actual de la investigación, con potencial para amplificar los beneficios de la manufactura esbelta en empresas de cualquier tamaño (Costa et al., 2024; Rahardjo et al., 2023).

METODOLOGÍA

Enfoque y diseño de investigación

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo de alcance descriptivo, con un diseño no experimental de tipo transversal. Se enmarca en la modalidad de estudio de caso único, siguiendo la tradición metodológica de Yin (2018), quien establece que esta estrategia es pertinente cuando se busca comprender en profundidad un fenómeno contemporáneo en su contexto real. El estudio de caso permite examinar de manera holística y exhaustiva el fenómeno de la implementación Lean en una organización específica, generando conocimiento situado y accionable que complementa la evidencia producida por estudios de mayor escala (Carrillo et al., 2019; Florez-Cáceres et al., 2024).

Selección y justificación del caso de estudio

La investigación contempló inicialmente la participación de múltiples empresas metalmecánicas del Distrito de Santa Marta. Para ello se realizó una identificación sistemática de organizaciones activas en el sector a partir del Registro Mercantil de la Cámara de Comercio de Santa Marta. No obstante, durante la fase de contacto y verificación se constató que varias de las organizaciones identificadas ya no se encontraban en operación o presentaban matrícula cancelada, y otras empresas activas declinaron participar en el estudio por razones de confidencialidad institucional o indisponibilidad operativa. Esta situación, común en la investigación aplicada con PYMES en Colombia (Alkhoraif et al., 2019), determinó que SERTEC Ingeniería S.A.S. fuera la única organización con disponibilidad para suministrar información y colaborar activamente en el proceso diagnóstico.

La selección de SERTEC Ingeniería S.A.S. (NIT 901541398) se justifica además por su relevancia sectorial: opera procesos de alta complejidad técnica torneado CNC, rolado, fresado, corte láser y soldadura y cuenta con certificación ISO 9001, lo que garantiza la existencia de un sistema de gestión documentado que facilita la recolección de información estructurada. Su ubicación en la Vía Alterna, Km. 4-8, sector Cristo Rey, Santa Marta, la posiciona como referente del sector metalmecánico en la región Caribe colombiana. En términos metodológicos, el estudio de caso único es reconocido como un diseño válido cuando la organización seleccionada representa un caso revelador que permite explorar fenómenos de difícil acceso (Yin, 2018; Henao Arango, 2021).

Técnicas e instrumentos de recolección de información

El diagnóstico Lean se realizó mediante la triangulación de tres instrumentos complementarios:

Encuesta estructurada: instrumento con diez ítems evaluados mediante escala de frecuencia Likert de 1 a 5 (1=Nunca, 5=Muy frecuente), orientado a cuantificar la presencia e intensidad de prácticas Lean y de factores generadores de desperdicio en los procesos productivos. Fue aplicada al responsable de producción de la empresa.

Entrevista semiestructurada: instrumento cualitativo con siete preguntas abiertas orientadas a identificar las causas raíz de los desperdicios, las prácticas actuales de gestión operativa, las tecnologías empleadas y las oportunidades de mejora percibidas por el encargado de producción.

Lista de verificación Lean: instrumento de diagnóstico organizado en ocho categorías de prácticas Lean (Gestión de Orden y Limpieza 5S, Señalización y Control Visual, Estandarización de Actividades, Control y Medición de Tiempos, Flujo de Materiales, Gestión de Mantenimiento TPM, Control de Reprocesos y Defectos, y Gestión y Control de Inventarios), con calificación tricotómica: Cumple (100%), Parcial (50%) y No Cumple (0%).

La integración de los tres instrumentos permite la triangulación metodológica, lo que fortalece la validez interna del estudio al contrastar datos cuantitativos con información cualitativa.

Este enfoque multi-método es recomendado por Yin (2018) para estudios de caso y ha sido utilizado con éxito en diagnósticos Lean similares en el sector metalmecánico (Carrillo et al., 2019; Jara et al., 2023).

Procedimiento de análisis de datos

Los datos cuantitativos obtenidos mediante la encuesta y la lista de verificación fueron procesados con estadística descriptiva en Microsoft Excel, calculando frecuencias, promedios y porcentajes de cumplimiento por categoría. Los datos cualitativos de la entrevista fueron analizados mediante categorización temática, identificando patrones recurrentes y relaciones causales entre los factores generadores de desperdicio. El nivel de madurez Lean de la empresa se determinó a partir del promedio ponderado de cumplimiento en la lista de verificación, complementado con el análisis integrado de los tres instrumentos.

RESULTADOS

Resultados de la encuesta sobre prácticas Lean

La encuesta fue aplicada al encargado de producción de SERTEC Ingeniería S.A.S. Los resultados en la escala de frecuencia (1-5) se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la encuesta sobre prácticas Lean SERTEC Ingeniería S.A.S.

Ítem evaluado	Puntuación (1-5)	Interpretación
Documentación y estandarización de procesos productivos	5/5	Fortaleza: procesos bajo ISO 9001 con formatos definidos para torneado, rolado, fresado y CNC.
Realización de mantenimientos preventivos planificados	5/5	Fortaleza: cronogramas mensuales, trimestrales, semestrales y anuales con hoja de vida por equipo.
Aplicación de herramientas Lean (orden, limpieza, estandarización)	4/5	Desempeño favorable: aplica principios Lean informalmente sin usar la nomenclatura técnica.
Control de inventarios en el proceso	3/5	Oportunidad de mejora: manejo de grandes volúmenes de MP importada como estrategia de abastecimiento.
Control del tiempo de ejecución de operaciones	3/5	Oportunidad de mejora: estudios de métodos y tiempos en proceso de implementación.
Presencia de reprocesos durante la producción	4/5	Desempeño favorable: los reprocesos son esporádicos y la empresa mantiene buen control de calidad para reducir retrabajos y pérdidas.
Presencia de movimientos innecesarios del personal	4/5	Desempeño favorable: los movimientos innecesarios son poco frecuentes gracias a la supervisión y control operativo.
Actividades sin valor agregado identificadas	4/5	Desempeño favorable: las actividades sin valor agregado están controladas, aunque aún hay oportunidades de mejora en la disciplina operativa.
Tiempos muertos o esperas prolongadas entre operaciones	5/5	Fortaleza: el personal mantiene actividad durante paradas (limpieza, mantenimiento).
Presencia de defectos en productos terminados	5/5	Fortaleza: tasa de devoluciones cercana a cero; se aplica análisis de causa raíz.
Promedio general	4.2/5	Perfil Lean alto: fortalezas en estandarización y mantenimiento; oportunidades de mejora en 5S y control de tiempos.

Nota. Elaboración propia a partir de encuesta aplicada en SERTEC Ingeniería S.A.S. (2026). Escala: 1=Nivel bajo, 5=Nivel alto.

Los ítems con mayor puntuación (5/5) corresponden a la estandarización de procesos, el mantenimiento preventivo, la reducción de tiempos muertos y el control de defectos, aspectos fundamentales para la eficiencia operativa bajo los principios Lean. Estos resultados evidencian una gestión organizada de los procesos productivos y un enfoque preventivo orientado a la mejora continua.

Por su parte, los valores obtenidos en control de inventarios (3/5) y medición de tiempos (3/5) representan oportunidades de mejora para fortalecer la eficiencia operativa y consolidar la implementación de prácticas Lean.

Hallazgos de la entrevista sobre causas raíz de desperdicios

La entrevista semiestructurada permitió identificar los siguientes factores generadores de desperdicios:

Dependencia crítica del centro CNC: Este equipo concentra un elevado porcentaje de la capacidad productiva. Cualquier falla mecánica o intervención de mantenimiento correctivo genera un cuello de botella que paraliza múltiples líneas de trabajo simultáneamente. Como estrategia de mitigación, la empresa mantiene repuestos estratégicos disponibles en planta.

Vulnerabilidad energética: Los cortes de energía eléctrica son reconocidos como uno de los principales factores externos perturbadores de la operación. Para contrarrestar este riesgo, la empresa proyecta la adquisición de una planta eléctrica de entre 150 y 200 kVA.

Tiempo improductivo por uso de dispositivos móviles: El uso de teléfonos celulares por trabajadores representa entre 15 y 30 minutos diarios por operario (equivalente a 1,25-2,5 horas semanales por persona), con impacto en productividad y seguridad industrial; este comportamiento fue asociado a al menos un incidente de seguridad en la planta.

Manejo eficiente de residuos de material: Los recortes y sobrantes de lámina metálica se clasifican y reutilizan para fabricar piezas menores (tapones, cuñas, tuercas, acoples). El material no reutilizable se vende como chatarra. Esta práctica reduce el costo de materia prima y el volumen de residuos.

Innovación tecnológica con impacto en tiempos de ciclo: La incorporación de una mesa de corte láser redujo el tiempo de fabricación de camisas perforadas de aproximadamente diez días a cuatro días (mejora del 60% en este proceso).

Lista de verificación Lean

La lista de verificación Lean evaluó ocho categorías de prácticas. Los resultados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la lista de verificación de prácticas Lean SERTEC Ingeniería S.A.S.

Categoría Lean evaluada	Calificación	Cumpl. (%)	Observación y recomendación
Gestión de Orden y Limpieza (5S)	Parcial	45%	La metodología 5S se aplica de manera parcial, ya que existen prácticas de orden y limpieza; sin embargo, aún hay oportunidades para fortalecer su implementación mediante auditorías periódicas y tableros visuales.
Señalización y Control Visual	Cumple	100%	Control de procesos activo, supervisión constante, instrumentos de medición calibrados y áreas delimitadas. Potencial de mejora con señalización estandarizada.
Estandarización de Actividades	Cumple	100%	Todos los procesos documentados bajo ISO 9001 con formatos para torneado, rolado, fresado y CNC. Actualizar ante cambios tecnológicos.
Control y Medición de Tiempos	Parcial	50%	Estudios de métodos y tiempos en proceso de implementación; sistema no consolidado. Priorizar finalización para identificar oportunidades en ciclos productivos.
Flujo de Materiales	Cumple	100%	Flujo continuo con gestión activa de cuellos de botella. Aplicar VSM para identificar oportunidades adicionales.
Gestión de Mantenimiento (TPM)	Cumple	100%	Cronogramas preventivos mensuales, trimestrales, semestrales y anuales; hoja de vida por equipo. Incorporar indicadores OEE y MTBF.
Control de Reprocesos y Defectos	Cumple	100%	Tasa de devoluciones cercana a cero; análisis de causa raíz ante fallos históricos. Documentar lecciones aprendidas.
Gestión y Control de Inventarios	Cumple	100%	Inventario alto pero controlado; reutilización de retazos; venta de chatarra. Implementar análisis ABC para optimizar capital inmovilizado.
Promedio Ponderado		83,3%	(7×100% + 1×50% + 1×46%) / 8 = 86,9%. Nivel de madurez Lean: Medio-Alto.

Nota. Elaboración propia a partir de lista de verificación Lean aplicada en SERTEC Ingeniería S.A.S. (2026).

El promedio ponderado del 83,3% indica un nivel de madurez Lean medio-alto, significativamente superior al reportado en investigaciones previas sobre PYMES metalmecánicas colombianas (Contreras-Castañeda et al., 2018; Henao Arango, 2021). Este resultado revela que SERTEC Ingeniería S.A.S. ha desarrollado orgánicamente prácticas operativas coherentes con los principios Lean, aun sin haber adoptado formalmente esta filosofía.

Diagnóstico integrado de desperdicios Lean

La integración de los resultados de los tres instrumentos permite construir un diagnóstico comprehensivo de los desperdicios Lean presentes en SERTEC Ingeniería S.A.S. (Tabla 4).

Tabla 4. Diagnóstico integrado de desperdicios Lean SERTEC Ingeniería S.A.S.

Desperdicio Lean	Evidencia en SERTEC	Herramientas sugeridas	Mejora esperada
Esperas	Dependencia crítica del CNC: averías y mantenimiento correctivo generan cuellos de botella. Cortes eléctricos frecuentes paralizan la operación.	TPM avanzado, VSM, SMED; adquisición de planta eléctrica 150-200 kVA.	Reducción del tiempo improductivo y mejora de la disponibilidad de equipos críticos.
Movimientos innecesarios	Uso de celulares: pérdidas estimadas de 15-30 min/día por operario. Asociado a un incidente de seguridad.	5S, estandarización de conductas, control visual, política de dispositivos móviles.	Recuperación de 1,25-2,5 h/semana/operario de tiempo productivo y reducción de riesgos.
Inventario en exceso	~72 toneladas de materia prima importada como estrategia de abastecimiento. Inventario alto pero controlado.	Kanban, JIT parcial, VSM, análisis ABC.	Reducción del capital inmovilizado y optimización del espacio de almacenamiento.
Sobreprocesamiento	Proceso de camisas perforadas: reducido de ~10 a 4 días con corte láser. Persisten métodos subóptimos en procesos no actualizados.	VSM, SMED, estandarización de procesos.	Reducción adicional de tiempos de ciclo en procesos pendientes de optimización.
Talento no aprovechado	Estudios de métodos y tiempos en proceso. Conocimiento técnico del personal subutilizado en análisis de mejora.	Kaizen, trabajo estándar, grupos de mejora continua.	Consolidación de tiempos estándar y mayor participación del personal en mejora continua.
Transporte innecesario	Movimientos no optimizados de materiales mitigados por supervisión activa pero no eliminados.	5S, distribución en planta (layout), VSM.	Optimización del flujo de materiales y reducción de desplazamientos.
Defectos / Reprocesos	Tasa de devoluciones cercana a cero. Históricamente se registraron fallas resueltas mediante análisis de causa raíz y capacitación.	Poka-Yoke, SPC, trabajo estandarizado.	Mantenimiento del nivel actual de calidad e implementación de controles preventivos.
Sobreproducción	No identificada significativamente. La empresa trabaja bajo pedido (sistema pull empírico).	Kanban, JIT.	Formalización del sistema pull existente para mayor control del flujo productivo.

Nota. Elaboración propia a partir de la triangulación de instrumentos aplicados en SERTEC Ingeniería S.A.S. (2026). VSM: Value Stream Mapping; TPM: Total Productive Maintenance; SMED: Single-Minute Exchange of Die; JIT: Just-In-Time; SPC: Statistical Process Control.

DISCUSIÓN

Los resultados del diagnóstico realizado en SERTEC Ingeniería S.A.S. revelan un perfil Lean singular cuando se compara con la evidencia disponible sobre empresas metalmecánicas colombianas y latinoamericanas. Contreras-Castañeda et al. (2018) documentaron en empresas metalmecánicas de Boyacá niveles elevados de desperdicios con escasa estandarización y ausencia de prácticas de mejora continua sistematizadas. En contraste, SERTEC Ingeniería S.A.S. exhibe un nivel de estandarización alto (ISO 9001 implementada), mantenimiento preventivo estructurado y tasa de defectos prácticamente nula, lo que ubica a esta empresa en un nivel operativo considerablemente superior al promedio reportado para el sector en la región.

Esta diferencia puede explicarse por la naturaleza del portafolio de servicios de SERTEC: la empresa trabaja principalmente bajo pedido para clientes industriales exigentes, lo que impone requerimientos de calidad y puntualidad que han incentivado el desarrollo orgánico de prácticas operativas alineadas con los principios Lean. Este hallazgo es consistente con las observaciones de Henao Arango (2021), quien encontró que las empresas metalmecánicas colombianas que operan en mercados B2B con clientes industriales tienden a desarrollar mejores prácticas de gestión. Carrillo et al. (2019) demostraron en Cartagena que la implementación de 5S y TPM genera mejoras significativas en calidad y eficiencia; los resultados de SERTEC sugieren que estas prácticas pueden alcanzarse empíricamente cuando existe compromiso sostenido de la dirección con la calidad operativa.

El principal desperdicio identificado la dependencia crítica del centro CNC es consistente con los hallazgos de Jara et al. (2023) y Fajardo Cueva (2024), quienes documentaron en empresas metalmecánicas peruanas que los cuellos de botella asociados a equipos críticos de alta especialización constituyen el desperdicio de mayor impacto en la eficiencia global. Canahua Apaza (2021) demostró que la integración de TPM con herramientas Lean adicionales permitió mejorar el OEE en una empresa similar, lo que refuerza la pertinencia de implementar VSM para mapear con mayor precisión los tiempos de espera generados por el CNC en SERTEC.

La situación del inventario aproximadamente 72 toneladas de materia prima importada representa una tensión clásica entre la lógica económica de la empresa y el principio Lean del flujo tenso y el just-in-time. Alkhoraif et al. (2019) y Driouach et al. (2019) señalan que esta tensión es especialmente frecuente

en PYMES de países en desarrollo, donde la incertidumbre en las cadenas de suministro justifica estrategias de aprovisionamiento más conservadoras. Herramientas como el análisis ABC y el kanban adaptado podrían ayudar a optimizar el nivel de inventario sin comprometer la continuidad productiva (Gil Barrera et al., 2024).

La ausencia de formalización de las 5S es, quizás, el hallazgo más revelador del diagnóstico. A pesar de que la empresa mantiene orden y limpieza de facto, la falta de documentación, auditorías y gestión visual estructurada limita la sostenibilidad de estas prácticas. Bravo Fernández (2023) y Manzano Rodríguez & Ramos Alfonso (2024) documentaron que la formalización de las 5S genera beneficios cuantificables en reducción de tiempo de búsqueda de herramientas, mejora del ambiente de trabajo y reducción de incidentes de seguridad este último directamente relevante dado el incidente asociado al uso de celulares reportado en SERTEC.

En perspectiva comparada con estudios internacionales, los resultados de SERTEC se acercan más a los perfiles Lean de empresas metalmecánicas de Taiwán (Huang et al., 2022) y Perú (Quiroz Cabana, 2024) con implementaciones intermedias, que a los perfiles típicos de empresas colombianas con bajo nivel de adopción Lean. La integración de Lean con tecnologías de la Industria 4.0 (Costa et al., 2024; Rahardjo et al., 2023) representa una oportunidad de largo plazo para SERTEC, dado que ya cuenta con tecnología de corte láser CNC que puede ser el punto de entrada hacia una mayor digitalización de sus procesos.

CONCLUSIONES

Primera: SERTEC Ingeniería S.A.S. presenta un nivel de madurez Lean medio-alto (83,3% de cumplimiento promedio en la lista de verificación Lean), resultado significativamente superior al reportado en investigaciones sobre empresas metalmecánicas colombianas de características similares. Este nivel ha sido alcanzado de manera orgánica, sin una implementación formal de la filosofía Lean, a través del compromiso sostenido con la calidad y la estandarización bajo ISO 9001.

Segunda: El principal desperdicio identificado son los tiempos de espera derivados de la dependencia crítica del centro de mecanizado CNC y de la vulnerabilidad ante cortes eléctricos. Estos factores constituyen el cuello de botella más impactante sobre la eficiencia productiva, y su gestión prioritaria

mediante VSM, TPM avanzado y planes de contingencia energética representa la oportunidad de mejora de mayor retorno potencial.

Tercera: La empresa exhibe fortalezas operativas consolidadas en estandarización de procesos (ISO 9001), mantenimiento preventivo estructurado, control de calidad con tasa de devoluciones cercana a cero y reutilización eficiente de materiales. Estas prácticas constituyen una base sólida sobre la cual implementar herramientas Lean más avanzadas, reduciendo la curva de aprendizaje organizacional.

Cuarta: Las principales brechas Lean identificadas son: falta de formalización de la metodología 5S, no consolidación del sistema de métodos y tiempos, y elevado nivel de inventario de materia prima. Abordarlas de manera secuencial iniciando con 5S, seguido de VSM, medición de tiempos y optimización de inventarios maximizaría el impacto de la mejora continua.

Quinta: El desperdicio asociado al uso de dispositivos móviles durante la jornada laboral, con pérdidas estimadas de 1,25 a 2,5 horas semanales por operario y un incidente de seguridad documentado, evidencia la necesidad de formalizar normas de conducta operativa como parte de un proceso robusto de implementación 5S que incluya disciplina y gestión visual del comportamiento.

Sexta: Los resultados confirman que el estudio de caso único es una estrategia metodológica válida para generar conocimiento situado sobre la implementación Lean en PYMES metalmecánicas de la región Caribe colombiana, donde la escasez de investigación aplicada hace que cada diagnóstico empírico represente una contribución significativa al conocimiento sectorial.

LIMITACIONES

La principal limitación del presente estudio es su alcance a un único caso. Si bien la selección de SERTEC Ingeniería S.A.S. respondió a un proceso sistemático de identificación de empresas elegibles en el que se verificó que varias organizaciones identificadas en el registro mercantil habían cesado operaciones y otras declinaron participar por razones de confidencialidad o indisponibilidad operativa, esta circunstancia limita la posibilidad de generalizar los hallazgos al conjunto del sector metalmecánico de Santa Marta. No obstante, esta limitación es inherente al diseño de estudio de caso y no compromete la validez interna de los resultados obtenidos para la organización estudiada (Yin, 2018).

Una segunda limitación es que la información de la encuesta y la entrevista provino de un único informante clave el responsable de producción, lo que puede introducir sesgos de percepción.

Futuros estudios deberían triangular las fuentes mediante la inclusión de operarios, supervisores y personal directivo. Adicionalmente, el diseño transversal del estudio captura el estado de la empresa en un momento puntual, sin permitir evaluar la evolución dinámica del nivel de madurez Lean a lo largo del tiempo.

Trabajo futuro

Con base en los hallazgos del presente estudio, se identifican las siguientes líneas prioritarias de investigación futura:

- Ampliar el diagnóstico Lean a otras empresas metalmecánicas activas en Santa Marta y la región Caribe colombiana, para construir un perfil sectorial comparativo que identifique patrones sistemáticos de desperdicios y buenas prácticas.
- Realizar un mapeo de flujo de valor (VSM) detallado en SERTEC Ingeniería S.A.S., enfocado en los procesos dependientes del centro CNC, para cuantificar con mayor precisión los tiempos de espera y proponer un estado futuro optimizado.
- Evaluar longitudinalmente el impacto de las mejoras propuestas formalización de 5S, consolidación de métodos y tiempos, adquisición de planta eléctrica y optimización de inventarios sobre los indicadores de productividad y competitividad de la empresa.
- Explorar la integración de herramientas Lean con tecnologías de la Industria 4.0 (sensores IoT para monitoreo del OEE, análisis de datos en tiempo real, mantenimiento predictivo) en el contexto de las PYMES metalmecánicas de la región Caribe.
- Desarrollar estudios comparativos intersectoriales que evalúen el nivel de implementación Lean en el sector metalmecánico en relación con otros sectores industriales de Santa Marta, contribuyendo a una comprensión más integral de la competitividad industrial regional.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a SERTEC Ingeniería S.A.S. por su disposición y apertura para participar en este estudio, y a la Universidad Sergio Arboleda, sede Santa Marta, por el apoyo institucional a la investigación formativa en ingeniería industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Akhtar, N. (2023). Exploring the impact of lean manufacturing tools on waste reduction in manufacturing plants. International *Journal of Lean Six Sigma*, 14(6), 1265–1290.

Alkhoraif, A., Rashid, H., & McLaughlin, P. (2019). Lean implementation in small and medium enterprises: Literature review. Operations Research Perspectives, 6, 100089. https://doi.org/10.1016/j.orp.2018.100089

Antosz, K., Jasiulewicz-Kaczmarek, M., Waszkowski, R., & Machado, J. (2022). Application of lean six sigma for sustainable maintenance: Case study. *IFAC-PapersOnLine*, 55(19), 181–186. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.204

Bravo Fernández, J. A. (2023). Aplicación de herramientas Lean Manufacturing (5S, Andon y tiempo estándar) para el aumento de la productividad en el área de producción de una empresa metalmecánica. *Industria Data*, 26(1), 217–234.

Canahua Apaza, N. (2021). Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica. *Industria Data,* 24(1), 49–72.

Carrillo, M., Alvis, C., Mendoza, Y., & Cohen, H. (2019). Lean manufacturing: 5S y TPM, herramientas de mejora de la calidad. Caso empresa metalmecánica en Cartagena, Colombia. SIGNOS – *Investigación en Sistemas de Gestión*, 11(1), 71–86.

Celis-Gracia, O., García-Alcaraz, J. L., Estrada-Orantes, F. J., Avelar-Sosa, L., Alba-Baena, N. G., & Hermosillo-Villalobos, F. (2024). Reducción de los tiempos de preparación en una empresa de fabricación de metales mediante un *enfoque Lean-Sigma. Journal of Industrial Engineering and Management*, 17(2), 180–198. https://doi.org/10.29019/enfoqueute.1027

Contreras-Castañeda, E. D., Zambrano-Arroyo, D. E., & Vaca-Barrera, Y. F. (2018). Análisis de mudas en el sector metalmecánico de Boyacá-Colombia. *Revista Espacios*, 39(23), 14–28.

Corro, D., Tisnado, M., Ontaneda-Portal, M., & Algoner, W. C. (2024). Una revisión sistemática del modelo Lean Manufacturing en la cadena de suministro de las empresas metalmecánicas. Proceedings LACCEI 2024.

Costa, F., Granja, A. D., Fiorello, M., & Vrijhoef, R. (2024). Integrating industry 4.0 and lean manufacturing for a sustainable production system. *Journal of Cleaner Production*, 434, 139920. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142728

Darsini, D. (2022). Production process waste analysis with lean manufacturing approach in copper crafts industry. *Journal of Industrial Engineering and Management Research*, 3(3), 75–88.

Driouach, L., Zarbane, K., & Beidouri, Z. (2019). Literature review on lean manufacturing in small and medium enterprises. International *Journal of Technology Management and Sustainable Development*, 18(2), 153–168.

Escuela de Organización Industrial (EOI). (2013). Lean manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación. EOI.

Fajardo Cueva, O. L. (2024). Reducción de las paradas de planta aplicando el mapeo de la cadena de valor (VSM) y cambios rápidos (SMED) de la metodología Lean Manufacturing. *Industria Data*, 27(1), 89–108.

Favela-Herrera, M. K. I., Escobedo-Portillo, M. T., Romero-López, R., & Hernández-Gómez, J. A. (2019). Herramientas de manufactura esbelta que inciden en la productividad de una organización: Modelo conceptual propuesto. *Revista Lasallista de Investigación*, 16(1), 114–133.

Florez-Cáceres, R. M., Huamán-Echevaría, C. E., & Quiroz Flores, J. C. (2024). Mejora de la productividad en una PYME del sector metalúrgico mediante la manufactura esbelta y las herramientas TPM: Un estudio de caso en Perú. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 17(2), 285–302. https://doi.org/10.7166/35-2-3013

García-Alcaraz, J. L., Díaz Reza, J. R., Sánchez Ramírez, C., et al. (2022). Effect of lean manufacturing tools on sustainability. *Sustainability*, 14(6), 3196. https://doi.org/10.3390/su14063196

Gil Barrera, J. F., Tito Alvaro, F., & Franco, A. (2024). Propuesta de mejora de procesos utilizando herramientas de Lean Manufacturing y gestión de inventarios para la reducción del tiempo de entrega de servicios en una empresa metalmecánica. Repositorio UPC Perú.

Gupta, S., Joshi, D., Jamwal, A., et al. (2025). Unveiling the synergy of sustainable manufacturing practices and lean for sustainable manufacturing competitiveness. *Journal of Manufacturing Technology Management,* 36(1), 1–28. https://doi.org/10.1007/s42452-025-07451-x

Henao Arango, R. (2021). Effects of lean manufacturing on sustainable performance: An empirical study on Colombian metalworking industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(7), 1557–1578.

Henríquez Muñoz, Y. X., Melendez Guillen, A. S., & Córdova Acosta, E. A. (2025). Optimización de la eficiencia operativa mediante herramientas de Lean Manufacturing en una empresa manufacturera. *Revista Científica FIPCAEC*, 10(1), 45–63. https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.13691

Hernández Centeno, F., & Sifuentes Huayanay, W. (2022). Lean Manufacturing: Literature review and implementation analysis. *Journal of Science, Technology Research and Industry*, 3(1), 29–40.

Huang, C.-Y., Lee, D., Chen, S.-C., & Tang, W. (2022). A progress and implementation model of lean manufacturing for SMEs in the metal products industry. *Processes*, 10(5), 835. https://doi.org/10.3390/pr10050835

Indrawati, S., Azzam, A., & Ramdani, A. (2019). Manufacturing efficiency improvement through lean manufacturing approach: A case study in a steel processing industry. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 598, 012062.

Iparraguirre Sánchez, G. K., & Torres Villena, G. O. (2023). Lean Manufacturing como metodología para el aumento de la productividad empresarial: Una revisión sistemática. *INNOVA Research Journal*, 8(1), 1–18.

Jara, B., Calderón, S., & Ávalos-Ortecho, E. (2023). Application of Lean Manufacturing to increase productivity of a company in the metalworking sector. *Processes*, 11(7), 1953. https://doi.org/10.3390/pr11071953

Maldonado-Guzmán, G. (2025). Do lean production and lean supply chain practices really improve operational performance? *TQM Journal*, 37(2), 215–235.

Manzano Rodríguez, J. E., & Ramos Alfonso, Y. (2024). Incremento de la productividad en Metrológica Instrumentes S.A. mediante herramientas Lean Manufacturing. *Revista Científica ECOCIENCIA*, 11(1), 1–20.

Mendoza-Galvis, D. J., Vega-Molina, A. L., Pumarejo-Sánchez, J., & Zambrano, C. M. (2024). Sector metalmecánico: Una propuesta de diseño de estándares de métodos y tiempos. *Revista de Ingeniería Industrial*, 23, 1–16. https://doi.org/10.15649/2346030X.3529

Mogatusi, S., Takalani, T., & Gupta, K. (2025). Leveraging six sigma DMAIC for lean implementation in mechanical workshops. *Applied Sciences*, 15(21), 11788. https://doi.org/10.3390/app152111788

Naeemah, A. J., & Wong, K. Y. (2025). Positive impacts of lean manufacturing tools on sustainability aspects: A systematic review. *Journal of Engineering Design and Technology*, 23(1), 1–25.

Paramawardhani, H., & Amar, K. (2020). Waste identification in production process using lean manufacturing: A case study. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 5(1), 62–78.

Patil, A. S., Pisal, M. V., & Suryavanshi, C. T. (2021). Application of value stream mapping to improve productivity by reducing manufacturing lead time in a manufacturing company: A case study. Materials Today: *Proceedings*, 46(1), 466–471.

Quiroz Cabana, A. A. (2024). Implementación de la metodología Lean Manufacturing para incrementar la productividad de una empresa metalmecánica de Arequipa [Tesis de maestría]. Universidad Continental.

Rahardjo, B., Wang, F.-K., Yeh, R.-H., & Chen, Y.-P. (2023). Lean manufacturing in Industry 4.0: A smart and sustainable manufacturing system. *Machines*, 11(1), 72. https://doi.org/10.3390/machines11010072

Ramírez Arrascue, C. I., Azabache Aguilera, M. C., Alanya Valverde, G. E., & Argomedo Luján, N. K. (2025). Lean Manufacturing methodology in private companies: A systematic literature review from 2015 to 2024. *International Journal of Industrial Engineering and Operations Management*, 7(1), 1–20.

Suaña-Revilla, M. S., Mendoza-Vilca, M. F., & Márquez, G. (2024). Mejora de los procesos de producción de la industria metalmecánica mediante la implementación de herramientas Lean y Six Sigma: Una revisión sistemática de literatura. Proceedings LACCEI 2024.

Sverko, M., & Islam, S. (2024). Proposed Lean model with Poka-Yoke, SMED, 5S, Kanban and A3 to improve processes in metalworking SMEs. Proceedings of the IEOM Society International 2024.

Valencia Jarama, J. L., Gutierrez Canchasto, G. A., & Flores Marchán, V. M. (2025). Lean Manufacturing en el mejoramiento continuo de la productividad. *Revista Venezolana de Gerencia*, 30(110), 178–193.

Yulianti Faridah, E., & Yonathan Kusuma, T. (2024). Waste reduction analysis with lean manufacturing approach. *Journal of Industrial Engineering and Management Research*, 5(2), 112–126.

Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6th ed.). SAGE Publications.