



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2024,
Volumen 8, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5

PMI Y LEAN CONSTRUCTION EN EL PROCESO DE MEJORA CONTINUA DE LA FASE DE EJECUCIÓN DE LOS PROYECTOS DE EDIFICACIÓN

**PMI AND LEAN CONSTRUCTION IN THE PROCESS OF
CONTINUOUS IMPROVEMENT OF THE EXECUTION PHASE OF
BUILDING PROJECTS**

Lorenzo Hernández Aguilar
Universidad Veracruzana, México

René Croche Belin
Universidad Veracruzana, México

Alejandro Sánchez Moreno
Universidad Veracruzana, México

Jesús Antonio Camarillo Montero
Universidad Veracruzana, México

Francisco Ricaño Herrera
Universidad Veracruzana, México

PMI y Lean Construction en el Proceso de Mejora Continua de la Fase de Ejecución de los Proyectos de Edificación

Lorenzo Hernández Aguilar¹

lorenhernandez@uv.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0276-9369>

Facultad de Arquitectura Xalapa
Universidad Veracruzana
México

René Croche Belin²

rcroche@uv.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8540-202X>

Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Universidad Veracruzana
Xalapa, México

Alejandro Sánchez Moreno

alejasanchez@uv.mx

<https://orcid.org/0009-0008-8228-4372>

Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Universidad Veracruzana
Xalapa, México

Jesús Antonio Camarillo Montero

jcamarillo@uv.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3498-9825>

Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Universidad Veracruzana
Xalapa, México

Francisco Ricaño Herrera

fricano@uv.mx

<https://orcid.org/0000-0002-0151-7146>

Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Universidad Veracruzana
Xalapa, México

RESUMEN

La presente investigación se centra en la fase de ejecución de los proyectos de edificación con el objetivo de resolver los problemas que presentan sus procesos mediante una metodología que asegure un flujo continuo de actividades y permita cumplir con el costo, tiempo y alcances planteados en el proyecto. El enfoque utilizado es cuantitativo y el método se desarrolla mediante el análisis, adaptación y mejora de los avances más recientes en gestión de proyectos, utilizando y combinando herramientas operadas por el Instituto de Gerencia de Proyectos (PMI) y la filosofía Lean aplicada a la construcción (LC), sometidos a un proceso de mejora continua en combinación con procedimientos y sistemas particulares que cumplan con los estándares de calidad y mejoren su desempeño. Esta metodología se aplica en un estudio de caso a la primera semana de avance y los resultados obtenidos demuestran que es posible cumplir con los objetivos planteados. La investigación permite concluir que su aplicación en cada periodo semanal a través del proceso de mejora continua en forma sistemática garantiza el éxito de la ejecución del proyecto.

Palabras clave: PMI, LC, CPM, EVM, LPS

¹ Autor principal

² Correspondencia: rcroche@uv.mx

PMI and Lean Construction in the Process of Continuous Improvement of the Execution Phase of Building Projects

ABSTRACT

The main objective of this research is to propose a study that allows reducing the impact that buildings generate on the environment throughout their life cycle. The approach used is quantitative and consists of applying an optimization process to the materials used in the construction of load-bearing or dividing walls as this concept is predominant in buildings, in order to choose those that present the lowest emission of greenhouse gases (GHG), greater thermal resistance and an adequate price, however, it is worth mentioning that this analysis is applicable to any type of material. To verify the results, weights are assigned to the cost function based on a conscious study of the impact they have on the environment and society, subsequently percentage variations are made in order to determine the robustness of the choice. The study allows us to conclude that the final objective of reducing the impact that buildings have on the environment is met and adapts to any number of variables involved.

Keywords: sustainable architecture, environmental quality, environment, sustainable development

*Artículo recibido 08 agosto 2024
Aceptado para publicación: 10 setiembre 2024*



INTRODUCCIÓN

Las opiniones de diferentes empresarios que incursionan en el área de la construcción, la experiencia propia, los reportes que presenta el sector de la industria de la construcción tanto de obras públicas como privadas en el ámbito nacional, así como diferentes fuentes de información a nivel global manifiestan una gran preocupación e incertidumbre por el incumplimiento de los compromisos pactados en tiempo, costo y alcance de las obras. Este problema, además del impacto económico que genera, provoca un efecto sobre el medio ambiente al prolongarse el tiempo de ejecución del proyecto. Ante esta situación surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo mejorar el proceso de ejecución de los proyectos de edificación para cumplir con las expectativas y generación de valor hacia el cliente?

Por la importancia que este asunto representa para el campo profesional y empresarial y para dar solución a la pregunta de investigación, en el presente artículo se aborda este tema, desarrollando una metodología aplicada a la fase de ejecución mediante la integración y adaptación de herramientas utilizadas por sistemas avanzados en gestión de proyectos en combinación con sistemas particulares. Mediante la aplicación del método de control y seguimiento EVM en combinación con el sistema MADSEC®, en este estudio se identifica una desviación negativa de costos en el componente “material”. Una vez identificado el problema, se aplica un análisis y toma de decisiones mediante el proceso de jerarquía analítica AHP para dar solución al problema detectado.

Los resultados obtenidos al aplicar la metodología propuesta en este estudio, aplicada a un proceso de mejora continua periodo a periodo, resuelven las posibles desviaciones que surjan durante la ejecución de la obra y, de esta forma, se puede garantizar el cumplimiento del costo, tiempo y alcances planificados.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Por ser los proyectos de construcción de duración finita, se considera una industria nómada, razón por la cual la curva de aprendizaje y formación de sus operarios es limitada; por lo tanto, el esfuerzo para desarrollar un proyecto es temporal y de carácter único (PMI, 2022), en consecuencia, la producción temporal de las obras genera variabilidad en sus procesos. Esta característica ocasiona que la mayor parte de los proyectos se vuelvan complejos y dinámicos, que sumados a la falta de una planeación

eficiente de los recursos y tiempo asignados generan incertidumbre y caos en el proceso de ejecución de la obra (Bertelsen & Koskela, 2003).

Los avances tecnológicos y los cambios acelerados a nivel global representan un reto para el futuro de los profesionales de la gestión de proyectos; por lo tanto, es fundamental el dominio de la teoría con las habilidades prácticas de campo. Sin embargo, la pobreza de la teoría actual explica los frecuentes fracasos de los proyectos (Koskela & Howell, 2002). En numerosos casos, el costo y tiempo de ejecución de los proyectos supera lo planeado, como se muestra en los siguientes ejemplos:

Construcción de la Filarmónica de Hamburgo (Elbphilharmonie) a orillas del río Elba. Diseñado por los arquitectos suizos Herzog y Pierre de Meuron. Este edificio es considerado el objeto cultural más caro de la historia de Alemania a causa de los enormes costos adicionales y de los recurrentes errores durante el proceso de ejecución. El presupuesto original se disparó de 77 a 325 millones de euros. Según los diseñadores, la causa principal fue la urgencia de iniciar la obra aún sin contar con un proyecto ejecutivo. Los retrasos y sobrecostos generados pospusieron su conclusión en varias ocasiones (Bopp & Kaya, 2012).

Ópera de Sídney. El presupuesto original se planteaba en 7 millones de euros con un tiempo de ejecución de 4 años. El costo final ascendió a 107 millones de euros con un tiempo de ejecución de más de 14 años. La razón radicaba en que no existía un proyecto definido y el proyecto se basaba más en bocetos sin una planeación definida, lo que propiciaba dificultad en la toma de decisiones. (Bertelsen & Koskela, 2003).

Es una realidad que, a pesar de los últimos avances realizados a nivel global en el campo de la gerencia de proyectos, no se han logrado obtener los resultados deseados y, en la actualidad, sus procesos de ejecución continúan presentando innumerables problemas que afectan principalmente el cumplimiento de las variables costo, tiempo, alcance y calidad planteadas por las partes interesadas.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

La Gestión de Proyectos, conocida también como Gerencia de Proyectos o Administración de Proyectos, es una disciplina que remonta sus inicios desde el momento en que la humanidad modifica su vida nómada a sedentaria. La necesidad de construir espacios habitables y con el tiempo obras de mayor magnitud requerían de muchos años de trabajo y, por lo mismo, de una planeación y ejecución



precisa de esos proyectos (Seymour & Hussein, 2014); asimismo, los autores afirman que la administración de proyectos se preocupa por crear ambientes en donde todas las personas que colaboran entre sí trabajen a gusto para lograr un objetivo común: entregar proyectos exitosos a tiempo y dentro del presupuesto. Con el paso de los años, la administración de proyectos se vuelve cada vez más indispensable frente a los cambios vertiginosos de la globalización. Los ambientes de negocios en la actualidad exigen elevados niveles de desempeño, razón por la cual las organizaciones se esfuerzan en buscar sistemas y metodologías que logren que los procesos para el desarrollo de sus proyectos sean más eficientes, en aras de lograr cumplir con los objetivos planeados.

A finales de los años sesenta del siglo XX, se reúne en Pennsylvania, EE. UU., un grupo de cinco personas interesadas en impulsar la carrera de gerencia de proyectos. Esta primera reunión ve nacer la creación del Instituto de Gerencia de Proyectos (PMI, por sus siglas en inglés) (Oldenburg, 2008). Este instituto dedica especial atención al alcance, cronograma y presupuesto, factores que considera como críticos para el éxito en los proyectos; utiliza una serie de herramientas para cumplir con estas funciones, entre las que destacan el Método de la Ruta Crítica (CPM, por sus siglas en inglés) y la Gestión del Valor Ganado (EVM, por sus siglas en inglés). A través de estas herramientas realiza la planeación, programación, control y seguimiento de los proyectos.

En su página principal, PMI se define como una asociación mundial que engloba a más de quinientos mil miembros profesionales que trabajan en casi todos los países del mundo a través de la defensa, la colaboración, la educación y las investigaciones globales. Contribuye al desarrollo profesional de la gestión de proyectos a través de estándares, certificaciones, cursos de desarrollo profesional, publicaciones, herramientas e investigaciones académicas, entre otras (PMI, 2022).

A principios de 1960, Taiichi Ohno, director y consultor de la empresa Toyota, crea el Sistema de Producción Toyota (TPS, por sus siglas en inglés), e introduce diferentes cambios sobre la línea de producción de la empresa con el propósito de reducir costos de producción y mejorar los tiempos de entrega. La esencia de este sistema se centra en la eliminación de desperdicios. TPS se apoya en dos pilares principales: el Justo a Tiempo (JIT, por sus siglas en inglés) y el concepto Jidoka, término japonés que significa “Automatización de los defectos con un toque humano”, se sustenta y perfecciona a través de iteraciones de trabajo estandarizado aplicando los principios de mejora continua del ciclo

Deming PHVA y Kaizen, término japonés que se traduce como “Cambio para mejorar” (Pons Achell, 2014).

En la última década del siglo XX surge una corriente de pensamiento impulsada por el Dr. Lauri Koskela del Technical Research Center of Finland; el fundamento principal de esta nueva corriente se basa en el desarrollo de diversos estudios con la finalidad de aplicar la nueva filosofía Lean de la producción en el sector de la construcción. Al aplicar los principios de fabricación japonesa al proceso de construcción, se asume que esta es un tipo de producción especial; por sus características, el proceso de construcción es considerado como una producción artesanal con un grado especial de complejidad, por lo que es necesario abordar una comprensión más profunda de su naturaleza (Bertelsen, 2004). Las construcciones de espacios habitables son de naturaleza única y a la vez complejas (Bertelsen & Koskela, 2004).

La aplicación de la filosofía Lean aplicada a la construcción (LC, por sus siglas en inglés) requiere del empleo de una serie de herramientas y modelos adecuados que simplifiquen su uso y permitan llevar los principios teóricos de la filosofía a la práctica profesional durante todo el ciclo de vida del proyecto (Pons Achell, 2014). Entre estas se pueden destacar las siguientes:

Basados en los principios teóricos de la filosofía Lean, los investigadores Glenn Ballard y Greg Howell idearon una herramienta denominada LPS (Sistema del Último Planificador, por sus siglas en inglés) (Porras, Sánchez, & Galvis, 2014). Este innovador método ha demostrado una manera eficiente de comprender y gestionar el flujo del proceso de construcción (Bertelsen, 2004). Básicamente se centra en la fase de ejecución de los proyectos; resuelve con anticipación todas aquellas actividades que contienen alguna restricción (Plan Intermedio) para incorporarlas al plan semanal y garantizar que todas las actividades se ejecuten de acuerdo al plan propuesto (Plan Maestro). En opinión de (Macomber, Howell, & Reed, 2005), la programación a través de LPS ofrece mejores resultados de proyectos muy superiores en comparación con los métodos habituales sustentados en programación de rutas críticas.

En la década de 1990 surge el sistema de entrega de proyectos integrados (IPD, por sus siglas en inglés), como un método en el que su principal función consiste en alinear los intereses y objetivos totales del proyecto, integrando a todos los actores que participan en las fases de planeación y construcción, con la finalidad de minimizar las pérdidas y maximizar el valor hacia el cliente. Mediante este sistema se

integran los dos elementos principales que definen los sistemas de administración; por un lado, las partes interesadas en el proyecto y por el otro, el momento de su participación en el proyecto (Asmar, Hanna, & Loh, 2013).

Al integrarse el modelo IPD a la filosofía LC, surge LPDS (sistema de entrega de proyectos sin pérdidas, por sus siglas en inglés). Este sistema toma lo mejor de cada uno de ellos para alinear personas, procesos de negocios y prácticas, aprovechando el talento y las ideas de sus integrantes para optimizar el valor hacia el cliente, maximizando la eficacia y reduciendo las pérdidas en las fases de diseño, fabricación y ejecución (Porrás et al., 2014).

En la actualidad, LC continúa experimentando en la fase de definición y diseño de proyectos, utilizando, adaptando y mejorando conceptos y herramientas desarrollados principalmente en los sistemas de producción Toyota, algunas de las cuales se mencionan a continuación:

Target Costing (TC) establece como propósito diseñar un producto asumiendo como meta un costo objetivo sin dejar de cumplir con los propósitos del cliente; este costo en la mayoría de las veces lo fija el mercado y las limitaciones del cliente (Ballard G. , 2008); asimismo (Engebo, Torp, & Laedre, 2021) mencionan que el costo objetivo frecuentemente se establece por debajo del costo permitido por el cliente y, por otro lado, los encargados del proyecto definen el costo esperado tomando como referencia el costo permitido por el propietario.

Target Value Design (TVD) es un proceso que se fundamenta en el diseño del valor objetivo de los proyectos. Este proceso se inicia con la definición de valor para el cliente. Al respecto (Alves, Lichtig, & Rybkowski, 2017), mencionan:

TVD es una práctica de gestión disciplinada utilizada a lo largo de la definición, el diseño, los detalles, la construcción, la puesta en marcha y la activación del proyecto para garantizar que la instalación satisfaga las necesidades operativas y los valores de los usuarios, se entregue dentro del presupuesto permitido y promueva la innovación a lo largo del proceso para aumentar el valor y eliminar los desperdicios (tiempo, dinero y esfuerzo humano).

METODOLOGÍA

El enfoque del método es de tipo cuantitativo y se centra en la fase de ejecución de los proyectos de edificación para dar respuesta a la pregunta de investigación: ¿Cómo mejorar el proceso de ejecución de los proyectos de edificación para cumplir con las expectativas y generar valor hacia el cliente? Este estudio propone diseñar una metodología que combine PMI y LC para unificar y perfeccionar los procesos de esta fase mediante el análisis, mejoramiento y aplicación de las herramientas CPM y EVM en combinación con LPS, adaptándolos y complementándolos con procedimientos y sistemas particulares que a través de la aplicación de un proceso de mejora continua permitan cumplir con los estándares de calidad, mejorando su desempeño al respecto. Sánchez (2012) menciona que es posible implementar EVM y LPS de forma sistemática y factible. La combinación de la metodología EVM y la planeación a través de LPS complementan las interdependencias entre actividades, minimizan la incertidumbre y la variabilidad, mejorando la confiabilidad de la planeación (Olano, Alarcón, & Rázuri, 2009). Ambas metodologías utilizadas en conjunto facilitan el control y seguimiento del proceso constructivo, propiciando las mejores garantías de éxito del proyecto.

El método parte de la base de contar con un proyecto ejecutivo eficiente y, a partir de esta visión, utilizar el cronograma desarrollado en la fase de diseño y planeación del proyecto e integrarlo a la fase de ejecución propuesta por LPS. El proceso que se sigue para cumplir con estos objetivos se muestra a continuación:

1. Plan maestro, plan intermedio y plan semanal. LPS recomienda convocar a una primera reunión antes de iniciar la etapa de ejecución de la obra con la finalidad de establecer el plan maestro. En esta reunión se propone que los desarrolladores del Plan Maestro definido en la fase de planeación lo sometan a consideración de los actores principales que participarán en la fase de ejecución y a las partes interesadas, para que en conjunto analicen, modifiquen y aprueben el plan maestro definitivo, asegurando así que todos los integrantes del equipo de trabajo asuman corresponsabilidad. El siguiente paso, de acuerdo con LPS, consiste en definir el plan intermedio revisando las actividades a realizar en seis semanas, verificando aquellas que no tengan restricciones para incorporarlas al plan semanal a ejecutar.

2. Control y seguimiento. Ballard (2000) afirma, “El control del proyecto consiste en monitorear el progreso hacia los objetivos planeados y tomar medidas correctivas cuando el barco parece estar fuera de curso” por lo que el control y seguimiento del proceso de ejecución de una obra es importante para dar cumplimiento al costo, tiempo y alcance planificado. Si bien el plan semanal logra controlar y monitorear el tiempo programado, desde el punto de vista de este estudio, no verifica el comportamiento de las variables costo y alcance; por lo tanto, para resolver este vacío, la presente investigación incorpora tres herramientas operando en conjunto: el sistema MADSEC® (Modelo Administrativo para el Desarrollo Sustentable de la Empresa Constructora), diseño del autor, que en combinación con la metodología EVM proporcionan informes que, aplicados al ciclo de la mejora continua PHVA, permiten un estricto control y seguimiento semanal de las variables costo, tiempo y alcance. La combinación sistemática de estas herramientas permite verificar y corregir oportunamente los posibles desvíos que se presenten durante la fase de ejecución del proyecto, logrando además de garantizar el cumplimiento de los objetivos planificados, eliminar pérdidas y generar valor hacia el cliente.

3. Análisis y toma de decisiones. Es común que durante el proceso de ejecución de una obra se presenten desvíos del plan trazado. La pregunta que surge es: ¿cómo encontrar solución a los desvíos detectados? Para elegir la mejor solución y corregir las inconsistencias detectadas en la etapa de control y seguimiento semanal mencionada en el párrafo anterior, este estudio propone la aplicación de AHP (Proceso de Jerarquía Analítica, por sus siglas en inglés) con el fin de brindar mayor certeza en la toma de decisiones. La aplicación de este método permite identificar la causa raíz y elegir la mejor alternativa de solución en función de los criterios y alternativas seleccionadas.

Tomar las decisiones correctas permite, a través del proceso de mejora continua semana a semana, corregir las desviaciones que surgen en cada periodo con las mayores garantías de éxito y poder cumplir con el costo objetivo (TC), tiempo y alcances definidos por todas las partes interesadas.

Estudio de caso

El método descrito en el apartado anterior se aplica a continuación en el estudio de caso correspondiente a la construcción de un telebachillerato con datos actualizados a la fecha para medir su comportamiento. Los resultados que se obtienen demuestran que es posible cumplir con los objetivos definidos en el plan maestro.



Planeación del proceso

El modelo Entrega de Proyectos Lean (LPD, por sus siglas en inglés) es parte fundamental de la filosofía LC, pues está diseñado para aplicarlo en proyectos temporales característicos de la industria de la construcción. Incluye conceptos como el aprendizaje, la mejora continua de todos sus procesos en conjunto; es un modelo de diseño colaborativo en donde participan los principales responsables de las diferentes etapas desde el inicio del proyecto (Alarcón & Armiñana, 2009). El objetivo consiste en entregar proyectos listos para ejecutarse para evitar problemas a las etapas posteriores. El proyecto ejecutivo debe estar integrado por el proyecto arquitectónico, proyecto de ingeniería, presupuesto y cronograma de obra, generalmente realizado por el método CPM.

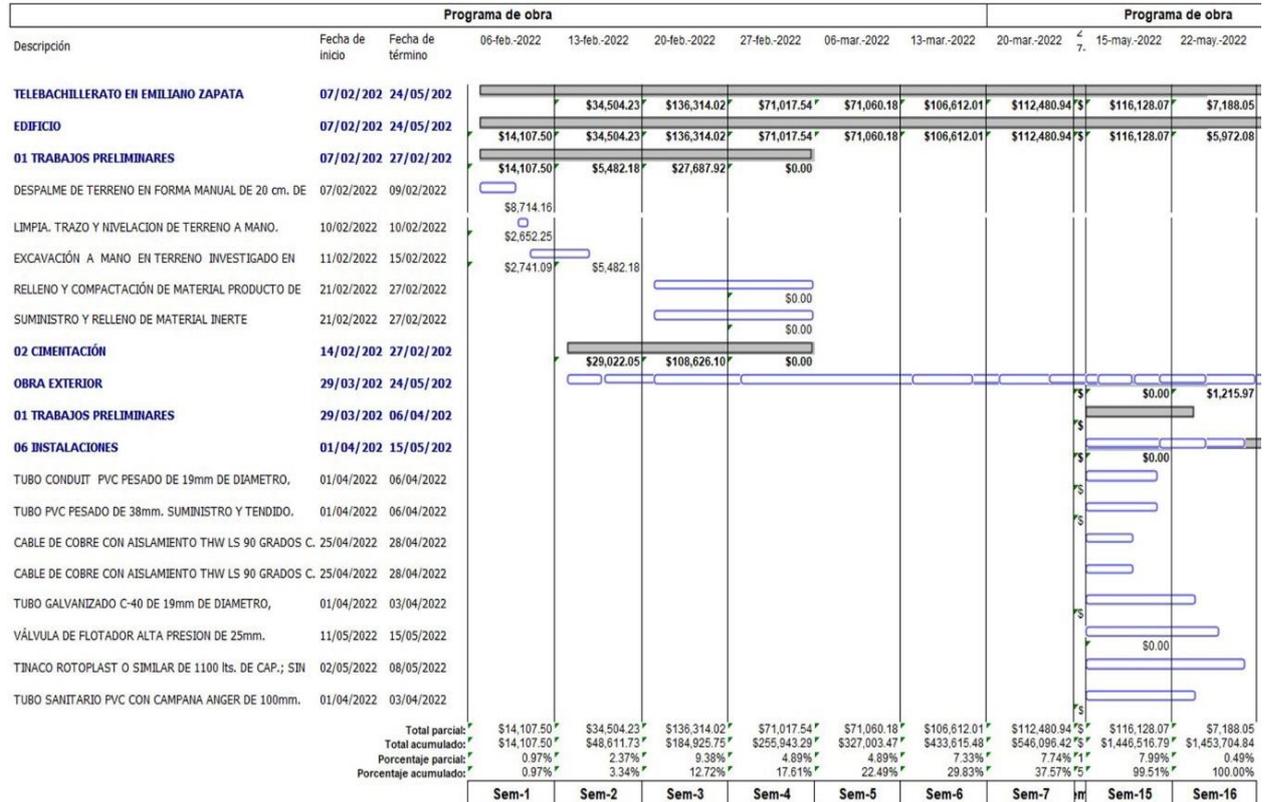
Definición del Plan Maestro

Este caso de estudio cuenta con un plan maestro elaborado por el método CPM desarrollado en la fase de planeación; el costo, tiempo y alcance de este cronograma y de cada una de las actividades que lo conforman se obtienen de sus propios rendimientos. Partiendo de esta base y aprovechando esta información, este estudio propone someter este plan a la consideración de los asistentes en la primera reunión convocada antes de iniciar los trabajos para que en conjunto se analice y perfeccione de acuerdo a las recomendaciones de LPS, que consisten en utilizar una lógica retrospectiva a partir de la última actividad planificada, preguntando qué se necesita para comenzar esta actividad, siguiendo el mismo proceso con cada actividad anterior (Alves, Lichtig, & Rybkowski, 2017).

Los beneficios que proporciona la combinación de estas herramientas en la elaboración del plan maestro generan una mayor certeza, pues, como mencionan (Alarcón & Armiñana, 2009; Olano, Alarcón, & Rázuri, 2009), mientras que CPM gestiona la ruta crítica y las fechas, LPS gestiona la variabilidad y los flujos de trabajo, por lo que LPS no reemplaza o compite con CPM, sino que, en conjunto, los complementa y enriquece. La definición del plan maestro aplicando la presente propuesta asegura que todos los integrantes de los diferentes equipos de trabajo asuman una responsabilidad conjunta. La Figura I muestra de forma simplificada el Plan Maestro aprobado con un plazo de ejecución TAC (Time at Completion) de 107 días calendario y un presupuesto BAC (Budget at Completion) de \$ 1,453,704.84.



Figura I. Plan Maestro. Fuente: Elaboración de los autores



Las etapas de programación de fases y plan intermedio son parte importante del sistema LPS y deben estar incluidas en la propuesta de la metodología en estudio; al respecto existe en la literatura gran cantidad de estudios, por lo que a continuación solo se mencionan algunas características con la finalidad de dedicarle un mayor espacio a la etapa de control y seguimiento del plan semanal.

Programa de fases

Cuando los proyectos son extensos y complejos, se recomienda la elaboración del programa de fase, que consiste en crear una subdivisión detallada del programa maestro integrado por actividades que se exploran en conjunto (Fernández, Alarcón, & Armiñana, 2011). En el presente estudio de caso, por ser un proyecto relativamente pequeño, no se considera necesario desarrollar este programa.

Plan intermedio

Autorizado el plan maestro, el siguiente paso consiste en diseñar el plan intermedio o planificación anticipada (LAP, por sus siglas en inglés). Para LPS, el plan intermedio se encuentra compuesto por múltiples funciones, entre las que destacan: la definición de las actividades del plan maestro listas para ejecutarse, el análisis de las restricciones, la velocidad del flujo de trabajo, entre otras. Las actividades del plan intermedio se eligen enfocando las actividades contenidas en el plan maestro a realizarse de



acuerdo a la magnitud y características del proyecto en las próximas 3 a 6 semanas o más. El plan intermedio define “lo que se puede hacer” e identifica las actividades y recursos disponibles para su correcto desarrollo. Cada actividad del plan intermedio debe analizarse para verificar que se encuentre libre de restricciones y lista para ejecutarse; solo las actividades libres de restricciones se podrán asignar al plan semanal (Ballard, 2000; Fernández et al., 2011).

La Figura II presenta la programación del plan intermedio analizada antes de iniciar los trabajos de ejecución. Tenga en cuenta que la mayor parte de actividades contienen restricciones de suministro de materiales y recursos humanos que se deberán de liberar de preferencia antes de la fecha límite especificada en la columna “Estado” que indica los recursos económicos a aplicar cada semana. El empleo de este criterio logra reducir inventarios en obra, adoptando el sistema del justo a tiempo JIT. Este sistema se centra en el proceso, no en el producto; por lo tanto, puede utilizarse en cualquier proceso dentro de las operaciones de fabricación o servicio (Canel, Rosen, & Anderson, 2000). Reducir inventarios innecesarios mediante la práctica de JIT en la industria de la construcción agrega valor y reduce pérdidas en cada uno de sus procesos.

Figura II. Plan Intermedio.

Descripción	PLAN INTERMEDIO (LOOK AHEAD)						Fecha de Inicio	Restricción sí no	Estado	Fecha de entrega programada	Observaciones
	7 feb al 13 feb	14 feb al 20 feb	21 feb al 27 feb	28 feb al 06 mar	07 mar al 13 mar	14 mar al 20 mar					
	1	2	3	4	5	6					
TELBACHILLERATO EN EMILIANO ZAPATA											
EDIFICIO											
01 TRABAJOS PRELIMINARES											
DESPLAME DE TERRENO EN FORMA MANUAL DE 20 cm. DE ESPESOR	9.714.16						07/02/2022		Liberada	09/02/2022	Sin problema
LIMPIA, TRAZO Y NIVELACION DE TERRENO A MANO, ESTABLECIENDO	2.952.25						10/02/2022		Liberada	10/02/2022	Sin problema
EXCAVACIÓN A MANO EN TERRENO INVESTIGADO EN OBRA CUAL	2.741.09	5.482.18					11/02/2022		Liberada	15/02/2022	Sin problema
RELLENO Y COMPACTACIÓN DE MATERIAL PRODUCTO DE EXCAVACIÓN			4.282.30				21/02/2022		15/02/2022	27/02/2022	Se libera terminando la excavación
SUMINISTRO Y RELLENO DE MATERIAL INERTE COMPACTADO CON			23.405.62				21/02/2022		14/02/2022	27/02/2022	Comprar relleno
02 CIMENTACIÓN											
PLANTILLA DE CONCRETO HECHO EN OBRA FC= 100KG/CM2 DE 60		13.055.84					14/02/2022		11/02/2022	16/02/2022	Suministro material
ANCLAJE PARA CASTILLOS EN CIMENTACION DE 20X30X50cms. DE			31.469.32				21/02/2022		18/02/2022	23/02/2022	Suministro material
MAMPOSTERIA DE PIEDRA DE LA REGION ASENTADA CON MORTERO		15.966.21	23.979.39				17/02/2022		18/02/2022	23/02/2022	Suministro material
CADENA DE DESPLANTE CONCRETO FC=250 kg/cm2 DE 14X20cms			9.890.52				21/02/2022		25/02/2022	27/02/2022	Suministro material
CADENA DE DESPLANTE DE CONCRETO FC=250KG/CM² DE 14X35C			19.283.31				21/02/2022		25/02/2022	27/02/2022	Suministro material
CADENA DE DESPLANTE DE CONCRETO fc=250 kg/cm² DE 14X35 cm			24.203.56				21/02/2022		25/02/2022	27/02/2022	Suministro material
03 ESTRUCTURA											
CIMBRA PARA LOSAS ACABADO APARENTE CON TRIPLAY DE PINO D						74.423.86	14/03/2022		07/03/2022	20/03/2022	Suministro cimbra
CIMBRA APARENTE EN TRABES CON CIMBRAPLAY DE PINO DE 16m						9.970.85	14/03/2022		07/03/2022	20/03/2022	Suministro cimbra
04 ALBAÑILERÍA Y ACABADOS											
CASTILLO DE 14X15 cm. fc=150 kg/cm2, ARMADO CON 4 VARILLAS DE				15.577.89	15.605.10		28/02/2022		25/02/2022	13/03/2022	Suministro material
CADENA DE CONCRETO fc=150 kg/cm2 DE 14X15cm, ARMADA CON					7.810.49		14/03/2022		11/03/2022	18/03/2022	Suministro material
CADENA DE 14X20 cm. DE CONCRETO fy=250kg/cm2, ARMADA CON					14.406.99		14/03/2022		11/03/2022	18/03/2022	Suministro material
MURO DE TABIQUE ROJO RECOCIDO DE 11 A 14 cm. DE ESPESOR, A				55.439.95	55.455.10		28/02/2022		25/02/2022	13/03/2022	Suministro material
Total parcial	14.107.50	34.504.23	136.314.02	71.017.54	71.060.20	106.611.99					
Total acumulado	14.107.50	48.611.73	184.925.75	255.943.29	327.003.49	433.615.48					
Porcentaje parcial	0.97%	3.34%	12.72%	17.61%	22.50%	29.83%					
Porcentaje acumulado	0.97%	3.34%	12.72%	17.61%	22.50%	29.83%					

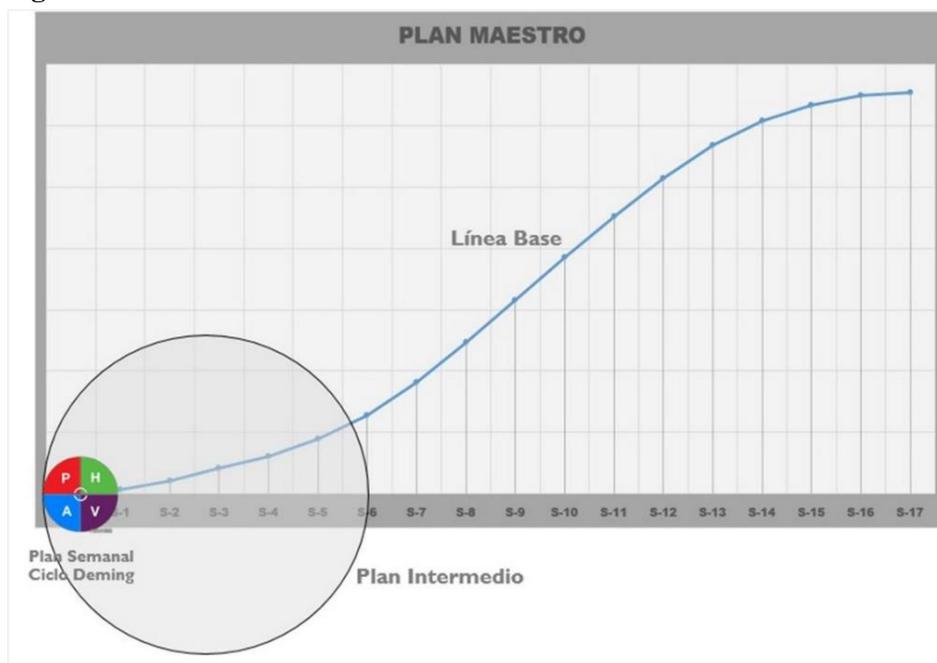
Fuente: Elaboración de los autores

Plan semanal



El Plan Maestro define las metas a través de la programación de un proceso deseado, pero el objetivo no es simplemente cumplir con el plan maestro definido al inicio del proyecto; es más bien, en función del plan maestro, definir y asignar las actividades listas para ejecutarse en el plan semanal, “transformar lo que se debe hacer en lo que se puede hacer” (Ballard H. , 2000). La Figura III representa en forma esquemática la línea base del plan maestro, el plan intermedio a seis semanas y el plan semanal que integran los tres niveles de LPS.

Figura III. Niveles de LPS.



Fuente: Elaboración de los autores

Es pertinente acordar reuniones al inicio o final de cada semana con la participación de los últimos tomadores de decisiones (Superintendentes, residentes, responsables de los frentes de trabajo, subcontratistas, almacenistas, etc) en las que se deben establecer dos objetivos: En primer lugar, verificar el estatus de los compromisos establecidos en la semana previa, analizando en su caso las causas de no cumplimiento de lo planificado, y en segundo término, programar las actividades a realizar en la semana por iniciar y que forman parte del inventario de actividades listas para ejecutar definidas en la planificación intermedia (Fernández, Alarcón, & Armiñana, 2011).

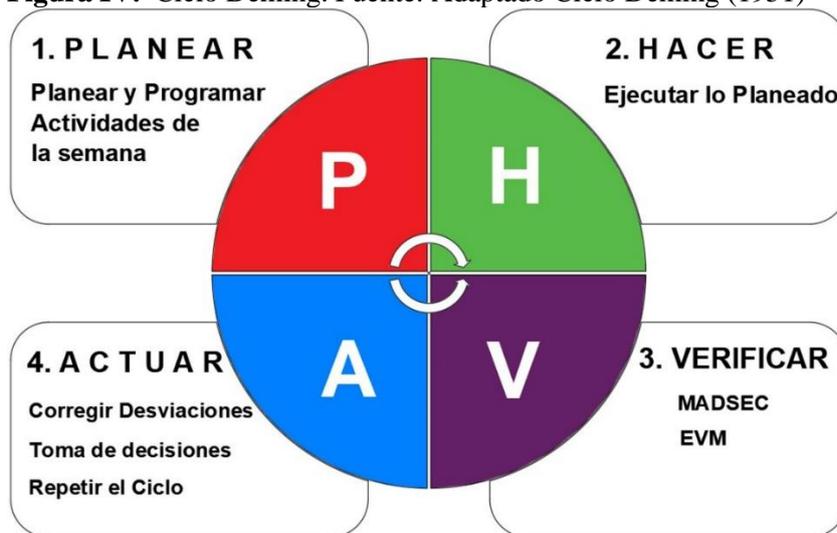
Ciclo DEMING de la mejora continua

Un cuidadoso control y seguimiento de la fase de ejecución de los trabajos asegura la eficiencia del proceso. Sin embargo, la improvisación es uno de los problemas frecuentes que surgen cuando se

presentan situaciones que es necesario resolver de inmediato. La pérdida de control provoca incertidumbre en el proceso del plan del proyecto, característica distintiva de la existencia de caos que puede ocasionar resultados totalmente diferentes con los objetivos del plan original (Bertelsen & Koskela, 2003). Al respecto, Porras et al (2014) afirman que la implementación de un sistema de mejora continua y la aplicación de los principios Lean logran incrementar la seguridad, la calidad y la eficiencia del proyecto.

Para implementar un sistema de control y seguimiento que cumpla con las características mencionadas en el párrafo anterior, este estudio propone adicionar al plan semanal de LPS la metodología EVM y el programa MADSEC® aplicado a través del proceso de mejora continua del ciclo Deming. El uso del ciclo PHVA mejora continuamente los procesos (Sahno & Shevtshenko, 2014). La Figura IV muestra la integración de cada una de estas etapas.

Figura IV. Ciclo Deming. Fuente: Adaptado Ciclo Deming (1951)



Planear (Planeación y programación semanal)

Durante este proceso se fijan compromisos y se asignan actividades a los responsables de los frentes de trabajo, siendo conscientes de que se deben ejecutar las actividades asignadas a su responsabilidad o en su defecto se expliquen las causas de posible incumplimiento para tomar las medidas oportunas o excluirlas del plan semanal.

Hacer (Ejecución)

Realizar las actividades programadas en el plan semanal. En esta etapa se ejecutan los trabajos programados, vigilando el cumplimiento del costo, tiempo y alcances planeados.

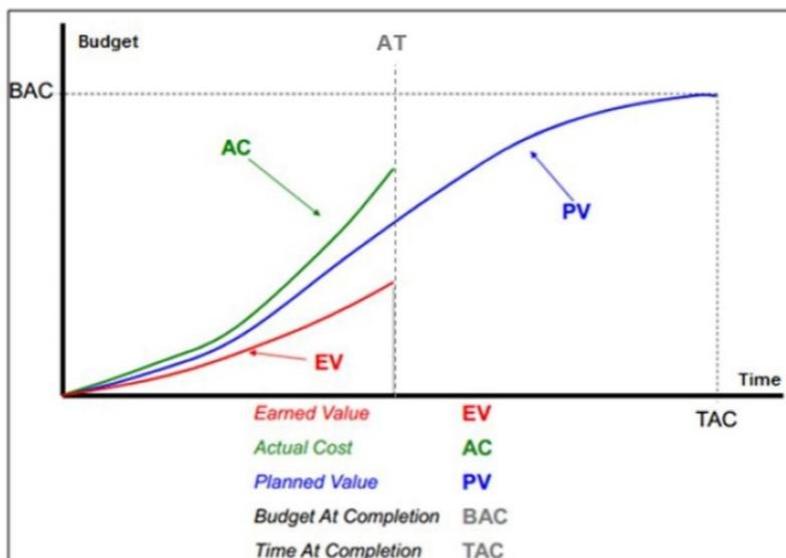
Verificar (control y seguimiento)

A través de control y seguimiento se verifica si lo ejecutado cumple con lo programado en el plan semanal. Para realizar este proceso, este estudio propone utilizar el sistema MADSEC® en combinación con la metodología EVM recomendada por PMBOK® (Project Management Body of Knowledge) a través de las siguientes etapas.

Etapa 1. Metodología EVM

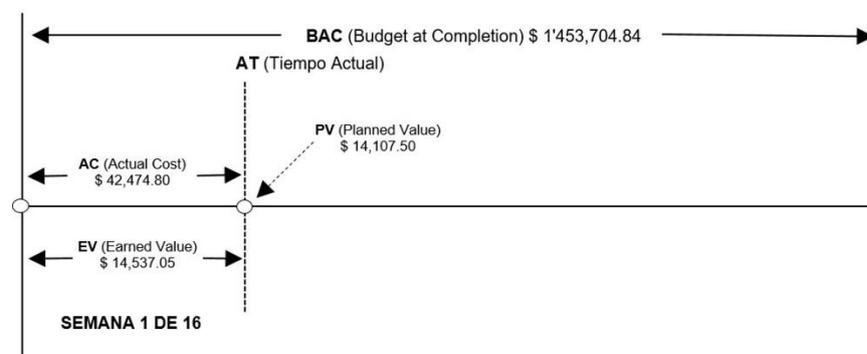
Esta técnica de gestión permite medir el avance y desempeño de un proyecto de manera objetiva, detectando a tiempo costos excesivos y retrasos al combinar alcance, cronograma y recursos, por lo que es considerada una metodología de triple restricción. Aplicando esta metodología y utilizando datos reales generados durante el proceso de ejecución de cada periodo semanal, se obtienen índices de desempeño y las posibles variaciones del periodo, determinando la eficiencia de los recursos utilizados. EVM se basa en tres medidas: el valor planificado PV (Planned Value) representa el valor presupuestado programado, el costo real ejercido a la fecha de corte AC (Actual Cost) y el valor ganado EV (Earned Value), costo planificado realmente producido y transferido al cliente que representa el desempeño actual (Ezerarslan & Aytekin, 2018; Pajares & López, 2011). La línea base PV representa la guía para comparar en un punto de la línea de tiempo AT (Tiempo Actual a la fecha de corte), el Costo Actual ejercido a la fecha AC, el Avance Real a la fecha EV y el Valor Planificado a la fecha PV. La Figura V representa en forma gráfica los valores mencionados.

Figura V. Earned Value EV. Fuente: Tomado de Ezerarslan & Aytekin, (2018)



Continuando con el ejemplo del caso práctico, se aplica EVM para analizar el comportamiento de la obra en cada uno de los periodos semanales. Los datos aplicados se obtuvieron en su momento de los registros contables y financieros y los avances reales de cada periodo reportados por la residencia de obra. Al finalizar la primera semana de avance del proyecto a la fecha de corte (AT), la contabilidad reporta una inversión de \$42,474.80 (AC), en su informe, la residencia de obra reporta un avance físico real (AR) de 1.00%, en el punto de intersección de la línea de corte AT se localiza el avance programado de 0.97% con un valor planificado de \$14,107.50, el valor ganado EV se obtiene multiplicando el presupuesto planificado BAC x el avance realizado a la fecha (Ezerarslan & Aytakin, 2018). Avance real (1%) x BAC (1,453,704.84), La Figura VI representa gráficamente estos valores.

Figura VI. Esquema gráfico de avance a la primera semana.



Fuente: Elaboración de los autores

Análisis del comportamiento del proyecto con relación a la planificación en la primera semana (fecha de corte). A través del siguiente proceso se determinan las variaciones e índices de desempeño del costo y del cronograma planificado (Ezerarslan & Aytakin, 2018; Pajares & López, 2011).

Variación de costo $CV = EV - AC \quad (\$14,537.05 - \$42,474.80) = \$ - 27,937.75$

Variación de cronograma $SV = EV - PV \quad (\$14,537.05 - \$14,107.50) = \$ 429.55$

Índice de desempeño costo $CPI = EV / AC \quad (\$14,537.05 / \$42,474.80) = 0.3422$

Índice de desempeño cronograma $SPI = EV / PV \quad (\$14,537.05 / \$14,107.50) = 1.0304$

El comportamiento del proyecto se interpreta bajo los siguientes términos:

Si $CV < 0$ y $CPI < 1$ el proyecto tiene sobrecosto

Si $CV > 0$ y $CPI > 1$ la variación y comportamiento del costo es correcta

Si $SV < 0$ y $SPI < 1$ el proyecto se encuentra retrasado

Si $SV > 0$ y $SPI > 1$ la variación y comportamiento del cronograma es excelente

Los valores obtenidos en el proceso anterior muestran valores negativos en la variación de costo y su índice de desempeño, por lo que es necesario profundizar en el análisis para determinar en qué parte de los componentes del costo se encuentra el problema para poder proponer medidas preventivas y correctivas en el siguiente paso del ciclo Deming (actuar).

Etapa 2. Combinación De EVM con el Sistema MADSEC®

El alcance de EVM no determina en qué componente del costo directo (Materiales, mano de obra, herramienta y equipo) se ubica el problema, por lo que para resolver esta situación el presente estudio propone utilizar el sistema MADSEC® que al combinarlo con EVM presenta el reporte que se muestra en la Figura VII.

Figura VII. Reporte del estado actual del proyecto a la primera semana de avance.

ESTADO DE CUENTA OBRAS							
No OBRA	NOMBRE	UBICACION					
001	TELEBACHILLERATO	CHAVARRILLO MPIO. EMILIANO ZAPATA					
INGRESOS A LA FECHA		\$436,111.45	AVANCE FINANCIERO	30.01%	AVANCE REAL	1.00%	
FECHA ACTUAL		COMPORTAMIENTO DEL PROYECTO		ALERTA PÉRDIDA			
PROGRAMADO SEGÚN							
PARTIDAS	CONTRATO	INGRESOS	REAL EJERCIDO	SALDO	(EV) VALOR GANADO	ESTADO REAL	
MATERIAL	\$488,820.08	\$146,678.12	\$38,474.80	\$108,203.32	\$4,888.20	-\$33,586.60	
MANO DE OBRA	\$430,559.98	\$129,196.27	\$4,000.00	\$125,196.27	\$4,305.60	\$305.60	
SUBCONTRATO	\$390,373.35	\$117,137.64	\$0.00	\$117,137.64	\$3,903.73	\$3,903.73	
HERRAMIENTA MENOR	\$31,347.75	\$9,406.38	\$0.00	\$9,406.38	\$313.48	\$313.48	
EQUIPO	\$6,830.92	\$2,049.72	\$0.00	\$2,049.72	\$68.31	\$68.31	
CARGOS (Imss, Sar, Infonavit)	\$105,454.64	\$31,643.32	\$0.00	\$31,643.32	\$1,054.55	\$1,054.55	
TOTAL	\$1,453,386.72	\$436,111.45	\$42,474.80	\$393,636.65	\$14,533.87	-\$27,940.93	

Fuente: Elaboración de los autores

En el estado de cuenta que se muestra en la Figura VII se destacan tres columnas que contienen los valores de cada uno de los componentes del costo directo. Se puede observar que todos los valores que presenta la columna “Real ejercido” son positivos; esto no es del todo cierto, debido a que estos montos incluyen parte del porcentaje de anticipo otorgado al inicio de la obra. Al aplicar EVM en la columna Valor ganado EV, se obtienen los valores reales de cada componente, mostrando que la causa raíz del problema se ubica en el componente “Material”.

Actuar (análisis y toma de decisiones)

La verificación realizada hasta el momento comparada con el valor ganado en EV confirma una inversión superior a la planeada en la compra de materiales. El siguiente y último paso del proceso de mejora continua (Actuar) consiste en analizar y determinar las causas que originan este problema para estar en condiciones de tomar la mejor decisión. Es pertinente mencionar que, en esta etapa, se debe de incluir también el análisis del cumplimiento o no cumplimiento de las actividades planeadas en la semana anterior y la planificación de las actividades a realizar en la semana por iniciar. “El porcentaje de asignaciones completadas evalúa hasta dónde el sistema del último planificador es capaz de anticipar el trabajo que se realizará en la semana siguiente” (Alarcón & Armiñana, 2009).

En relación al inconveniente mencionado en el párrafo anterior se presentan dos posibles motivos que dan lugar al problema: por un lado, el costo de los materiales y, por el otro, los volúmenes adquiridos. En el primer caso se debe analizar con el departamento de contabilidad que los costos de los materiales adquiridos estén dentro de los parámetros admitidos en el presupuesto; si esto sucede así, se elimina la primera causa y, por tanto, se deduce que el conflicto se localiza en los volúmenes adquiridos. Una vez eliminada la primera causa, se procede a identificar el origen del problema mediante el siguiente proceso:

Etapas 1. AHP: proceso de jerarquía Analítica

Una vez definida la ubicación del problema, el siguiente paso es investigar y analizar la causa raíz del problema para facilitar la toma de decisiones. Para dar mayor certeza al proceso de análisis y toma de decisiones, este estudio propone adoptar el proceso AHP, que se enfoca en el análisis de toma de decisiones multicriterio, organizando los objetivos, atributos y problemas en una estructura jerárquica. Según (Saaty, 1990), mediante el siguiente proceso, los juicios cualitativos se convierten en números.

- Organización del problema
- Comparación de criterios
- Comparación de alternativas con cada criterio
- Toma de decisión

Etapas 1.1. Organización del problema

El proceso AHP inicia con la organización del problema como una jerarquía, estructurándolo en los siguientes niveles para su estudio:

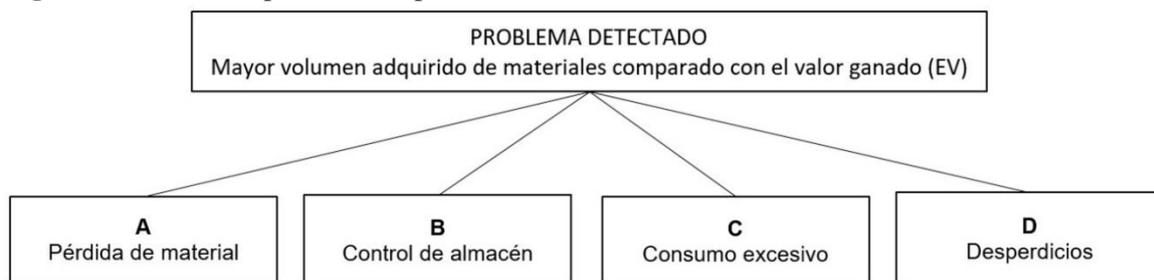
Primer nivel: se ubica el objetivo general (problema detectado). “Mayor volumen adquirido de materiales comparado con el valor ganado en EV”.

Segundo nivel: se definen a continuación los criterios a comparar con el fin de identificar la causa raíz que genera el problema; es pertinente mencionar que el número de criterios puede variar de acuerdo a la magnitud del problema. Los cuatro criterios identificados se relacionan a continuación:

- A Pérdida de material
- B Control de almacén
- C Consumo excesivo
- D Desperdicios

La Figura VIII muestra los criterios definidos en el segundo nivel de descomposición del problema del modelo AHP.

Figura VIII. Descomposición del problema: definición de criterios.



Fuente: Adaptado del modelo de Saaty (1990)

Etapa 1.2. Comparación de criterios

Este proceso consiste en comparar los criterios por pares con respecto al objetivo general mediante el desarrollo de una matriz de comparación de criterios. AHP propone utilizar la escala de comparación por pares para ser aplicada en la comparación de criterios y en la comparación de alternativas. La Tabla I muestra la escala de comparación por pares.

Tabla I. Escala de comparación por pares.

Intensidad de importancia en una escala absoluta	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen por igual al objetivo
3	Importancia moderada de uno sobre otro	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra.
5	Importancia esencial o fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra.
7	Importancia muy fuerte	Se favorece fuertemente una actividad y se demuestra su dominio en la práctica.
9	Extrema importancia	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es del más alto orden de afirmación posible
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre los dos juicios adyacentes.	Cuando se necesita compromiso
Recíprocos	Si la actividad (i) tiene asignado uno de los números anteriores cuando se compara con la actividad (j), entonces (j) tiene un valor recíproco cuando se compara con (i)	
Racionales	Ratios derivados de la escala Si se forzara la consistencia obteniendo (n) valores numéricos para abarcar la matriz	

Fuente: (Saaty, 1990).

La comparación de criterios se desarrolla a través del siguiente procedimiento:

Paso 1. Matriz de comparación de criterios

El proceso de análisis y comparación se inicia preguntando de acuerdo a los dos criterios que se comparan: ¿Cuál se considera más importante con respecto al objetivo general? Según su importancia se asigna una ponderación según la Tabla I. Por ejemplo, en la Tabla II se muestra que, al comparar la importancia del criterio A sobre el criterio C respecto al objetivo general o problema principal, corresponde a un nivel de intensidad moderada con una importancia de (3). Por lo tanto, la intensidad del criterio C sobre A respecto al objetivo será de $1/3 = 0.33$.

Tabla II. Matriz de comparación de criterios.

	A	B	C	D
A	1.00	1.00	3.00	3.00
B	1.00	1.00	3.00	5.00
C	0.33	0.33	1.00	0.50
D	<u>0.33</u>	<u>0.20</u>	<u>2.00</u>	<u>1.00</u>
Σ	2.67	2.53	9.00	9.50

Fuente: Elaboración de los autores

Paso 2. Matriz de comparación normalizada y obtención del vector de ponderación.

A continuación, estos criterios se ponderan normalizándolos. Este se obtiene tomando cada uno de los datos de la columna y dividiéndolo entre la suma del valor de esa misma columna. Por ejemplo, consideremos la columna A y llamemos A_i al valor i-ésimo de la columna A. Entonces se tiene que el valor normalizado correspondiente \hat{A}_i estará dado por la ecuación (1).

$$\hat{A}_i = \frac{A_i}{\sum A}, 1, \dots, 4 \dots \dots \dots (1)$$



Observe que con la nueva asignación los valores que toma la variable normalizada solo pueden estar entre cero y la unidad, incluyendo, así, $\hat{A}_i \in [0,1]$. De la misma forma que se definió \hat{A}_i se definen \hat{B}_i , \hat{C}_i y \hat{D}_i . Finalmente, para obtener el vector de pesos (w) por criterio se promedian los valores que contiene cada línea de la matriz. En la Tabla III se muestra la Matriz de comparación de criterios y la Matriz normalizada con el vector de pesos (w).

Tabla III. Matriz de comparación normalizada.

	A_i	B_i	C_i	D_i	pesos (w)
\hat{A}_i	0.3750	0.3947	0.3333	0.3158	0.3547
\hat{B}_i	0.3750	0.3947	0.3333	0.5263	0.4073
\hat{C}_i	0.1250	0.1316	0.1111	0.0526	0.1051
\hat{D}_i	0.1250	0.0789	0.2222	0.1053	0.1329

Fuente: Elaboración de los autores

En la tabla anterior, el valor mayor del vector de pesos (w) representa la causa raíz “Control de almacén” que corresponde al criterio B.

Paso 3. Razón de inconsistencia (RI)

La recomendación del AHP consiste en verificar si los valores contenidos en la matriz de comparación de criterios fueron calificados correctamente, aplicando las siguientes expresiones:

$$RI = \frac{CI}{CA} \dots (2) \quad CI = \frac{\lambda_{max} - \eta}{\eta - 1} \dots (3) \quad CA = \frac{1.98 * (\eta - 2)}{\eta} \dots (4)$$

Donde CI representa el índice de inconsistencia, CA la consistencia aleatoria, n la magnitud de la matriz. Para obtener el valor de λ_{max} se multiplican los valores obtenidos en la matriz de comparación de criterios por los valores del vector de ponderación w que se muestra en la Tabla II; es decir, multiplica la matriz por un vector para obtener los valores z_i como se muestra en la fórmula (5).

$$\begin{pmatrix} A_1w_1 + A_2w_2 +, \dots, A_nw_n \\ B_1w_1 + B_2w_2 +, \dots, B_nw_n \\ C_1w_1 + C_2w_2 +, \dots, C_nw_n \\ D_1w_1 + D_2w_2 +, \dots, D_nw_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \end{pmatrix} \dots (5)$$

Una vez obtenidos los valores de z_i se divide entre w_i para obtener λ_i , es decir:

$$\lambda_i = z_i / w_i, i = 1, \dots, 4. \text{ Donde, } \lambda_{max} = (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)/4$$

La Tabla 4 muestran los resultados obtenidos.

Tabla IV. Obtención de λ_{max} .

Matriz de comparación de Criterios					Vector de pesos (w)	vector (z)	λ		
A	B	C	D						
A	1.00	1.00	3.00	3.00	x	0.3547	=	1.4759	4.1607
B	1.00	1.00	3.00	5.00		0.4073		1.7416	4.2755
C	0.33	0.33	1.00	0.50		0.1051		0.4255	4.0496
D	0.33	0.20	2.00	1.00		0.1329		0.5427	<u>4.0850</u>
							λ_{max}		4.1427

Fuente: Elaboración del autor

Aplicando el valor de λ_{max} en la fórmula (3) se obtiene el valor 0.0476 para CI y 0.99 para CA.

Aplicando la fórmula (4), estos valores se substituyen en la fórmula (2) obteniendo el resultado de 0.048 = 4.8%. Según Saaty (1990), si la relación CI/CA es 10% o menos se considera aceptable, en caso contrario se debe intentar mejorar la consistencia modificando los valores asignados a los criterios.

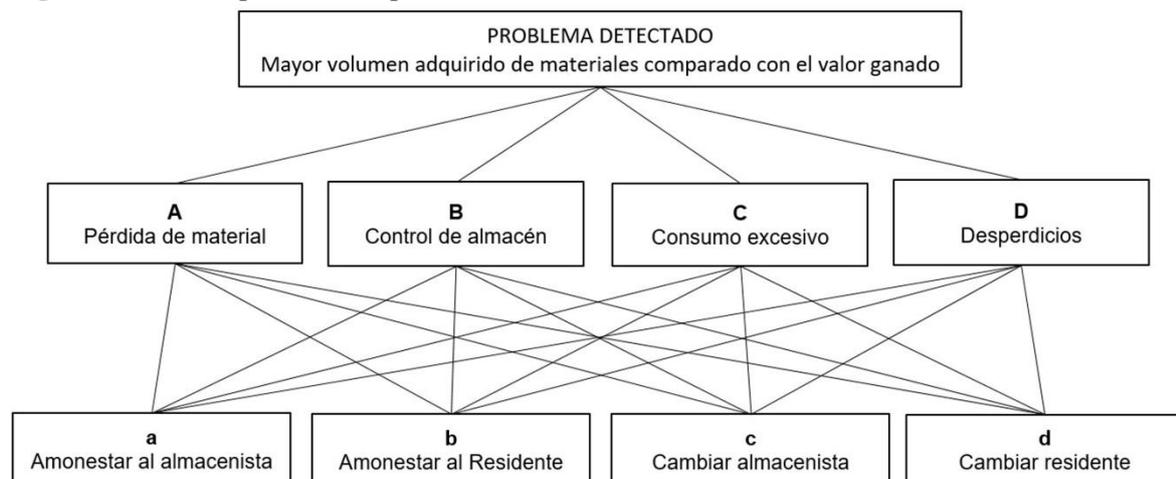
Etapa 1.3. Comparación de alternativas con respecto a cada criterio

Una vez confirmada la consistencia de la ponderación de los criterios (w), se inicia la comparación de las alternativas correspondientes al tercer nivel del proceso AHP.

Tercer nivel: A continuación, se muestran las alternativas que se evaluarán de acuerdo a los criterios adoptados. La Figura IX muestra el modelo AHP con sus tres niveles de descomposición.

- a. Amonestar al almacenista
- b. Amonestar al residente
- c. Cambiar almacenista
- d. Cambiar residente

Figura IX Descomposición del problema: definición de alternativas.



Fuente: Adaptado del modelo de Saaty (1990)

El proceso de análisis del tercer nivel según las dos alternativas a comparar comienza con la pregunta: ¿cuál se considera más importante con respecto de cada criterio? Por ejemplo, comparar la alternativa (a) con (b) con respecto al criterio (A), después comparar la alternativa (a) con (c) con respecto al criterio (A), continuando con el mismo procedimiento para todas las alternativas. Para obtener el vector de ponderación y RI de cada comparación se sigue el procedimiento explicado en los pasos 2 y 3. En la Tabla V se muestran los resultados obtenidos en este proceso:

Tabla V. Comparativa por pares de alternativas con respecto a cada criterio.

Matriz de alternativas en función criterio A					Vector de Ponderación A	Matriz de alternativas en función criterio B					Vector de Ponderación B				
	a	b	c	d			a	b	c	d					
a	1.00	0.50	3.00	1.00	0.2527	a	1.00	1.00	2.00	5.00	0.3796				
b	2.00	1.00	2.00	5.00	0.4733	b	1.00	1.00	1.00	3.00	0.2992				
c	0.33	0.20	1.00	2.00	0.1314	c	0.50	1.00	1.00	3.00	0.2523				
d	1.00	0.20	0.50	1.00	0.1537	d	0.20	0.33	0.33	1.00	0.0872				
Σ	4.33	1.90	6.50	9.00		Σ	2.70	3.33	4.33	12.00					
λ max =	4.1849				CI =	6.23%				λ max =	4.0516		CI =	1.74%	

Matriz de alternativas en función criterio C					Vector de Ponderación C	Matriz de alternativas en función criterio D					Vector de Ponderación D				
	a	b	c	d			a	b	c	d					
a	1.00	0.50	1.00	2.00	0.2235	a	1.00	0.50	1.00	1.00	0.1972				
b	2.00	1.00	3.00	3.00	0.4485	b	2.00	1.00	2.00	2.00	0.3944				
c	1.00	0.33	1.00	3.00	0.2334	c	1.00	0.50	1.00	0.50	0.1840				
d	0.50	0.33	0.33	1.00	0.1153	d	1.00	0.50	2.00	1.00	0.2250				
Σ	4.50	2.17	5.33	9.00		Σ	5.00	2.50	6.00	4.50					
λ max =	4.1073				CI =	3.61%				λ max =	4.0729		CI =	2.45%	

Fuente: Elaboración de los autores

Como se observa en la Tabla V, en ninguno de los casos la razón de inconsistencia RI supera el 10%, por lo tanto, de acuerdo a Saaty (1990), los valores de los criterios aplicados son aceptables.

Etapa 1.4. Toma de decisión.

Cada uno de los valores obtenidos de cada vector (VA, VB, VC, BD) se multiplican por el valor del vector de pesos (w) obtenidos del proceso comparativo por pares de alternativas respecto a cada criterio para obtener la Matriz de Criterios Valorizados; sumando los criterios valorizados de cada línea se obtiene la ponderación de cada una de las alternativas, como se muestra en la Tabla V.

Tabla VI. Matriz de priorización para toma de decisiones.

Matriz de alternativas					Matriz de Criterios Valorizados				Priorización	
	A	B	C	D						
w	0.354715	0.407346	0.10508	0.132858						
	Vector A	Vector B	Vector C	Vector D	a	0.0897	0.1546	0.0235	0.0262	0.2940
a	0.2527	0.3796	0.2235	0.1972	b	0.1679	0.1136	0.1002	0.0778	0.4594
b	0.4733	0.2992	0.4485	0.3944	c	0.0466	0.0755	0.1047	0.0726	0.2993
c	0.1314	0.2523	0.2334	0.1840	d	0.0545	0.0220	0.0269	0.0414	0.1448
d	0.1537	0.0872	0.1153	0.2250						

Fuente: Elaboración de los autores



El resultado obtenido muestra que la alternativa de solución (b) “Amonestar al residente” representa la mejor solución.

CONCLUSIÓN

Es una realidad que cada proyecto surge de una necesidad y, por tanto, cada uno tiene sus propias características y ahí es precisamente donde radica su complejidad. Sin embargo, al igual que en los organismos de una misma especie, sus procesos vitales son similares. Partiendo de esta hipótesis, la solución a sus problemas también debería ser similar. Por otro lado, PMI y LC son dos sistemas de administración de proyectos que persiguen el mismo objetivo, cumplir con las expectativas planteadas por el cliente. Por ello, ambos sistemas centran sus esfuerzos e investigaciones en la mejora de sus procesos. Partiendo de estas premisas, en esta investigación se desarrolla una metodología donde se integran herramientas de ambos sistemas en combinación con un sistema particular a través de un proceso de mejora continua.

Al aplicar la metodología EVM a un caso simulado se detecta que existe una variación negativa en el costo presupuestado a la fecha de corte. La pregunta que surge es: ¿En qué parte del componente del costo se encuentra el problema? Puede ser en los materiales, la mano de obra o el equipo. La combinación de EVM con MADSEC determina que el problema se ubica en el componente costo. El siguiente paso fue el establecer, a través de la técnica de toma de decisiones multicriterio (AHP), la mejor decisión para solucionar el problema. De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, se puede concluir que la aplicación de la metodología propuesta permite, a través del proceso de mejora continua periodo a periodo, corregir las desviaciones que se presentan en cada ciclo, garantizando, así, el cumplimiento del costo, tiempo y alcance previsto.

El trabajo pendiente a realizar consiste en ponerlo en práctica durante el proceso de ejecución de cada proyecto. La experiencia de su aplicación traerá indudables mejoras en su implementación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alves, T., Lichtig, W., & Rybkowski, Z. (2017). Implementing Target Value Design: Tools and Techniques to Manage the Process. *Health Environments Research & Design Journal*, 10(3), 18-29. doi:DOI: 10.1177/1937586717690865



- Asmar, M., Hanna, A., & Loh, W.-Y. (2013). Quantifying Performance for the Integrated Project Delivery System as Compared to Established Delivery Systems. *Journal of Construction Engineering*. doi:10.1061 (ASCE) CO.1943-7862.0000744
- Ballard, G. (2008). The Lean Project Delivery System: An update. *Lean Construction Journal*. Obtenido de <https://lean-construction-gcs.storage.googleapis.com/>
- Ballard, H. (2000). The last planner system of production control (Doctoral dissertation, University of Birmingham). Obtenido de <http://etheses.bham.ac.uk/id/eprint/4789>
- Bopp, J., & Kaya, A. (2012). A Elbphilharmonie em discussão: vozes críticas desde Hamburgo. (Risco, Ed.) Recuperado el 20 de abril de 2018, de *Revista de pesquisa em arquitetura e urbanismo*: <https://www.revistas.usp.br/risco/article/download/49046/53117>
- Canel, C., Rosen, D., & Anderson, E. A. (2000). Just-in time is not just for manufacturing: a service perspective. *Industrial Management & Data System*, 51-60. doi: <https://doi.org/10.1108/02635570010286104>
- Engebo, A., Torp, O., & Laedre, O. (2021). Development of Target Cost for a High-Performance Building. 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC29) (págs. 3-12). Lima, Perú: Alarcón, L.F. and González, V.A. doi:doi.org/10.24928/2021/0131
- Ezerarslan, A. S., & Aytakin, G. K. (2018). THE EFFECTIVENESS OF COST-ORIENTED PROJECT MANAGEMENT PROCESS IN BUSINESSES. *International Journal of Eurasia Social Sciences*, 9(33), 1452-1487. Obtenido de <https://www.academia.edu/37579573/>
- Fernández, A. D., Alarcón, L. F., & Armiñana, E. P. (2011). La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador. *Revista de Obras Públicas*(3518), 1-9. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/289002276>
- Koskela, L., & Howell, G. (2002). The underlying theory of project management is obsolete. *Proceedings of the PMI research conference*, (págs. 293-302). Seattle, Washington. Obtenido de <http://eprints.epwp.eprints-hosting.org/id/eprint/75>
- Macomber, H., Howell, G., & Reed, D. (2005). MANAGING PROMISES WITH THE LAST PLANNER SYSTEM: CLOSING IN ON UNINTERRUPTED FLOW. 13th International Group of Lean Construction Conference (págs. 13-17). Sydney, Australia: International Group



of Lean Construction. Obtenido de

[https://www.researchgate.net/publication/303632513 MANAGING PROMISES WITH THE LAST PLANNER SYSTEM CLOSING IN ON UNINTERRUPTED FLOW](https://www.researchgate.net/publication/303632513_MANAGING_PROMISES_WITH_THE_LAST_PLANNER_SYSTEM_CLOSING_IN_ON_UNINTERRUPTED_FLOW)

Olano, R., Alarcón, L., & Rázuri, C. (2009). UNDERSTANDING THE RELATIONSHIP BETWEEN PLANNING RELIABILITY AND SCHEDULE PERFORMANCE: A CASE STUDY. 17th Annual Conf. of the Int. Group for Lean Construction. Taipei, Taiwan. Obtenido de <https://iglc.net/papers/Details/662>

Oldenburg, B. D. (2008). GERENCIA DE PROYECTOS. Revista científica "Visión del Futuro", 10(2). Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357935471003>

PMI. (2022). ¿Qué es la Dirección de Proyectos? Recuperado el 12 de septiembre de 2022, de Project Management Institute:

<https://americalatina.pmi.org/latam/AboutUS/QueEsLaDireccionDeProyectos.aspx>

Pons Achell, J. F. (2014). Introducción a Lean Construction. Fundación Laboral de la Construcción, 74. Obtenido de <http://www.fundacionlaboral.org/documento/introduccion-al-lean> construction

Porrás, H., Sánchez, O. G., & Galvis, J. A. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. Investigación en Ingeniería, 11(1), 32-53. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6684752>

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. European journal of operational research, 1(48), 9-26. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)

Sahno, J., & Shevtshenko, E. (2014). QUALITY IMPROVEMENT METHODOLOGIES FOR CONTINUOUS IMPROVEMENT OF PRODUCTION PROCESSES AND PRODUCT QUALITY AND THEIR EVOLUTION. 9th International DAAAM Baltic Conference "INDUSTRIAL ENGINEERING", (págs. 181-186). Tallinn, Estonia. Obtenido de <https://www.academia.edu/17958677/>

Seymour, T., & Hussein, S. (2014). The History Of Project Management. International Journal of Management & Information Systems, 18(4). Obtenido de <https://doi.org/10.19030/ijmis.v18i4.8820>

