

Propuesta metodológica para la optimización de la gestión de proyectos de estructuras metálicas mediante la integración de Lean Construction y PMBOK

Artículo de investigación



Esta publicación está bajo una licencia Creative Commons Atribución-NonComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

Methodological proposal for the optimization of the management of steel structure projects through the integration of Lean Construction and PMBOK

Mary Luz Gil

 <https://orcid.org/0009-0003-2746-5131>

Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. maryluz.gil@alumnos.upm.es.

Patricia Aguilera Benito

 <https://orcid.org/0000-0002-8437-8654>

Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. patricia.aguilera@upm.es.

Carolina Piña Ramírez

 <https://orcid.org/0000-0003-0974-8085>

Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. carolina.pina@upm.es.

 <https://doi.org/10.62325/10.62325/yachana.v14.n1.2025.963>

Fecha de recepción:
04/12/2024

Fecha de aprobación:
20/01/2025

Fecha de publicación:
31/01/2025

Resumen

Este trabajo de investigación se centra en la búsqueda de la optimización en el campo de la gestión de proyectos en la construcción con estructuras metálicas, realizando una integración de los principios de la guía PMBOK y la metodología LEAN. El objetivo principal es definir un mapa de procesos que represente un flujo en la gestión de los mismo. Para esto, se realiza un mapa de procesos que describe la gestión convencional de este tipo de proyectos de construcción apoyado en bibliografía encontrada tanto en artículos científicos como en la publicación de Project Manager AISC de 1999. Posteriormente, se identifica la forma de integrar las 12 áreas de conocimiento y los 5 grupos de procesos del PMBOK y finalmente evaluando las ventajas de la filosofía LEAN en construcción, se ajusta un mapa de procesos final. Este análisis pone de manifiesto la falta de entregables claves en la gestión de proyectos dentro del flujo convencional, así como la necesidad de distinguir entre las fases de fabricación y montaje debido a sus diferentes ritmos y recursos.

Además, por medio de un caso de estudio se realiza una aproximación numérica y se identifican oportunidades para implementar la metodología LEAN y la mejora en la reducción de desperdicios. Este estudio subraya la relevancia de una planificación continua y un monitoreo constante, con el fin de reducir el desperdicio de recursos materiales y humanos, así como también permite lograr un flujo más compacto, pero con mayor transparencia en la gestión de cada fase del proyecto.

Palabras clave: dirección de proyecto, industria de la construcción, metodología, construcción de viviendas.

Abstract

This research focuses on the pursuit of optimization in the field of project management for construction with steel structures, integrating the principles of the PMBOK guide and the LEAN methodology. The main objective is to define a process map that represents a flow in process management. To achieve this, a process map is created to describe the conventional management of this type of

construction projects, based on literature found in scientific articles as well as the 1999 AISC Project Manager publication. Subsequently, the integration of the 12 knowledge areas and the 5 process groups of PMBOK is identified. Finally, by evaluating the advantages of the LEAN philosophy in construction, a final process map is adjusted. This analysis highlights the absence of key deliverables in project management within the conventional flow, as well as the need to differentiate between the manufacturing and assembly phases due to their different paces and resources. Additionally, through a case study, a numerical approximation is conducted, identifying opportunities to implement the LEAN methodology and improve waste reduction. This study emphasizes the importance of continuous planning and constant monitoring to minimize the waste of material and human resources. It also enables a more compact flow, providing greater transparency in the management of each project phase.

Keywords: project management, construction industry, methodology, housing construction.

Introducción

La gestión de la construcción ha adquirido un papel fundamental en la mejora de la competitividad del sector frente a otras industrias. Con el avance de la tecnología y su aplicación en diferentes áreas, es crucial evaluar cómo estas innovaciones impactan en las prácticas de gestión dentro del ámbito de la construcción. Dado que este sector constituye uno de los pilares económicos más relevantes en muchos países, resulta imprescindible examinar la adopción de técnicas modernas que optimicen su gestión. En particular, los proyectos de construcción de estructuras metálicas, conocidos por su dinamismo y complejidad, requieren estrategias de gestión innovadoras que permitan abordar sus desafíos de manera eficiente.

Uno de los principales problemas que enfrenta la industria de la construcción es el bajo crecimiento en su productividad. A pesar de que el sector representa el 13% del Producto Interno Bruto (PIB) mundial, el crecimiento anual de productividad ha sido solo del 1 % en los últimos 20 años, en comparación con el 2,8 % de la economía global y el 3,6 % en la industria manufacturera (PWC, 2024). La industria de la construcción puede alcanzar la productivi-

dad total de la economía tomando medidas en las áreas de Regulación, Colaboración y Vinculación contractual, Diseño e Ingeniería, Gestión de adquisiciones y Cadena de suministro, Ejecución en sitio, Tecnología y Desarrollo de capacidades. Sin embargo, en la actualidad, este bajo rendimiento subraya la necesidad urgente de mejorar las prácticas de gestión en el sector (Anderson, 2010; Lopez-Uchuya et al., 2022).

En este contexto, la Guía PMBOK se ha consolidado como un estándar internacional al proporcionar un marco robusto de conocimientos y procesos para la gestión de proyectos. Por otro lado, el enfoque de *LEAN Construction*, basado en los principios de producción Lean, ofrece un enfoque complementario que puede potenciar la eficiencia en la ejecución de proyectos (Project Management Institute, 2021; Womack et al., 2007).

Este estudio tiene como objetivo principal aplicar la gestión de proyectos en las fases de construcción de estructuras metálicas, utilizando los enfoques del PMBOK y LEAN Construction. Específicamente, se propone desarrollar un mapa de procesos que identifique y optimice las etapas críticas en la construcción de estructuras metálicas. Además, se evaluarán las mejoras implementadas en un estudio realizado por

Heravi et al., (2021) en la Universidad de Teherán en 2019, que se centró en la fase de fabricación y montaje de proyectos de estructuras metálicas. Estas mejoras se aplicarán al caso de estudio, de un edificio residencial construido con estructura metálica, presentado por el AISC en 1999, permitiendo una comparación detallada de las ventajas de ambos métodos.

Asimismo, se busca demostrar cómo la integración de la filosofía LEAN con los principios del PMBOK puede ofrecer una perspectiva más completa y efectiva para la gestión de proyectos en el sector de la construcción. Al combinar la estructura rigurosa del PMBOK con la flexibilidad y el enfoque en la mejora continua de LEAN Construction, este estudio pretende fomentar un modelo de gestión más ágil, eficiente y sostenible, que será el eje central de nuestra investigación.

Metodología

Este estudio se basó en una metodología diseñada para abordar de manera integral los objetivos planteados. El estudio se desarrolló a través de cuatro fases. En primer lugar, se elaboró un mapa de procesos convencional basado en bibliografía encontrada, posteriormente se realizó un análisis detallado sobre la implementación de la gestión de proyectos de construcción, según la guía PMBOK. En la fase siguiente se evaluó la integración de la filosofía LEAN Construction, para finalmente realizar la aplicación de los resultados, del caso de estudio de la universidad de Teherán, presentado en la publicación Project Manager AISC de 1999 (Heravi et al., 2021), que consta de un proyecto de construcción de un edificio residencial de ocho pisos, con un área total de 3.720 m².

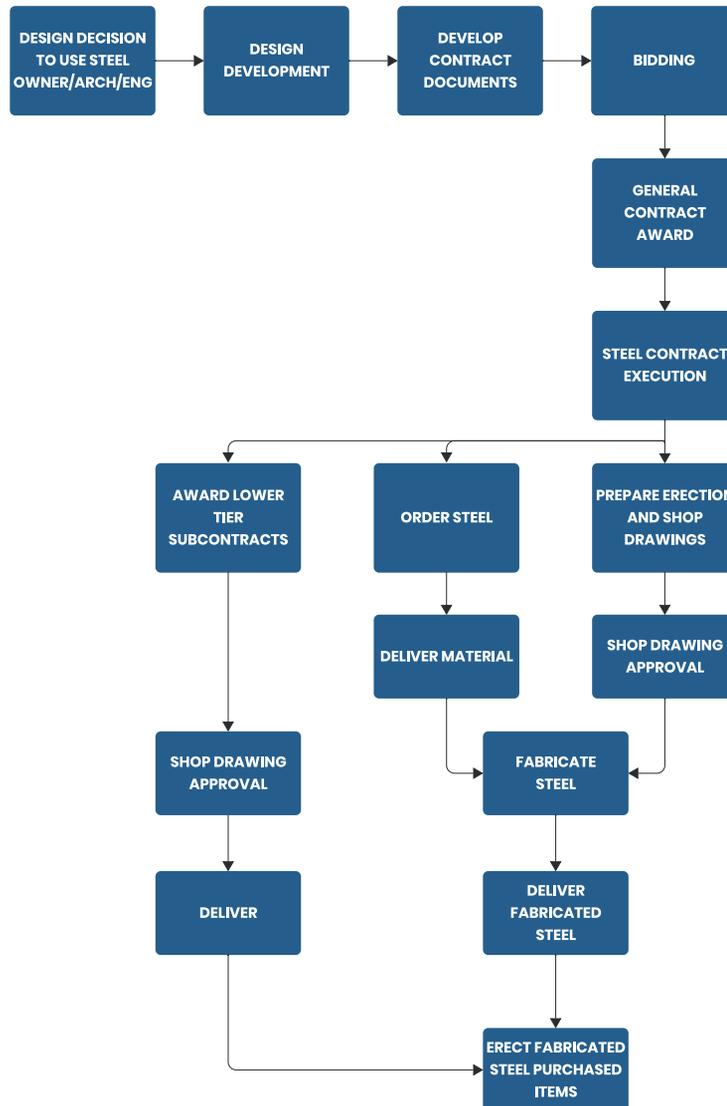
Se centra en la producción, transporte y montaje de componentes de acero prefabricados para los pisos cinco a ocho, que suman 1.610 m² y 112 toneladas. La producción en fábrica incluye varios procesos para columnas, vigas y arriostramientos, con controles de calidad antes de la limpieza. El transporte de los componentes se realiza en tres remolques, y el montaje en el sitio se lleva a cabo en dos etapas, asegurando la correcta instalación de las estructuras. Como resultado de las fases anteriores se ajustó el mapa convencional integrando los enfoques de gestión de proyectos.

Desarrollo del mapa de procesos convencional

Se realizó una revisión sistemática de la literatura técnica y documentos relevantes, centrándose en la identificación de las fases y el flujo de procesos específicos asociados con la construcción de estructuras metálicas. Se esbozan claramente las responsabilidades en las fases de fabricación y montaje, es decir a partir de la revisión y firma del contrato.

Un ejemplo de esto es el mapa de procesos presentado por el AISC (Mrozowski et al., 1999), donde se interrelacionan las etapas de diseño, contractual, oferta, pedido de material, planos de taller, montaje, fabricación, despacho y montaje como se muestra en la Figura 1.

En este flujo de procesos presentado, se observa que después de desarrollar el diseño pasa directamente a la fase contractual y de definición de alcances, posteriormente se desglosa el flujo en 3 ramas correspondientes a preparación de órdenes de compra, preparación desarrollo de planos y asignación de entregables de bajo nivel,

Figura 1*Mapa de procesos proyectos de construcción con acero*

Nota: La figura muestra el flujo del proceso para la implementación de un proyecto de construcción en acero, desde la decisión inicial de utilizar este material, el desarrollo de diseños y documentos contractuales, hasta la ejecución del contrato de acero. Incluye actividades clave como la adjudicación de subcontratos, la orden de materiales, la preparación y aprobación de planos de montaje, la fabricación de acero, la entrega de materiales y la instalación final de los elementos fabricados y adquiridos. Este proceso garantiza la planificación y coordinación adecuada de las etapas del proyecto. Tomado de: Mrozowski et al. (1999).

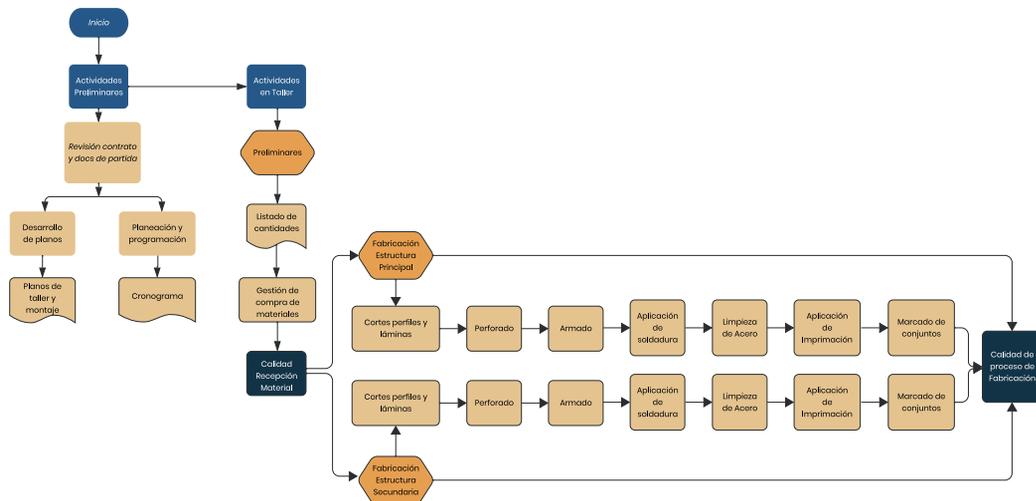
a su vez con las primeras dos ramas de desprender la fabricación y esta a su vez se desprende a la fase de entrega al igual que la tercera rama, finalmente la etapa final comprendida por el montaje de la estructura.

Heravi et al., (2021) del estudio de la Universidad de Teherán presentaron un caso de estudio sobre un proyecto residencial de 8 niveles, en el cual describen detalladamente el proceso de construcción en fase de ejecución de la siguiente manera: La producción en fábrica, realizada a través de una línea de producción para columnas, vigas y arriostramientos, incluye los siguientes pasos: corte de los

elementos principales, ensamblaje de los componentes principales, corte y perforación de conexiones y refuerzos, soldadura en columnas, soldadura en vigas, ensamblaje final de los principales componentes de columnas y vigas, seguido de limpieza y pintura. Además, destacan la diferencia entre las fases de soldadura de vigas y columnas debido al tipo de soldadura aplicada, así como el control de calidad previo a la limpieza final y la pintura. El transporte es evaluado considerando el tipo de transporte y la distancia. Finalmente, el montaje en sitio incluye el pre-izaje de columnas y vigas, conexiones mediante pernos, verificación de plomada de los elementos y el ajuste permanente de las conexiones.

Figura 2

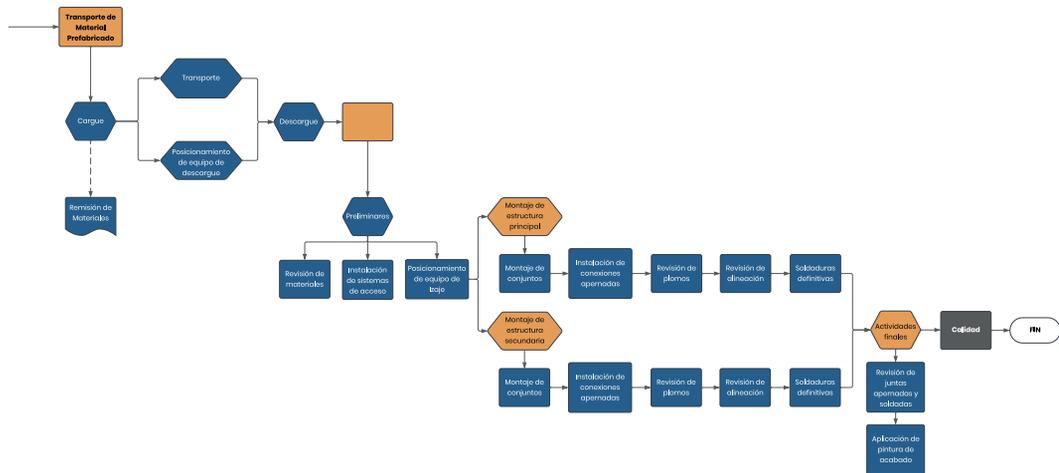
Flujo de proceso convencional. Parte 1.



Nota: La figura detalla el flujo del proceso de fabricación en proyectos de construcción en acero, comenzando con actividades preliminares como la revisión de contratos, planificación, programación y listado de materiales. Se describe la fabricación de estructuras principales y secundarias, incluyendo etapas como corte, perforado, armado, soldadura, limpieza, aplicación de imprimación y marcado de conjuntos. Además, se enfatiza el control de calidad en la recepción de materiales y durante el proceso de fabricación para garantizar la integridad y precisión de los elementos estructurales. Elaboración propia con base en Awad et al. (2021) y Ballard y Howell (1994).

Figura 3

Flujo de proceso convencional. Parte 2



Nota: La figura muestra la segunda parte del flujo de proceso convencional en proyectos de construcción, abarcando desde el transporte y descarga del material prefabricado hasta las actividades finales de montaje. Incluye etapas como el posicionamiento del equipo de descarga, actividades preliminares en obra, montaje de estructuras principales y secundarias, revisiones de alineación y plomos, soldaduras definitivas, y la aplicación de pintura de acabado. El control de calidad durante el proceso de montaje asegura la conformidad con los estándares establecidos y la finalización adecuada del proyecto. Elaboración propia con base en Awad et al. (2021) y Ballard y Howell (1994).

Los anteriores ejemplos proveen una clara idea del flujo de trabajo de las etapas de desarrollo de un proyecto específico de estructura metálica. Las Figuras 2 y 3 representan el flujo de trabajo de una metodología convencional.

Análisis de aplicación de la Guía PM-BOK

La Guía PMBOK, como guía reconocida internacionalmente para la gestión de proyectos desarrollada por el Project Management Institute (PMI), provee una metodología estructurada y procesos detallados con el objetivo de usar un conjunto

de prácticas para el desarrollo de proyectos de manera eficiente y exitosa (Koskela & Howell, 2002).

La extensión de la construcción de esta guía define unas mejoras adicionales del estándar añadiendo 2 áreas de conocimiento a las 10 preestablecidas, así se determina la interacción entre las 12 áreas de conocimiento y los 5 grupos de procesos como se muestra en la Tabla 1, teniendo en cuenta que la forma cuadrada se refiere al estándar y los círculos reflejan la extensión de la construcción del PMBOK.

Tabla 1*Mapeo grupos de procesos y áreas de conocimiento*

Knowledge Areas	Initiating Process Group	Planning Process Group	Executing Process Group	Monitoring and Controlling Process Group	Closing Process Group
Project Integration Management	■	■	■	■	■
Project Scope Management		■		■	
Project Schedule Management		■	■	■	
Project Cost Management		■	■	■	
Project Quality Management		■	■	■	
Project Resource Management		■	■	●	●
Project Communication Management		■	■	■	
Project Risk Management		■	■	■	
Project Procurement Management		■	■	■	
Project Stakeholder Management	■	■	■	■	■
Project Health, Safety, Security, Environment Management		●	●	●	
Project Financial Management		●		●	

Nota: La tabla mapea las áreas de conocimiento y los grupos de procesos del PMBOK (Project Management Body of Knowledge), según su aplicación en proyectos de construcción. Representa la relación entre las diferentes áreas, como integración, alcance, costos, calidad, recursos, comunicación y riesgos, con las fases de inicio, planificación, ejecución, monitoreo y control, y cierre. Este mapeo, basado en la *Construction Extension to the PMBOK Guide* (2016), facilita la comprensión de cómo los procesos se integran en el contexto de la gestión de proyectos de construcción. Tomado de: PMBOK Guide (2021).

Grupo de proceso Inicio:

En la interacción de este grupo de procesos con la gestión de la integración, se destaca la generación del *acta de constitución*, el cual es un documento clave para autorizar y socializar en inicio del proyecto, sus objetivos calificables, la descripción de hitos, la fuente y autorización del recurso económico, los interesados involucrados y el delegado del cliente para la recepción de la entrega final. El acta de constitución se complementa con el documento *registro de supuestos*, en el cual se resalta la importancia de establecer las siguientes características:

- Planos de taller y montaje.
- Presentación de documentos (As Built).
- Suministro de energía y provisiones eléctricas temporales.
- Iluminación.
- Horario de trabajo permitido.
- Disposición de residuos.
- Zona de acceso y condiciones del sitio.
- Entrega en sitio de material.
- Descargue de material en sitio.
- Disposición y almacenamiento de material y equipos.
- Equipos y sistemas de acceso compartidos (Ejem: grúas con o sin operador, andamios, manlift o elevadores).
- Disposiciones para izaje de personal, equipos y material.
- Pruebas y ensayos de calidad requeridos.
- Requerimientos de seguridad y medio ambiente.

- Cálculo del peso de la estructura para pago.

En cuanto a la *gestión de los interesados* (proveedores, arquitectos o ingenieros, constructores y, por supuesto, el cliente) se destaca que se caracteriza por ser un documento vivo que permite identificar el rol, visión y expectativas de cada tipo de interesados.

Grupo de proceso de Planificación

Este proceso es sustancialmente importante ya que permite desarrollar no solo el *Plan para la Dirección del Proyecto* sino la planificación de las líneas base de un proyecto de construcción:

- Línea Base de Alcance: definida por el *proceso de gestión del alcance* en donde se definen las especificaciones técnicas, criterios adoptados de diseño, estándar de calidad, detalle de las principales entregables, supuestos y restricciones previstas, así como la estructura de desglose de trabajo EDT/WBS y el diccionario de esta.
- Línea Base de cronograma: mediante el *proceso de gestión del cronograma*, se planifica la gestión del mismo definiendo no solo el tiempo de ejecución sino las banderas rojas determinantes en el proyecto, se definen igualmente las actividades su secuencia y la estimación de la duración. Como resultado de esto se determina la generación del cronograma donde se evidencia claramente la ruta crítica, holguras parciales y totales, hitos de cumplimiento y flujo de trabajo.

- Línea Base de Costo: La planificación en el proceso de *gestión de costos*, la estimación de los costos y la determinación del presupuesto, no son procesos estáticos, el PMBOK plantea que no solo se interactúan de manera lineal, sino que además se retroalimentan. En proyectos de estructura metálica es importante resaltar alta inversión en etapas iniciales por la compra de material, además de la distribución de los recursos tanto en la fase de fabricación como de montaje, al sumar los costos estimados acumulados se obtiene la línea base de costos, con lo cual se puede predecir la programación de las certificaciones y los requisitos para el financiamiento del proyecto.

Grupo de proceso de Ejecución

Dentro del proceso de ejecución se observa cómo la Gestión de la integración se desarrolla mediante dos líneas, la primera enfocada en el cumplimiento del desarrollo de la gestión del trabajo planificado y la segunda línea la gestión del conocimiento. Este proceso permite retroalimentar todo el proceso evaluando el desempeño del trabajo y evidenciando los cuellos de botella para la ejecución tanto en la fabricación como en las fases de montaje (Tyagi, & Vadrevu, 2015).

Gestión de calidad, esta área de conocimiento desarrolla todas las evidencias en este proceso de ejecución, de esta manera registra las fichas de puntos de inspección planificadas, desde la recepción de la materia prima hasta evaluación de la alineación, plomos y conexiones definitivas de

los elementos en obra. Adicionalmente se realizan todos los análisis contemplados desde la fase de planificación (Montalbán-Domingo et al., 2024).

En el área de conocimiento de *Gestión de recursos*, el PMBOK enfatiza 3 procesos que corresponden a la adquisición de recursos, desarrollo del equipo y la dirección del equipo. Los proyectos de estructura metálica no son la excepción pues la gestión de recursos tanto humanos como materiales desempeñan un papel vital en el desarrollo del proyecto, además el desarrollo de los equipos para la capacitaciones y socialización del proyecto, así como la sincronización para un flujo continuo entre las fases de fabricación y montaje.

Para el correcto desarrollo de la gestión de recursos es importante tener en cuenta las áreas de conocimiento que menciona el PMBOK, frente a la gestión de comunicaciones y la gestión de adquisiciones, por lo que es indispensable asegurar el flujo de información de manera eficiente y efectiva entre los responsables lo cual es respaldado por la gestión de los interesados, que dependiendo del caso pueden ser proveedores, arquitectos e/o ingenieros y constructores, además controlar adecuadamente el flujo de adquisiciones y cumplir los cronogramas establecidos.

En cuanto al *área de conocimiento de salud, seguridad, protección y medio ambiente (HSSE)*, en el proceso de ejecución se debe analizar las condiciones del sitio de la fábrica con condiciones más controladas y condiciones del sitio de la obra que son condiciones más variables que deben tener una evaluación de forma más periódica.

Grupo de proceso de Monitoreo y Control

Para la gestión de la integración, la extensión de la construcción de la guía PMBOK destaca dos procesos fundamentales:

Integración de la tecnología mediante Building Information Modeling (BIM) y el Sistema de Información de Gestión de Proyectos (PMIS): El uso de estas herramientas, según el PMBOK, permite capturar un *estado* del proyecto en un momento específico a través de una recolección exhaustiva de datos generados. Esta recopilación no solo facilita la justificación en caso de retrasos, sino que además proporciona una base de información valiosa para futuros proyectos. En proyectos de estructuras metálicas, caracterizados por un alto nivel de detalle y magnitud, es común el uso de modelado 3D, el cual aporta datos cruciales y agiliza la creación de documentos clave, como planos de taller y montaje.

Integración del control de cambios: Según la guía PMBOK y su Extensión en construcción, el control de cambios debe gestionarse cuidadosamente para minimizar su impacto en las líneas base de costos, cronograma, alcance, calidad y seguridad del proyecto. En proyectos de estructura metálica, cualquier modificación debe ser evaluada por el equipo de ingeniería y aprobada por el propietario, especialmente si se realizan una vez iniciada la fase de fabricación. Un cambio en esta etapa, cuando el acero ya ha sido cortado, perforado o soldado, puede requerir la compra adicional de material, generalmente en cantidades menores, pero a un costo superior, además de extender el cronograma debido a los tiempos de transporte y disponibilidad del material.

En el proceso de ejecución al igual que la planificación intervienen con todas las

áreas de conocimiento, así es como en este grupo de procesos es donde se evalúa las líneas base desarrolladas en la fase de planificación. En la especialidad de estructuras metálicas, a diferencia de otras áreas o tipos de estructuras, pueden presentarse variaciones marcadas en la carga de trabajo. Esto ocurre porque el proceso de prefabricación requiere más tiempo en comparación con la instalación del material fabricado en obra. Los picos altos suelen coincidir con la recepción del material en el sitio de construcción, mientras que los picos bajos corresponden a los ajustes o tareas secundarias realizadas sobre la estructura ya montada. Para una gestión eficiente en la fase de obra, es crucial equilibrar estos picos bajos, manteniendo un flujo constante de entrega de material para su instalación, lo cual facilita la aceptación progresiva del avance.

Grupo de proceso de Cierre

Gestión de la Integración del Proyecto: El cierre en proyectos de estructura metálica asegura el cumplimiento de todos los compromisos establecidos. Incluye la revisión técnica y documental, la actualización de garantías y la entrega de manuales de mantenimiento esenciales para la durabilidad de la estructura. Además, se registran las lecciones aprendidas para optimizar futuros proyectos.

Gestión de Recursos del Proyecto: En esta fase se cierran contratos de alquiler de equipos y se realizan labores finales de limpieza. La prefabricación minimiza el excedente en obra, aunque ciertos materiales deben ser devueltos a stock. El equipo humano se redistribuye según las necesidades, permitiendo una transición eficiente hacia otros proyectos o retornos a planta.

Gestión de las Adquisiciones del Proyecto: Tras la entrega de la estructura, inicia el periodo de garantías. En caso de subcontrataciones, se realiza una revisión de pendientes para asegurar la recepción final de la obra. Esto permite confirmar la calidad de la estructura metálica entregada y cerrar el proyecto de manera satisfactoria.

Integración de la filosofía Lean Construction

Como contexto de la filosofía Lean, es importante mencionar uno de los principales incursores en las mejoras de producción en masa como lo fue Ford, al reducir tiempos de producción de modelo T de 12,5 a 1,5 horas. Desde los años 90 se encuentran referencias de este enfoque orientado hacia la aplicación de métodos y procesos industriales en la edificación, con el propósito de maximizar la eficiencia, reducir costos y mejorar la calidad de los proyectos. Por eso es importante que la industria de la construcción deba enfocarse en enseñar los beneficios de implementar las prácticas Lean para conseguir un incremento de la productividad.

Las técnicas de modulación para la construcción de edificios industrializados y prefabricados permiten aplicar herramientas Lean para alcanzar el producto requerido en menor tiempo y costo. El Lean Construction busca mitigar los desperdicios, en el entendido que son actividades o procesos que no generan ningún valor al producto final.

Ohno (1988) identificó los siguientes siete desperdicios, de los cuales los cinco primeros se refieren al flujo de material, los dos últimos al trabajo del hombre:

- Desperdicio de sobreproducción.

- Desperdicio de corrección.
- Desperdicio de movimiento de material.
- Desperdicio de procesamiento.
- Desperdicio de inventario.
- Pérdida de espera.
- Pérdida de movimiento.
- También, los principios de Lean Thinking, los resúmenes de la siguiente manera:
 - Especifique con precisión el valor por producto específico.
 - Identificar el flujo de valor para cada producto.
 - Hacer que el valor fluya sin interrupciones.
 - Deje que el cliente obtenga valor del productor.
 - Persigue la perfección.

De acuerdo con lo anterior se puede afirmar que la filosofía Lean se enfoca en eliminar el sobreprocesamiento, demoras de inspección, traslados y esperas. En la publicación Project Manager AISC de 1999, se mencionan problemas comunes de construcción de este tipo de proyectos, como por ejemplo los retrasos debidos a la no disponibilidad de material, limitaciones de la capacidad de fabricación, escasez de mano de obra o huelgas, falta de capacidad para ejecutar requerimientos especiales como curvaturas o requerimientos de preparación de superficie o acabados, sobre reserva o falta de coordinación de transporte, problemas causados por subcontratistas.

Adicionalmente menciona problemas que

externamente afectan la ejecución, como cambios de alcance tanto en la fase de desarrollo de planos como en la fase de fabricación, cimentaciones retrasadas en cronograma o localizadas erróneamente así como puede pasar con los anclajes, otro de los factores son las condiciones de sitio como asignación de almacenaje, espacio de montaje, movimiento de equipos de izaje, obstrucciones de la obra, coordinación de otros oficios, requerimientos especiales, otros aspectos como financiamiento, pagos y disputas jurídicas.

Aplicación de resultado de mejoras Lean Construction al caso de estudio de la publicación de Project Manager AISC

Como se ha comentado anteriormente, los autores de la investigación de la Universidad de Teherán presentaron un caso de estudio sobre un proyecto residencial de 8 niveles, un área total de construcción de 3720 m² y centra su análisis en la realización de todo el proceso desde los pisos 5 al 8 con un área de construcción total de 1610 y 112 toneladas. Estas toneladas son representadas por 17 columnas (34 ton), 134 vigas (69 ton) y 64 riostras (9 ton). Los autores desarrollan el enfoque Lean mediante VSM, JIT y TPM (Hera-vi et al., 2021; Nallusamy & Saravanan, 2016). Su análisis se basa en categorizar los productos de entrega de acuerdo a los recursos y procedimientos similares (Columnas, vigas y riostras), a su vez cada grupo de productos tiene sus fases, posteriormente realizan un mapa de procesos en donde se identifica las actividades que no generan valor aplicando VSM, luego corrigen en mapa de procesos mejorando e integrando el flujo de fabricación y mon-

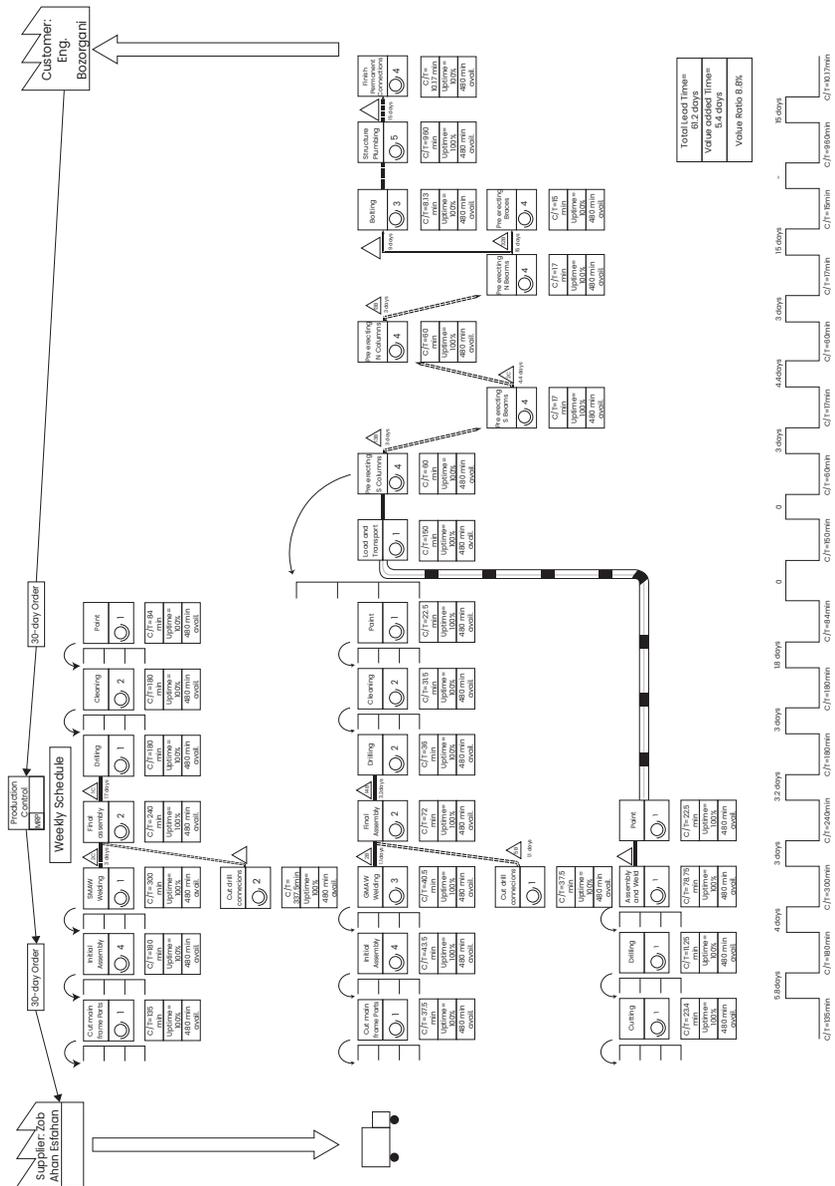
taje de la estructura, utilizando la simulación de eventos discretos (DES) y usando 2 fases de simulación mediante el software ARENA. A continuación, se muestra el resultado del mapa de procesos configurado posterior a la implementación de las 3 herramientas Lean y la tabla en donde se evidencia las duraciones en el modo inicial, la primera y segunda fases de situación Lean (Figura 4), así como las mejoras de los tiempos de producción, montaje y el resultado del proyecto completo (Tabla 2).

Por otro lado, el caso de estudio presentado por la publicación del AISC, un proyecto completado en 1998, con 7 niveles de 73,15 m de longitud y 45,72 m de ancho, un área construida aproximada de 23866,78 m² y 1330 toneladas de estructura de acero, excluyendo metal deck y escaleras metálicas. Los autores de la publicación del AISC dividen el proyecto en 6 categorías (Compra de material, preparación de planos de taller, Aprobación de planos de taller, Fabricación, Montaje y Ensayos e inspecciones), a su vez cada categoría es dividida en subgrupos, se resalta principalmente las categorías relacionadas con el desarrollo y aprobación de planos, fabricación y montaje cuyas subcategorías son iguales y corresponden a Estructura principal, vigas secundarias, Steel Deck y misceláneos, a su vez estos subgrupos al igual que el subgrupo de entrega de material de la categoría de compra, se dividen en 3 lotes. A continuación, en la Tabla 3 y la Figura 5 se muestra la descripción de las actividades, las duraciones y planificación prevista por los autores de la publicación:

La metodología para la aplicación de resultado de mejoras Lean Construction al

Figura 4

Mapa de estado futuro de los procesos de producción y montaje



Nota: La figura ilustra un flujo de trabajo estabilizado basado en los principios de Lean Construction. Representa la interacción entre diferentes etapas y actores del proceso constructivo, desde los pedidos y la planificación semanal hasta la ejecución y entrega al cliente. Este enfoque busca optimizar tiempos, reducir desperdicios y mejorar la coordinación en los proyectos. Tomado de Ballard y Howell (1994).

Tabla 2*Mejora total en cada fase Lean*

Mode	Production		Erection		Whole Project	
	Duration (day)	Improvement (%)	Duration (day)	Improvement (%)	Duration (day)	Improvement (%)
Initial mode	22	–	29	–	51	–
First lean phase	16	27	26	11	37*	27
Second lean phase	16	27	18	38	29*	43

Note: *By integrating production and erection processes, the total duration of production and erection processes is improved (i.e., $16+26 > 37$; and $16+18 > 29$).

La tabla muestra las mejoras en la duración y eficiencia en cada fase Lean de un proyecto, dividiendo las etapas en producción, montaje (erection) y el proyecto completo. Se observa una reducción progresiva en los tiempos y un incremento en los porcentajes de mejora, destacando la integración de los procesos de producción y montaje como clave para lograr una optimización significativa en la duración total del proyecto. Tomado de Ballard y Howell (1994).

caso de estudio de la publicación de Project Manager AISC, se basó en asociar las mejoras obtenidas en el caso de estudio con las simulaciones Lean aprovechando la similitud en la subdivisión de las categorías presentadas por el caso de estudio presentado por el AISC, con los tiempos presentados en este último para la fase de Fabricación y montaje.

Adicionalmente basados en el mapa futuro presentado por el estudio los autores de la

investigación de la Universidad de Teherán, se complementa el mapa del flujo de procesos convencional presentado en las Ilustraciones 2 y 3 del presente artículo. En el siguiente punto se expresan los resultados obtenidos para el mapa de procesos para proyectos de estructura metálica y las posibles mejoras con las herramientas de la filosofía Lean en las fases de fabricación y montaje.

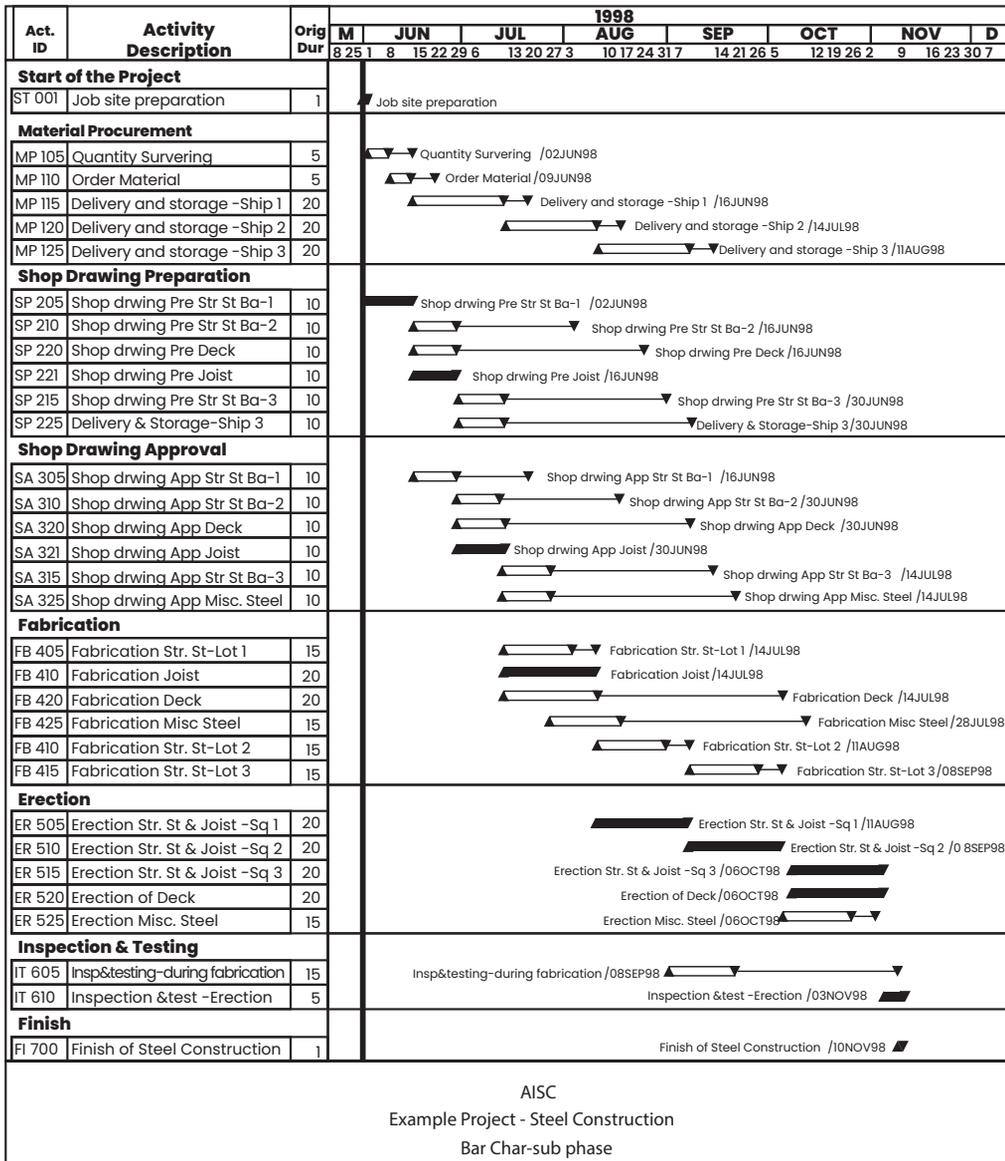
Tabla 3*Duraciones por actividad Caso de estudio AISC*

S. No	Activity Description	Duration (working days)	Comments
1	Quantity surveying	5	
2	Order material	5	
3	Delivery and storage of material	20	For each shipment
4	Shop drawing preparation structural steel	10	For each batch
5	Shop drawing preparation Joist	10	
6	Shop drawing preparation deck	10	
7	Shop drawing preparation miscellaneous steel	10	
8	Shop drawing approval structural steel	10	For each batch
9	Shop drawing approval joist	10	
10	Shop drawing approval deck	10	
11	Shop drawing approval miscellaneous steel	10	
12	Fabrication of structural steel	15	For each lot
13	Fabrication of joists	20	
14	Fabrication of deck	20	
15	Fabrication of miscellaneous steel	15	
16	Erection of structural steel/joist	20	For each sequence
17	Erection of deck	20	
18	Erection of miscellaneous steel	15	
19	Inspection and testing fabrication	15	
20	Inspection and testing erection	5	

Tomado de: Mrozowski et al. (1999).

Figura 5

Cronograma de actividades para la construcción de estructuras de acero



Nota: La figura muestra un cronograma detallado de un proyecto de construcción de estructuras de acero, destacando las fases de adquisición de materiales, preparación de planos, aprobación de planos, fabricación, montaje, inspección y pruebas, así como la finalización del proyecto. Se presenta un desglose por actividades, duraciones y su planificación temporal en el año 1998. Tomado de: Mrozowski et al. (1999).

Resultados y discusión

Mapa de procesos final

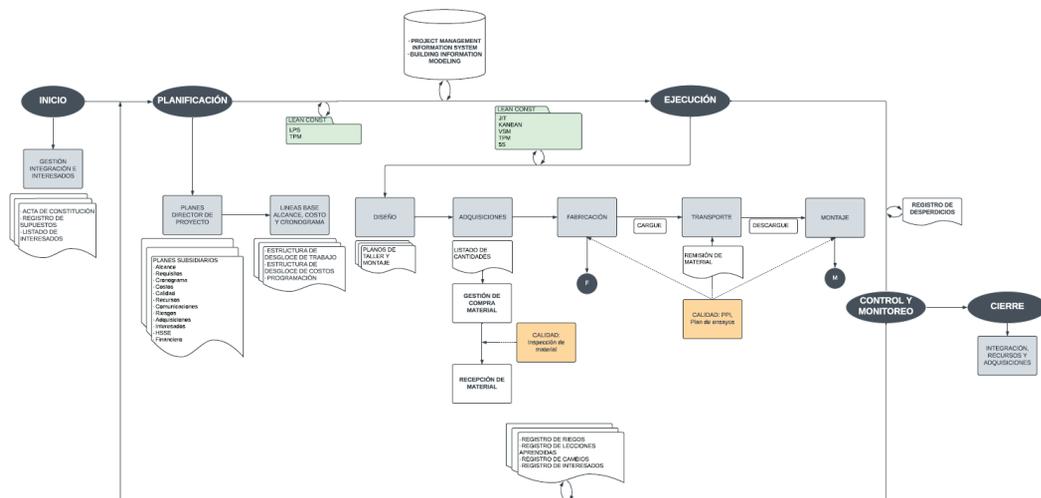
Como resultado del análisis de las dos metodologías y de los flujos de procesos convencionales encontrados en la bibliografía, se ajustó el mapa de procesos en la Figura 6.

Se puede observar los grupos de proceso claramente y los registros más importantes de cada proceso, así como la integración de algunas de las herramientas de la metodología LEAN, especialmente en el grupo de planificación y ejecución.

El análisis del mapa de estado actual consiste en utilizar la técnica JIT para integrar los procesos de producción y montaje colocando un *supermercado* entre los procesos de producción y montaje y entre las estaciones de producción. El *supermercado* es un icono con una capacidad específica que sirve para dar instrucciones precisas de producción al proceso anterior (Rother & Shook, 2003) y para aplicar las técnicas TPM y de flujo continuo, con el fin de integrar y mejorar los procesos de montaje. Este supermercado transmite la información obtenida sobre el proceso de montaje a otros supermercados (Bernstein, 2013).

Figura 6

Mapa de flujo de procesos final



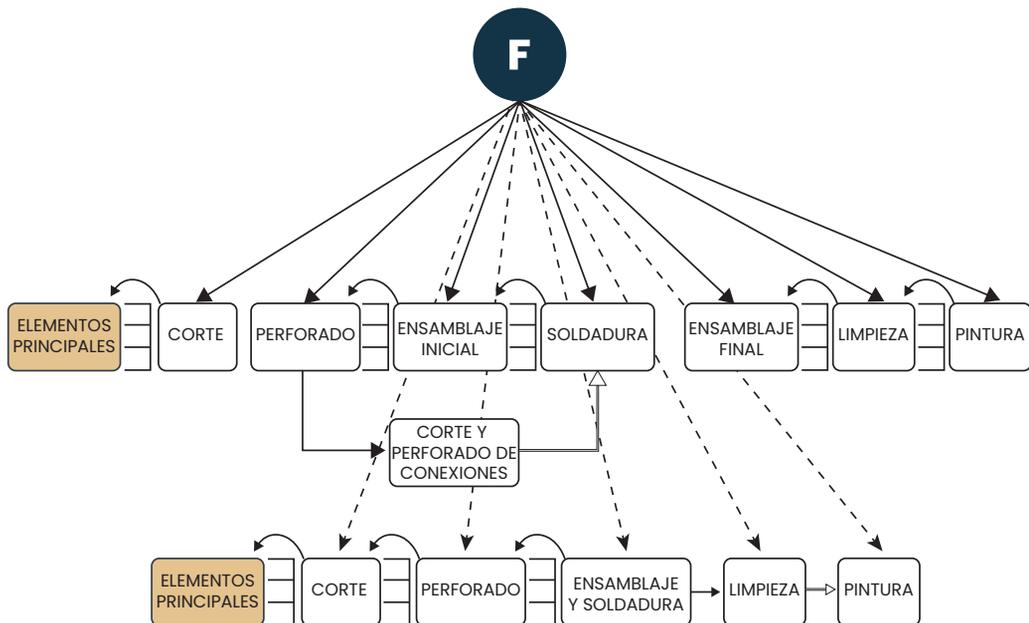
Nota: La figura representa un diagrama de flujo para la gestión integral de un proyecto de construcción, estructurado en las etapas de inicio, planificación, ejecución, control y monitoreo, y cierre. Detalla procesos clave como la integración, adquisición de materiales, diseño, fabricación, transporte, montaje y control de calidad, incorporando metodologías como Lean Construction, sistemas de información y prácticas de gestión de riesgos, cambios y lecciones aprendidas.

En los procesos de fabricación y montaje se realizó un mapa de flujo de procesos siguiendo el Weekly Schedule presentado en la Figura 4, en donde para la fabricación se planteó 5 *supermercados* en la línea de producción de elementos principales y 3 *supermercados* en la línea de producción de elementos secundarios, se

planteó solo 1 *supermercado* para el pre-montaje de elementos en obra, esto representa que el producto está disponible en el momento y en la cantidad en que el siguiente proceso (JIT), lo que evita superproducción y manejo de altas cantidades en inventario, así como optimización de espacios (Figuras 7 y 8).

Figura 7

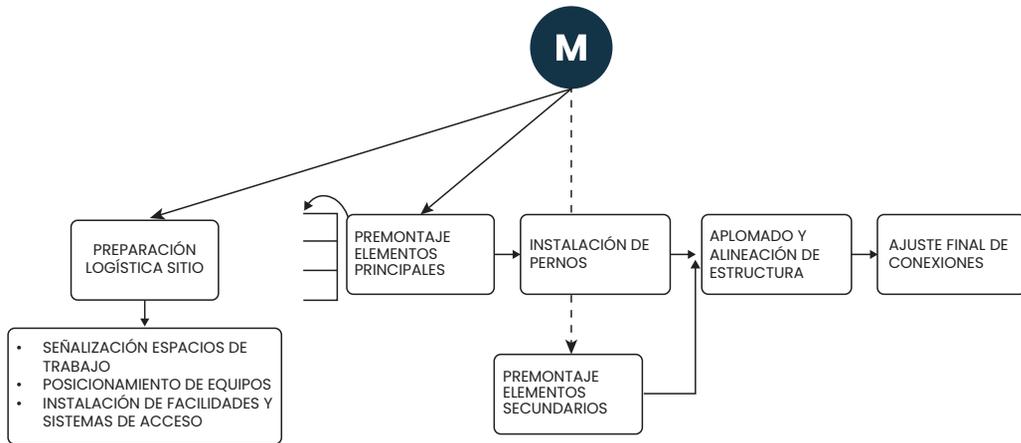
Proceso de fabricación con Lean Construction



Nota: La figura ilustra el proceso de fabricación para elementos principales y secundarios en proyectos de construcción con acero. Se destacan las etapas de corte, perforado, ensamblaje, soldadura, limpieza y pintura, así como la integración de conexiones. Este diagrama detalla el flujo de trabajo necesario para garantizar la calidad y eficiencia en la fabricación de componentes estructurales.

Figura 8

Proceso de montaje con Lean Construction



Nota: La figura describe el proceso de montaje de estructuras en el sitio, incluyendo la preparación logística, el premontaje de elementos principales y secundarios, la instalación de pernos, el aplanado y alineación de la estructura, y el ajuste final de conexiones. También se destacan actividades específicas como la señalización de espacios de trabajo, el posicionamiento de equipos y la instalación de sistemas de acceso. Este flujo asegura un montaje eficiente y organizado.

Mejoras Lean en Caso de estudio AISC

Se realizó un análisis cuantitativo asociando las mejoras mostradas en la ilustración 6 tanto en la fase de fabricación como en el proceso de montaje (Tabla 4).

Se evidencia en la Tabla 4 una posible mejora de 40 días de trabajo, se observa también una diferencia de mejoras de la fabricación (27%) respecto al proceso de montaje (38%).

Tabla 4

Relación de mejoras Lean aplicado al caso de estudio AISC

Descripción actividad Caso estudio AISC	Duración Estudio AISC (días)	Mejora Figura 6	Duración pos Lean (días)
Fabricación elementos principales	45	27,0%	33
Fabricación de elementos secundarios	20	27,0%	15
Montaje de elementos	60	38,0%	37

Nota: Se toma la duración de la Figura 6 para el total de los lotes, se aplica los % de mejora total del LEAN en los 2 procesos, se calcula la duración estimada final posterior a LEAN para el caso de estudio AISC.

Conclusiones

Se evidencia la generación del mapa del proceso actualizado con la clara implementación de los grupos de procesos propuestos por el PMBOK. Entre los elementos más destacados se encuentran, en la fase de inicio, el acta de inicio, el registro de supuestos y el listado de interesados. En la fase de planificación, se identifican los planes directrices de gestión de las diversas áreas de conocimiento, incluyendo HSSE y Financiero, junto con sus entregables, destacándose como la etapa con mayor generación de documentación.

En la fase de ejecución, se incluye la documentación diligenciada, la generación de informes periódicos, la implementación del programa de calidad con fichas de inspección y planes de ensayo, así como la gestión de HSSE. En la fase de monitoreo y control, se resalta la toma de datos y la revisión de indicadores para el control de las líneas base de alcance, costo y cronograma. Finalmente, en la fase de cierre, se revisan los entregables tanto físicos como documentales y se cierran los recursos y adquisiciones.

La incorporación de herramientas LEAN en las fases de planificación, ejecución, y monitoreo y control puede ser altamente beneficiosa. Estas herramientas permiten considerar una retroalimentación constante, la gestión eficiente de cambios, la integración de nuevas tecnologías para recopilar datos de rendimiento, la diferenciación entre las fases de fabricación y montaje, y la nivelación de recursos, además con la aplicación del LEAN Construction se implementa el JIT con la representación gráfica de los *supermercados* dentro del desarrollo de la fabricación y montaje.

Se evidencia cuantitativamente la aplicación de LEAN Construction, en donde se identifica que las mejoras en los procesos de fabricación son de menor porcentaje comparado con el proceso de montaje, es importante tener en cuenta que las condiciones de fabricación se llevan generalmente bajo un ambiente más controlado y estudiado que los sitios donde se desarrolla el montaje, por lo cual se resalta la relevancia de diferenciar las fases de fabricación y montaje debido a que cada una opera con recursos y ritmos distintos, afectando significativamente el control de las líneas base de alcance, costo y cronograma. Lo anterior también se soporta cuando se evidencia esto mismo en las Figuras 7 y 8, donde se ubican mayor número de *supermercados* en la fase de fabricación que los que se pueden integrar en el proceso de montaje.

La reducción de 40 días de trabajo no solo considera una reorganización y reducción de la planificación que impacta la línea base de cronograma, sino que también una reestructuración de los recursos tanto humanos como de logística y una reducción en gastos administrativos, por ende, un impacto en la línea base de costo.

Declaración de conflictos de intereses

Los autores declaramos que no existe conflicto de intereses que puedan haber incidido en los resultados presentados; además no existe relación personal o financiera entre los autores del artículo y personas o entidades públicas o privadas, de la cual se pudiera derivar algún posible conflicto de intereses que pudiera incidir inoportunamente este trabajo.

Glosario de Términos

Abreviaciones y términos utilizados en el artículo: PMBOK (Project Management Body of Knowledge, ‘Cuerpo de Conocimientos de la Dirección de Proyectos’), AISC (American Institute of Steel Construction, ‘Instituto Americano de la Construcción en Acero’), VSM (Value Stream Mapping, ‘Mapeo de Flujo de Valor’), JIT (Just in Time, ‘Justo a Tiempo’), TPM (Total Productive Maintenance, ‘Mantenimiento Productivo Total’) y LPS (Last Planner System, ‘Sistema del Último Planificador’).

Referencias

- Anderson, D. J. (2010). *Kanban: successful evolutionary change for your technology business*. Blue Hole Press.
- Awad, T., Guardiola, J., & Fraíz, D. (2021). Sustainable construction: Improving productivity through lean construction. *Sustainability*, 13(24), 13877. <https://doi.org/10.3390/su132413877>
- Ballard, G., & Howell, G. (1994). Implementing lean construction: stabilizing work flow. *Lean construction*, 2, 105-114.
- Bernstein, H. (Ed.). (2013). *Lean Construction. Leveraging Collaboration and Advanced Practices to Increase Project Efficiency* [SmartMarket Report]. McGraw Hill Construction. <https://tinyurl.com/2f6cpjuf>
- Heravi, G., Kebria, M. F., & Rostami, M. (2021). Integrating the production and the erection processes of pre-fabricated steel frames in building projects using phased lean management. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(1), 174-195. <https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2019-0133>
- Koskela, L., & Howell, G. (2002). The theory of project management: Explanation to novel methods. *Proceedings IGLC*, 10, 1-11. <https://tinyurl.com/2c4cct72>
- Lopez-Uchuya, K., Zamudio-Guido, V., & Altamirano Flores, E. (2022). Lean manufacturing and MRP to streamline the production of metal structures in the construction industry. *Proceedings of the 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions”*, Boca Raton, Florida, USA, July 18-22, 2022. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.749>
- Montalbán-Domingo, L., Casas-Rico, J., Alarcón, L. F., & Pellicer, E. (2024, January). Influence of the experience of the project manager and the foreman on project management’s success in the context of LPS implementation. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(1), 102324. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102324>
- Mrozowski, T., Syal, M., & Kakakhel, S. A. (1999). *Construction management of steel construction* [Manual]. American Institute of Steel Construction. <https://tinyurl.com/4mtpk4zy>
- Nallusamy, S., & Saravanan, V. (2016). Enhancement of Overall Output in a Small Scale Industry through VSM, Line Balancing and Work Standardization. *International Journal of Engi-*

- neering Research in Africa*, 26, 176–183. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/jera.26.176>
- Project Management Institute. (2021). *PMBOK Guide* (7th ed.). PMI. <https://tinyurl.com/mvwyd3md>
- PWC. (2024, abril). El sector de la construcción en España: El impacto económico de la obra civil (2022) [Resumen Ejecutivo]. <https://tinyurl.com/2cw4sum7>
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda*. Lean Enterprise Institute. <https://tinyurl.com/mrd2u2u2>
- Tyagi, S., & Vadrevu, S. (2015). Immersive virtual reality to vindicate the application of value stream mapping in a US-based SME. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81, 1259-1272. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7301-1>
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (2007). *The machine that changed the world. The Story of Lean Production - Toyota's Secret Weapon in tthe Global Car Wars That Is Now Revolutionizing World Industry*. Free Press. <https://tinyurl.com/mwvfp4k3>

Para referenciar este artículo utilice el siguiente formato:

Luz, M. & Aguilera, P. & Piña, C. (2025, enero-junio). Propuesta metodológica para la optimización de la gestión de proyectos de estructuras metálicas mediante la integración de Lean Construction y PMBOK. *YACHANA Revista Científica*, 14(1), 158-179. <https://doi.org/10.62325/10.62325/yachana.v14.n1.2025.963>