RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Juan Pablo Gentil Jácome
FACULTAD	Ingenierías
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Civil
DIRECTOR	Esp. Elkin Yesid Barbosa Quintero
TÍTULO DE LA TESIS	Análisis comparativo del LPDS (Lean Project Delivery System) y el sistema tradicional utilizado en Colombia para proyectos de construcción.
TITULO EN INGLES	Comparative analysis of the LPDS (Lean Project Delivery System) and the traditional system used in Colombia for construction projects.

RESUMEN
(70 palabras)

El propósito de esta monografía es ejecutar una selección detallada y análisis de estudios, tesis, documentos con argumento del método de entrega de proyectos Lean Project Delivery System (LPDS), incluyendo ideas como una alternativa al uso del método tradicional de entrega de proyectos utilizado en Colombia, la investigación mundial sobre la conceptualización y la correcta aplicación de este nuevo sistema, con el objetivo de evaluar actualmente la entrega de proyectos.

RESUMEN EN INGLES

The purpose of this monograph is to carry out a detailed selection and analysis of studies, theses, documents with arguments of the Lean Project Delivery System (LPDS) project delivery method, including ideas as an alternative to the use of the traditional project delivery method used in Colombia, global research on the conceptualization and correct application of this new system, with the aim of currently evaluating project delivery.

PALABRAS CLAVES	Proyecto, entrega, cronograma, lean, retrasos, solución, optimización, valor, pérdidas, procesos.
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Project, delivery, schedule, lean, delays, solution, optimization, value, losses, processes.

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 79	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 26	CD-ROM: 0

Análisis comparativo del LPDS (Lean Project Delivery System) y el sistema tradicional utilizado en Colombia para proyectos de construcción.

Juan Pablo Gentil Jácome.

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Ingeniería Civil.

Esp. Elkin Yesid Barbosa Quintero.

15 de febrero de 2024

Nota.

El Comité Curricular del Plan de Estudios de Ingeniería Civil, según consta en el Acta No. 0034 de fecha 18 de septiembre de 2023, acordó asignar como jurados de la presente monografía a los docentes

Pedro Nel Angarita Uscategui y Leandro Ovallos Manosalva.

Dedicatoria.

A Dios por siempre darme la sabiduría para sacar adelante este logro en mi vida.

A mis padres, Jairo Alonso Gentil Claro y Paola Jácome Navarro, quienes fueron incondicionales, una motivación y una razón para ser Ingeniero Civil.

A mis abuelos, Wilson Jácome y Osmelida Navarro por siempre estar ahí cuando los necesito.

A mi tío Luis Fernando Gentil que está en el cielo y siempre quiso verme como un Ingeniero Civil.

Al especialista y amigo Elkin Yesid Barbosa Quintero por ser mi director de monografía y estar pendiente de este proceso.

A todos mis amigos y compañeros que aportaron, apoyaron e impulsaron para culminar mi carrera profesional.

Juan Pablo Gentil Jácome

Índice.

Introducción. 10

Resumen. 12

Abstract. 13

Capítulo 1. Métodos de entrega de proyectos de construcción. 14

1.1. Entrega de proyectos de construcción. 14

1.1.1. Proyectos de construcción. 14

1.1.2. Etapas de un Proyecto de construcción. 14

1.1.3. Diseño de un proyecto de construcción. 18

1.1.4. Participantes directos en un proyecto de construcción. 22

1.2. Métodos de entrega de proyectos. 23

1.2.1. Entrega de proyectos de construcción. 23

1.2.2. Fases de una entrega de proyecto. 24

1.2.3. Métodos de entrega de proyectos de construcción. 26

Capítulo 2. Comparación entre el Lean Project Delivery System y el sistema tradicional utilizado en Colombia. 32

2.1. Lean Project Delivery System. 32

2.1.1. Relación directa entre la filosofía Lean Construction y Lean Project Delivery System. 32

2.1.2. Definición del método de entrega de proyectos: Lean Project Delivery System. 35

2.1.3. Características fundamentales del Lean Project Delivery System. 36

2.1.4. Estructura del Lean Project Delivery System. 37

2.1.5. Fases del proyecto según Lean Project Delivery System. 37
2.2. Sistema tradicional utilizado en Colombia: Diseño-Licitación-Construcción..... 44
2.2.1. Fases del método de entrega de proyectos: Diseño – Licitación – Construcción. 45
2.3. Comparación entre el método de entrega de proyectos Lean Project Delivery System y el método Diseño-Licitación-Construcción. 47
2.3.1. Ventajas..... 47
2.3.2. Desventajas. 49
2.3.3. Modalidad de contratación..... 49
2.3.4. Ideas de ejecución. 51
2.3.5. Comparación: Principales diferencias entre el Lean Project Delivery System y el método tradicional Diseño – Licitación – Construcción..... 52
Capítulo 3. Estudio de caso: Análisis del Lean Project Delivery System como solución al sistema tradicional utilizado en Colombia..... 54
3.1. Problemática presente. 54
3.2. Estudio de caso: Caso de éxito en la aplicación de Lean Construction en la ejecución de la obra del hospital Arnau De Vilanova, Lleida en tan sólo 4 meses..... 58
3.2.1. Etapa de definición del proyecto..... 58
3.2.3. Etapa de suministro..... 61
3.2.4. Etapa de ensamblaje..... 63
3.2.5. Cronograma de actividades..... 65
3.2.6. Etapa de uso. 67
3.3. Análisis y discusión de resultados. 68

3.3.1. Cuadro sinopsis entre el Lean Project Delivery System y el sistema tradicional. 70

3.3.2. Mejoramiento en la construcción con el enfoque Lean. 71

Capítulo 4. Conclusiones. 74

Capítulo 5. Recomendaciones. 75

Referencias. 76

Lista de figuras.

Figura 1. Etapas en el desarrollo de un proyecto. 18

Figura 2. Principales ítems en un Proyecto de construcción. 21

Figura 3. Fases de una entrega de proyectos. 24

Figura 4. Método de diseño-licitación-construcción (DBB). 27

Figura 5. Método de diseño-construcción (DC) 28

Figura 6. Método del gestor de la construcción en riesgo (CMR)..... 29

Figura 7. Método multi-prime (MP)..... 30

Figura 8. Método de entrega integrada de proyectos (IPD)..... 31

Figura 9. Desperdicios en la producción. 33

Figura 10. Fases del proyecto según LPDS 37

Figura 11. Cuadro resumen del Last Planner System..... 40

Figura 12. Principios del Target Costing. 42

Figura 13. Los 12 pasos del Target Costing. Adaptado de B. Maskell (2012)..... 43

Figura 14. Flujo tradicional para la entrega de proyectos de construcción**.** 45

Figura 15. Estructura del método de Diseño-Licitación-Construcción. 47

Figura 16. Cinco grandes ideas para un proyecto utilizando Lean Project Delivery System..... 52

Figura 17. Entrega de proyectos Lean vs Tradicional 53

Figura 18. Relaciones causa-efecto de los retrasos en construcción. 55

Figura 19. Emplazamiento del nuevo edificio hospitalario polivalente con respecto al preexístete Hospital Universitario Arnau de Vilanova. 60

Figura 20. Plano de PB del nuevo edificio hospitalario polivalente..... 61

Figura 21. Axonometría de la estructura del módulo prefabricado off-site para edificio hospitalario polivalente 62

Figura 22. Axonometría del conjunto de módulos prefabricados off-site para edificio hospitalario polivalente 64

Figura 23. Fotografía fachada norte y plano de sección longitudinal del edificio hospitalario polivalente 65

Figura 24. Cronograma del edificio hospitalario polivalente 66

Figura 25. Enfoque tradicional vs Enfoque Lean. 72

Figura 26. Beneficios obtenidos con la implementación Lean. 73

Lista de tablas.

Tabla 1. Ventajas del Lean Project Delivery System vs Diseño-Licitación-Construcción. 48

Tabla 2. Desventajas del Lean Project Delivery System vs Diseño-Licitación-Construcción. .. 49

Tabla 3. Sinopsis del Lean Project Delivery System vs Diseño – Licitación – Construcción.... 70

Introducción.

Un proyecto de construcción es algo que no se debe tomar a la ligera, cada etapa de ese proyecto debe ser planificada, revisada y ejecutada con el mayor cuidado posible. El 77% de los proyectos de construcción en el país tienen retrasos en el 40% de la planeación, según estudios de AIA. La entrega oportuna de un inmueble suele ser en Colombia una utopía. Es el deseo de los compradores, quienes, en muchos casos necesitan la entrega inmediata de su propiedad para poder tener respiros económicos. De acuerdo con cifras de McKinsey, consultora estratégica global que se focaliza en resolver problemas sobre administración estratégica, un proyecto de construcción bien planeado podría ahorrar hasta un 20% del costo inicial planteado, pero la experiencia del sector indica que lo normal es que estos ahorros no superen el 10%. (La Opinión, 2021)

La industria de la construcción se ha convertido en la industria económica más dinámica, innovadora y tecnológica, lo cual ha generado un aumento considerable en nuevas metodologías de entrega de proyectos, mejorando así la calidad final del producto elevando de esta manera los estándares competitivos en cuanto a calidad y grado de eficiencia, esto como consecuencia a la evolución que han presentado las construcciones de obras civiles a lo largo de la década.

Los proyectos de construcción requieren de la intervención de diferentes disciplinas y profesionales aptos para garantizar los estándares establecidos de seguridad, eficiencia y calidad, este equipo de trabajo está integrado por ingenieros civiles, arquitectos, contratistas y trabajadores de la construcción. Cada proyecto de construcción tiene su propio desafío que va desde la gestión de recursos y presupuestos hasta la coordinación de actividades para cada equipo de trabajo.

En este orden de ideas, la planificación y la gestión eficiente de proyectos son cruciales a la hora de tener éxito en cualquier construcción. La implementación de tecnologías y metodologías avanzadas como el modelado de información de construcción (BIM) o

Resumen.

Los proyectos de construcción en Colombia se han convertido en una utopía, pues se presentan retrasos a la hora de realizar la respectiva entrega en los tiempos estipulados por el cliente y la entidad constructora, dado a diversos factores que afectan directamente el cronograma de actividades debido a la falta de medidas de seguimiento, control y registro de las labores que se ejecutan dentro y fuera del proyecto en ejecución; una problemática que aqueja al sector construcción puesto que se ha venido trabajando con un sistema de entrega de proyectos generando desinformación y una insuficiente instrucción a nuevas filosofías.

El propósito de esta monografía es ejecutar una selección detallada y análisis de estudios, tesis, documentos con argumento del método de entrega de proyectos Lean Project Delivery System (LPDS), incluyendo ideas como una alternativa al uso del método tradicional de entrega de proyectos utilizado en Colombia, la investigación mundial sobre la conceptualización y la correcta aplicación de este nuevo sistema, con el objetivo de evaluar el escenario actual de la entrega de proyectos en Colombia y la influencia que pueda llegar a tener aplicando LPDS.

Para llevar a cabo el estudio, se tomó como referencia un proyecto a gran escala de un hospital que fue construido en España con la necesidad de suplir la pandemia del COVID-19, donde fue aplicada la metodología Lean Project Delivery System, desmenuzando cada etapa de esta filosofía y al final, generando el producto de calidad en un tiempo record. Mostrando la solución a la problemática ya mencionada, instruyendo, conceptualizando y dando como ejemplo el caso-estudio aplicado en el país de España.

Palabras claves. Proyecto, entrega, cronograma, filosofía lean, retrasos y solución.

Abstract.

Construction projects in Colombia have become a utopia, as there are delays in making the respective delivery within the times stipulated by the client and the construction entity, due to various factors that directly affect the schedule of activities due to the lack of monitoring, control and registration measures for the work carried out inside and outside the project being executed; a problem that afflicts the construction sector since it has been working with a project delivery system that generates misinformation and insufficient instruction in new philosophies.

The purpose of this monograph is to carry out a detailed selection and analysis of studies, theses, documents with arguments of the Lean Project Delivery System (LPDS) project delivery method, including ideas as an alternative to the use of the traditional project delivery method used in Colombia, global research on the conceptualization and correct application of this new system, with the objective of evaluating the current scenario of project delivery in Colombia and the influence that it may have by applying LPDS.

To carry out the study, a large-scale project of a hospital that was built in Spain with the need to meet the COVID-19 pandemic was taken as a reference, where the Lean Project Delivery System methodology was applied, breaking down each stage of this philosophy and in the end, generating quality product in record time. Showing the solution to the problem already mentioned, instructing, conceptualizing and giving as an example the case study applied in the country of Spain.

Keywords. Project, delivery, schedule, lean philosophy, delays and solution.

Capítulo 1. Métodos de entrega de proyectos de construcción.

1.1. Entrega de proyectos de construcción.

1.1.1. Proyectos de construcción.

Es el documento, o conjunto de documentos, que definen el diseño de una obra civil, y sobre el cual se desarrolla el trabajo de los arquitectos, ingenieros y proyectistas de distintas especialidades. En un proyecto de obra civil se definen las especificaciones técnicas, los requerimientos específicos, las normativas a seguir, los plazos de realización, el presupuesto, los materiales y tecnologías a utilizar, la distribución y el uso de los espacios, etc. (Ferrovial, 2013).

1.1.2. Etapas de un Proyecto de construcción.

Para que un proyecto de construcción pueda hacerse realidad deben cumplirse una serie de pasos, que según Hernán de Solminihac y Guillermo Thenoux en su libro Procesos y Técnicas de Construcción (2018) son los siguientes:

Existencia de una necesidad. Para que un proyecto se origine debe existir una necesidad insatisfecha, la cual puede ser, por ejemplo, un edificio para solucionar un problema habitacional, un puente que permita la comunicación de una zona aislada, un monumento que recuerde algún hecho o persona, etc.

Análisis. En esta segunda etapa se analizan las necesidades, seleccionándose las más relevantes, para la cual se deben considerar los siguientes aspectos:

- Identificar las causas que originan la necesidad de un proyecto, tales como: modificación del medio, política de desarrollo, modificación de las características de la demanda, obsolescencia de la infraestructura existente y requerimiento de nuevas infraestructuras.
- Diseño arquitectónico, normalmente considera las siguientes etapas: establecimiento de requerimientos del dueño, preparación de un anteproyecto y, finalmente el diseño del proyecto arquitectónico definitivo, que incluye planos y especificaciones.
- Diseño estructural de la obra para que sea capaz de resistir esfuerzos a los cuales estará sometida durante su vida útil. Las etapas principales de este diseño son:
    - º Determinación de los esfuerzos que solicitarán a la estructura.
    - º Estructuración, determinación de los elementos resistentes.
    - º Diseño de los elementos estructurales y configuración de planos.
    - º Confección de las especificaciones técnicas.
- Estudios de impacto ambiental, analizando las consecuencias del proyecto en el medio ambiente.
- Diseño de instalaciones, que consiste en dar a la estructura la funcionalidad que requerirá para ser ocupada con el fin para el que se la diseñó. Entre las instalaciones típicas están: las eléctricas, las de gas, las de agua potable y las de alcantarillado y muchas otras (tales como: alarma, climatización, red computacional, red de incendio, etc.)
- Redacción de los documentos de licitación: Finalmente, se deben redactar todos los documentos que permitan llamar a licitación del proyecto.

- Constructabilidad y Mantención: Dos aspectos clave que deben considerarse en esta etapa de diseño. El primero debe incluir en forma explícita la forma más eficiente de materializar el proyecto. El segundo, en cambio, debe hacerse cargo anticipadamente de cómo se va a llevar a cabo la conservación del proyecto durante su operación.

Licitación. Llamado a licitación y adjudicación. El llamado a licitación puede ser público o privado y la adjudicación puede ser previamente reglamentada o ser de absoluto criterio del mandante. La adjudicación a la vez, puede ser negociada o no, dependiendo de las reglas de licitación.

Construcción. Esta etapa es una de las más importantes debido a que en ella se materializa la obra. Las etapas principales incluyen:

- Definición de una estrategia de gestión y calidad.
- Obtención de los permisos para realizar la obra.
- Redacción y aceptación de un contrato, en el cual se fijan plazos, costos y las relaciones entre el dueño y el contratista.
- Metodología de trabajo, en que se determina métodos más eficientes y racionales para la construcción, dado los recursos disponibles.
- Planificación y Programación de la obra, en que se fijan plazos parciales y totales, y se planifica el uso de los recursos disponibles a través de la construcción.
- Estudios de presupuestos.
- Contrato de la fuerza laboral necesaria para construir la obra.
- Adquisición de los materiales y arriendo o compra de la maquinaria necesaria para la materialización.

- Materialización física de la obra.
- Control, donde se confronta lo realizado con lo que se debía haber hecho de acuerdo a lo programado y especificado. Este control puede ser interno (o autocontrol), externo (normalmente controlado por el mandante) o ambos.
- Además, es preciso realizar una auditoría ambiental.

Puesta en marcha. En esta etapa se entrega al servicio la obra, realizándose previamente diferentes controles para determinar la calidad de la construcción, entre los que se destacan:

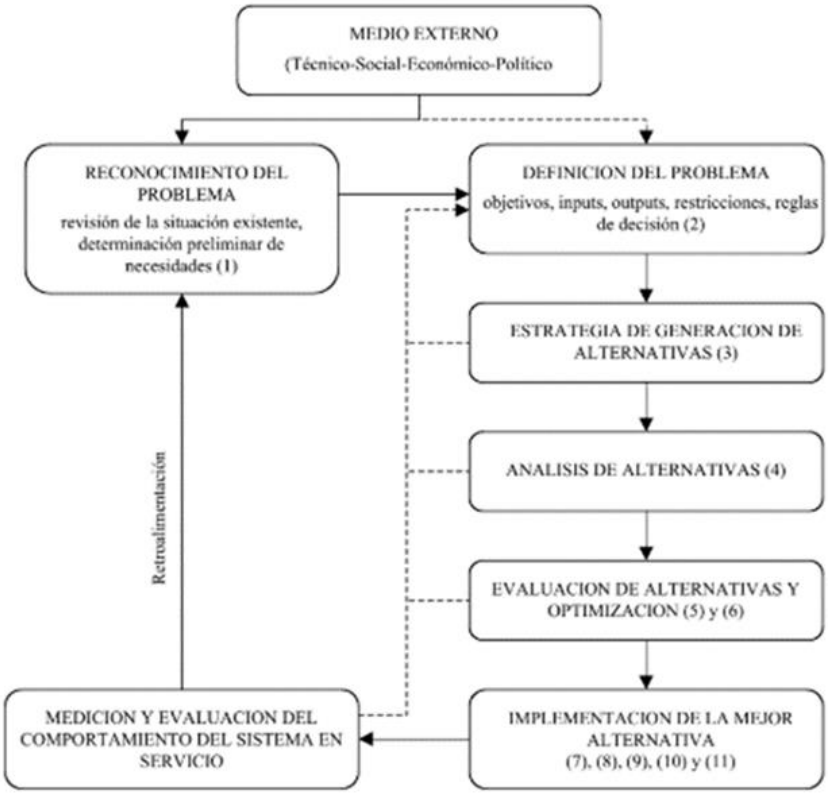
- Verificación de pruebas y ensayos de calidad realizados.
- Revisión detallada de todos los elementos construidos y terminaciones.
- Pruebas de funcionamiento.
- Aprobación final.

Operación y mantenimiento. Esta es una etapa que no siempre es considerada adecuadamente, es importante tener en cuenta la mantención en el tiempo de la obra terminada. Esta actividad cada día está tomando más relevancia pues es fundamental para el buen funcionamiento y durabilidad de la estructura y debería ser considerada desde la etapa de diseño.

Abandono. Muchos proyectos, una vez que su objetivo y vida útil se cumplen, debe abandonarse. Por lo tanto, esta actividad debe pensarse y diseñarse con anticipación, para minimizar, los impactos ambientales y económicos.

Figura 1.

Etapas en el desarrollo de un proyecto.



Nota. El gráfico muestra el desarrollo que debe tener un proyecto.

Estudio de terreno. El estudio del terreno para un proyecto de construcción normalmente consta de:

- *Ubicación del terreno.* La ubicación del terreno debe especificar la siguiente información: ubicación respecto a calles, avenidas y callejuelas vecinas; orientación cardinal; deslindes y accesos. En caso de ser un terreno a campo traviesa se debe especificar hitos, monolitos u otro punto de referencia, que permite identificar los deslindes del sitio.
- *Condiciones propias.* Son las condiciones que posee el terreno en el cual se va a materializar el proyecto, entre las cuales se encuentran: Topografía del terreno, indicando entre otros forma del sitio, conformación de la superficie, pendiente principal y cota respecto a la calle; Características del subsuelo entre las cuales se encuentran: Estratos de subsuelos que indican cuales son las distintas capas del suelo y sus principales características; Nivel de la capa freática (agua subterránea) y variación de la misma, Capacidades de soporte y características de consolidación del subsuelo.
- *Condiciones reglamentarias.* Son las condiciones que están impuestas en determinadas zonas, por la ordenanza general, por disposiciones locales o por leyes específicas, y que reglamentan la forma, tipo, tamaño y lugares para las construcciones en determinado sitio.
- *Condiciones de servicio.* Condiciones que eventualmente son impuestas por los distintos servicios (como, por ejemplo: agua, electricidad y alcantarillado) a una determinada obra. Una empresa de servicio otorga un certificado de factibilidad, e la cual se compromete a que tiene disponibilidad para abastecer la futura obra.

- *Evaluación del impacto ambiental.*

Diseño arquitectónico. Una vez conocidas las características físicas y reglamentarias del terreno, se comienza con el diseño arquitectónico, en el cual consiste en dar forma a las ideas del mandante. Un aspecto importante de esta etapa, ya modo de hacer más eficiente la etapa constructiva, es que el diseño considere elementos estandarizados, sin que el arquitecto tenga que sacrificar su creatividad o la funcionalidad del proyecto. Además, deben incorporarse conceptos de habitabilidad y constructibilidad.

Diseño estructural. Una vez que el proyecto arquitectónico está definido, se debe dotar a la estructura de los elementos necesarios mediante los cuales sea capaz de resistir las solicitaciones a que va a ser sometida durante su vida útil. Un aspecto importante de esta etapa es que algunos diseñadores sin saberlo están definiendo el método constructivo, por lo tanto, esta etapa tiene una influencia importante en la etapa constructiva (por ejemplo: es deseable saber si se consideró prefabricación en el diseño.

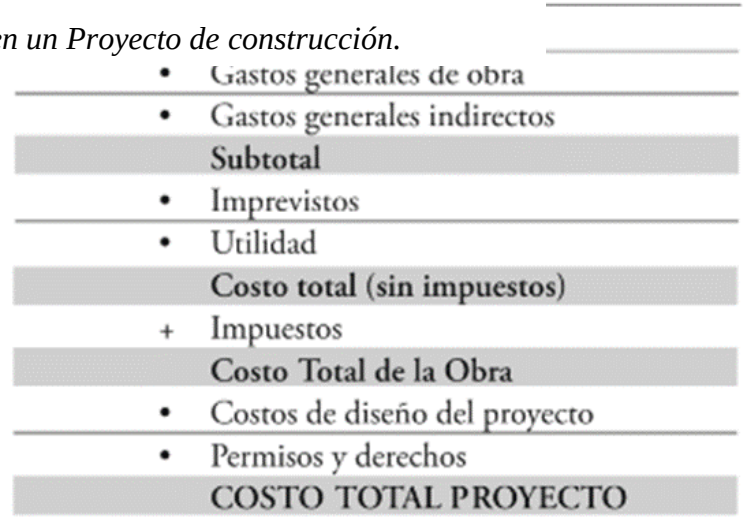
Diseño de instalaciones. Las instalaciones a considerar en cada obra dependen de las especificaciones del proyecto y de las exigencias reglamentarias vigentes, algunas de las instalaciones a considerar en un proyecto de edificación son: Sanitarias públicas, redes de agua potable, alcantarillado y aguas lluvias; Sanitarias domiciliarias, agua fría, caliente y alcantarillado; Alumbrado; Gas; Climatización; Comunicación (voz y datos); Extracción de basura; Otros servicios (ascensores, seguridad, entre otros).

Documentos complementarios. Son documentos que complementa el diseño, entre los cuales se destacan: Especificaciones de arquitectura, normalmente son especificaciones para la etapa de terminaciones, tales como tipo de materiales, artefactos sanitarios, normas constructivas, etc.; Especificaciones técnicas, se precisas calidades de hormigones, calidades de

acero, tipos de cementos, áridos, resistencias, ensayos, etc.; Bases administrativas, contienen todas aquellas cláusulas que están destinadas a definir conceptos, fijar atribuciones. Determinar procedimientos y delimitar responsabilidades, con el fin de que la construcción sea lo más expedita posible; Presupuesto, es el documento en el cual se deja constancia de cuáles serán los costos y utilidades de la obra. Normalmente los principales ítems que se consideran se presentan en la siguiente figura:

Figura 2.

Principales ítems en un Proyecto de construcción.



Nota. Tomado de (Solminihac T. & Thenoux Z., 2018)

Constructibilidad. La etapa de diseño del proyecto es fundamental para el buen resultado de la etapa de construcción y el comportamiento final de la estructura. Un buen diseño que considere la metodología de construcción desde su inicio permitirá que el proyecto se termine en un menor tiempo, a un menor costo y con una mejor calidad en comparación con uno que no haya considerado explícitamente la forma de construcción en su gestación.

1.1.4. Participantes directos en un proyecto de construcción.

Los participantes de un proyecto, según Hernán de Solminihac T y Guillermo Thenoux Z en su libro Procesos y Técnicas de Construcción (2018), pueden ser muy variados, dependiendo de la complejidad del mismo y de los intereses del mandante. El primer participante es el dueño o mandante que es la persona o institución interesada en llevar a cabo el proyecto, el que a su vez puede ser estatal o privado. Los otros participantes pueden clasificar según participen estos en la etapa de proyecto o en la etapa de la construcción.

Durante el estudio y el diseño.

Consultores financieros. Son aquellas personas que asesoran al mandante en lo referido a viabilidad económica del proyecto, incluyendo rentabilidades esperadas, formas de financiamiento, etc.

Arquitectos. En general son los profesionales encargados de darle forma física a la idea original del mandante. La profesión del arquitecto los faculta para proyectar, además pueden dirigir y fiscalizar la construcción de edificios y efectuar los cálculos de su estabilidad y de sus instalaciones complementarias.

Ingenieros. Son normalmente los responsables de diseñar estructuralmente el proyecto, de modo que resista las solicitaciones a que se verá sometida durante su vida útil. Ellos son generalmente los encargados de diseñar las instalaciones necesarias para la obra. Además, pueden participar proyectistas eléctricos, sanitarios, etc.

Durante la construcción participan

Empresas constructoras. Son las encargadas de materializar el proyecto en el terreno, siguiendo los planos y especificaciones que les entrega el mandante. Para lograr este objetivo los profesionales de esta empresa deben manejar de forma óptima diversos recursos, entre los que se destacan: mano de obra, equipos, materiales y financiamiento, de modo que además de lograr la realización del proyecto, se cumplan los objetivos de costo, calidad y plazo a que se comprometen.

Finalmente, participan otras entidades, tales como: la inspección técnica del mandante, organismos reguladores, los proveedores, los laboratorios de control de calidad, abogados, entidades de seguros, entidades ambientales, etc. (Solminihac T. & Thenoux Z., 2018)

1.2. Métodos de entrega de proyectos.

1.2.1. Entrega de proyectos de construcción.

La entrega de proyectos se refiere al proceso integral de realización y finalización de proyectos como la construcción o renovación de una instalación o edificio, entre otros. Requiere una cuidadosa planificación, diseño y medidas de construcción por parte de diferentes actores. El sistema de entrega de proyectos requiere múltiples funciones, normas y un conjunto definido de procedimientos para proceder. (Safety, 2023)

1.2.2. Fases de una entrega de proyecto.

Tanto si se trata de una instalación a pequeña escala como de una subdivisión residencial a gran escala, todo proyecto pasa por cuatro fases. He aquí un recorrido por las etapas de la entrega de un proyecto de construcción. (Safety, 2023)

Figura 3.

Fases de una entrega de proyectos.



Nota. En la gráfica se puede apreciar las fases que se deben cumplir para realizar una entrega de proyecto. Tomado de (Safety, 2023), https://safetyculture.com/es/temas/entrega-de-proyectos/

Planificación. Todo proyecto exitoso comienza con un plan sólido. Esta fase de ejecución del proyecto implica el desarrollo y la organización de una estrategia para llevar a cabo el proyecto. En esta fase, el propietario también decide cómo se desarrollará el proyecto de principio a fin. (Safety, 2023)

Un plan de proyecto completo incluye los siguientes elementos:

- Metas y objetivos.
- Alcance del proyecto.
- Análisis de las partes interesadas.

- Plan de trabajo y estructura de desglose.
- Estructura de comunicación e información.
- Plan y gestión de horarios.
- Evaluación y gestión de riesgos.

Diseño. Una vez completado el plan, el proceso pasa a la fase de diseño. El equipo de diseño desarrolla el plano y los fundamentos según los objetivos y requisitos del proyecto. También presentan su caso de negocio, que incluye los siguientes aspectos: (Safety, 2023)

- Especificaciones de diseño (planos, exposiciones, etc.)
- Resultados (técnicos, de gestión de proyectos, etc.)
- Presupuesto y calendario estimado.

Aplicación. Tras la fase de diseño, el proyecto está en camino de ser completado. En otras palabras, la fase de aplicación es donde se produce la mayor parte del trabajo. La construcción y la supervisión suelen tener lugar en esta fase. Los contratistas trabajan en la obra y realizan el diseño previsto en la fase anterior. El ritmo de ejecución dependerá de distintos factores, como los objetivos del proyecto, el calendario y los cambios que requiera el propietario. (Safety, 2023)

Cierre de entrega. La entrega del proyecto no termina cuando se construye la instalación o cuando se terminan las obras de remodelación o renovación. Aquí es donde entra la fase de cierre, como culminación de todo el proceso. En esta fase se concluyen todas las tareas y actividades relacionadas con la entrega del proyecto, como las siguientes: (Safety, 2023)

- Evaluar los resultados con respecto a los objetivos y las metas en la fase de planificación.

- Cumplir con todos los requisitos administrativos.
- Evaluar el rendimiento de los equipos de proyecto.
- Tomar nota de las lecciones aprendidas a lo largo del proceso.

1.2.3. Métodos de entrega de proyectos de construcción.

Diseño – Licitación – Construcción. El modelo de diseño-licitación-construcción es el método más popular de entrega de proyectos. En este método, el propietario contrata a un diseñador y a un contratista por separado. Sigue una secuencia tradicional y los papeles no se solapan. He aquí un resumen del proceso: (Safety, 2023)

- El diseñador crea los planos y las especificaciones de acuerdo con los objetivos y la visión del propietario.
- Una vez completado el diseño, el proyecto se abre a la licitación. Los contratistas generales presentan sus ofertas y el propietario selecciona la mejor del grupo de licitación.
- El contratista seleccionado comienza a trabajar en el proyecto.

Figura 4.

Método de diseño-licitación-construcción (DBB).



Nota. Entes interesados e involucrados en el método de diseño-licitación-construcción. Tomado de (Safety,2023), https://safetyculture.com/es/temas/entrega-de-proyectos/

Diseño – Construcción. El diseño-construcción se ha convertido en una alternativa popular al proceso tradicional de DBB. En lugar de tener un diseñador y un contratista por separado, este método combina ambas funciones en una sola, denominada diseño-construcción. Reduce los largos plazos del método tradicional, por lo que es ideal para los proyectos de vía rápida. (Safety, 2023)

Figura 5.

Método de diseño-construcción (DC)



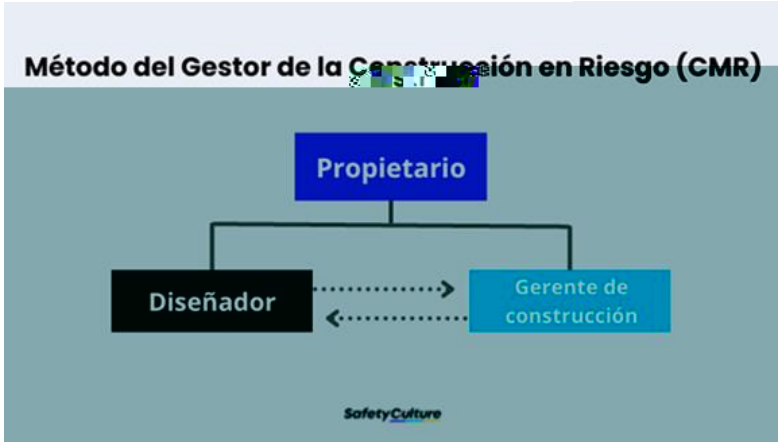
Nota. Entes interesados e involucrados en el método de diseño-construcción. Tomado de (Safety,2023), https://safetyculture.com/es/temas/entrega-de-proyectos/

Gestor de la construcción en riesgo (CMR). Este método se asemeja al modelo DBB, pero con una gran diferencia. En el modelo CMR, el propietario contrata a un director de obra (CM) para que supervise todo el proyecto y le ayude a cumplir sus objetivos. Este método es ideal para quienes desean la ayuda de un profesional con experiencia específica en la realización de proyectos. En este método, el propietario proporciona el diseño inicial y deja los detalles de gestión al CM. Para el resto del proceso, el CM es responsable de: (Safety, 2023)

- Consultar a los diseñadores para sus planes de diseño.
- Creación del cronograma del proceso.
- Cálculo del Precio Máximo (PM)
- Seguimiento del presupuesto y no superación del GMP.
- Selección de contratistas que satisfagan las necesidades del propietario.
- Supervisión de la calidad del trabajo durante la construcción.
- Coordinar cualquier cambio requerido por el propietario.

Figura 6.

Método del gestor de la construcción en riesgo (CMR)

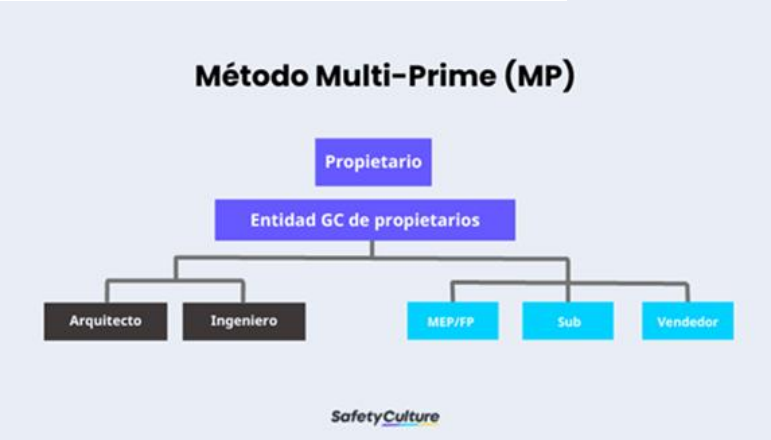


Nota. Entes interesados e involucrados en el método del gestor de la construcción en riesgo. Tomado de (Safety,2023), https://safetyculture.com/es/temas/entrega-de-proyectos/

Multi – Prime (MP). Este método se distingue del resto, ya que el propietario actúa como contratista general. Contratan directamente a las empresas para las fases de diseño y construcción. Por ejemplo, los propietarios se pondrán en contacto con un estudio de arquitectura para diseñar el proyecto y con contratistas especializados para necesidades específicas. (Safety, 2023)

Figura 7.

Método multi-prime (MP)

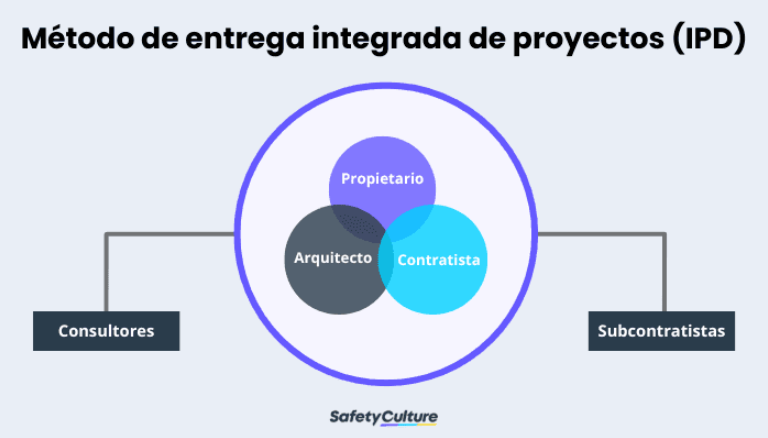


Nota. Entes interesados e involucrados en el método multi-prime. Tomado de (Safety,2023), https://safetyculture.com/es/temas/entrega-de-proyectos/

Entrega Integrada De Proyectos (IPD). El método de entrega de proyectos integrados sitúa la colaboración y el trabajo en equipo en el centro de sus operaciones. Este método emergente integra las funciones de diseñadores, contratistas y otros miembros del equipo para optimizar la entrega del proyecto. En lugar de trabajar por separado, el equipo une sus fuerzas incluso en las primeras fases del proceso. Cada uno de ellos desempeña un papel en todo el proceso, desde el diseño hasta la construcción. Todo se comparte en todos los equipos, desde la información y las responsabilidades hasta las responsabilidades y los logros. (Safety, 2023)

Figura 8.

Método de entrega integrada de proyectos (IPD)



Nota. Entes interesados e involucrados en el método de entrega integrada de proyectos. Tomado de (Safety,2023), https://safetyculture.com/es/temas/entrega-de-proyectos/

Capítulo 2. Comparación entre el Lean Project Delivery System y el sistema tradicional utilizado en Colombia.

2.1. Lean Project Delivery System.

2.1.1. Relación directa entre la filosofía Lean Construction y Lean Project Delivery System.

Reseña histórica de la filosofía Lean Construction. El término "lean" se origina en el Japón a fines de la década de los 50 e inicios de los 60, como producto de las investigaciones realizadas por ingenieros de la empresa ensambladora de automóviles Toyota Motor, que pretendía mejorar su línea de producción. Uno de los más reconocidos en el tema fue el ingeniero Taiichi Ohno, encargado de la producción, quien buscaba eliminar los residuos y mejorar los tiempos de entrega de los automóviles a los clientes sustituyendo la tradicional producción en masa por la producción a pedido del cliente y evitar, además, la acumulación de mercancía. Con las investigaciones se desarrolló lo que se conoce como "producción Lean" o "producción sin pérdidas", que comprende una gran variedad de sistemas de producción que comparten el principio de minimización de pérdidas. (Porras Díaz, H., Sánchez Rivera, O. G., & Galvis Guerra, J. A, 2014)

Definición de Lean Construction. Según el Lean Construction Institute (ILC), Lean construction es una filosofía que se orienta hacia la administración de la producción en construcción y su objetivo principal es reducir o eliminar las actividades que no agregan valor al proyecto y optimizar las actividades que sí lo hacen, por ello se enfoca principalmente en crear herramientas específicas aplicadas al proceso de ejecución del proyecto y un buen sistema de producción que minimice los residuos. (Lean Construction Institute, 2013)

Lean Construction clasifica los residuos como lo muestra la figura 9.

Figura 9.

Desperdicios en la producción.

Desperdicios en la construcción
Defectos
Demoras
Excesos de procesado
Exceso de producción
Inventarios excesivos
Transporte innecesario
Movimiento no útil de personas

Nota. Se presentan los desperdicios que se generan durante el proceso de construcción. Tomada de (Porras Díaz, H., Sánchez Rivera, O. G., & Galvis Guerra, J. A, 2014)

Lean Construction es una nueva forma de ver la producción, no un modelo o unos pasos establecidos que se deban seguir; lo que se pretende es entender sus principios y aplicarlos en la creación y uso de herramientas “Lean” para la gestión de los proyectos constructivos, en donde las herramientas son la aplicación de los principios teóricos a la práctica profesional. (Porras Díaz, H., Sánchez Rivera, O. G., & Galvis Guerra, J. A., 2014)

El uso de esta nueva filosofía está incrementándose en todo el mundo. Sin embargo, la forma particular de implementarlo en cada nación determinará como se deben organizar las partes interesadas del proceso, para que la ejecución material del proyecto se pueda estructurar dentro del concepto de manejo de LC. Su objetivo es lograr una construcción sin accidentes, sin desperfectos a los equipos, instalaciones, entorno y comunidad, que sea de acuerdo al contrato, sin errores, en el plazo pactado, respetando costos y con un enfoque hacia la reducción de las

pérdidas, es decir, hacia las actividades que no generen valor. (Pérez Gómez Martínez, GJF, Del Toro Botello, HY, & López Montelongo, AM 2019)

Relación directa entre Lean Construction y Lean Project Delivery System. La filosofía integral de la construcción sin pérdidas se concreta en el modelo LPD ("lean project delivery"), cuya misión es desarrollar el mejor camino posible para diseñar y construir infraestructuras. El marco general del modelo viene definido por la intersección entre los proyectos y los sistemas de producción; suele designarse a este dominio como el de los sistemas productivos basados en proyectos (o por proyectos). (Alarcón, L. F., & Pellicer, E., 2009)

Como parte del desarrollo de la filosofía Lean Construction en el marco de crear herramientas Lean para la mejora de la gestión de los proyectos de construcción, se analiza como contrasta con el modelo tradicional de ejecución de proyectos diseño-licitación-construcción, en cuanto a cuál es la mejor forma de organización arquitecto, cliente y constructor en las fases de desarrollo del proyecto. La base teórica del modelo Integrated Project Delivery IPD propone unificarlos en la fase de diseño para obtener el máximo entendimiento del proyecto para que la fase de construcción se desarrolle sin choques entre el arquitecto y el constructor. Al aplicarle Lean construction al modelo IPD se convierte en el sistema de ejecución de proyectos Lean Project Delivery System (LPDS) el cual propone la metodología para desarrollar los proyectos de construcción bajo cinco fases y 12 etapas Lean en las cuales también se fomenta el desarrollo de herramientas que contribuyan con la generación de valor. (Porras Díaz, H., Sánchez Rivera, O. G., & Galvis Guerra, J. A., 2014)

La filosofía Lean Construction dio origen al modelo Lean project Delivery System, el cual aplica principios y herramientas basados en la construcción con el objetivo de facilitar la planificación, control, reducción de pérdidas y maximizar el valor en todo el proceso de

construcción, aplicando los conceptos y métodos utilizados por el Sistema de Producción de Toyota. (Barriga Nieves, PC., 2016)

2.1.2. Definición del método de entrega de proyectos: Lean Project Delivery System.

El LPDS es un marco conceptual desarrollado por Glenn Ballard (Ballard 2008) que adapta los principios del sistema de producción de Toyota a todas las fases del proyecto de construcción. Consiste en una serie de conceptos, métodos, herramientas, técnicas y procedimientos para la toma de decisiones. Se debe tomar en cuenta que se pueden combinar las herramientas, técnicas y prácticas de los diversos sistemas de gestión, los cuales son compatibles entre sí (Brioso 2015b; Brioso 2015c). El LPDS tiene por objetivo orientar a la ejecución de proyectos de construcción sin pérdidas en las fases del ciclo de vida de una edificación. El LPDS se representa mediante un modelo que contiene fases y módulos. Cinco fases que son interdependientes por lo que comparten un módulo: la definición del proyecto, el diseño lean, el abastecimiento lea, la ejecución lean y el uso (vida útil del proyecto). (Vásquez Cáceres, M., 2018)

Con el modelo LPD, la filosofía Lean Construction abarca toda la vida del proyecto constructivo, y al integrar la fase de diseño con la fase de producción, une a todos los agentes implicados en un proceso colaborativo continuo, cuyo objetivo es generar valor al proyecto. al cliente. (Garcés, G., & Peña, C., 2022)

En uno de sus artículos para el Lean Construction Institute, Ballard (2000) explica que el LPDS es un conjunto de funciones interdependientes, reglas para la toma de decisiones, procedimientos para la ejecución de funciones, con ayudas y herramientas de implementación, incluyendo el software cuando sea apropiado. (Castillo Álvarez, A., 2021).

2.1.3. Características fundamentales del Lean Project Delivery System.

Las características fundamentales del sistema de gestión LPDS son las siguientes (Ballard, 2000):

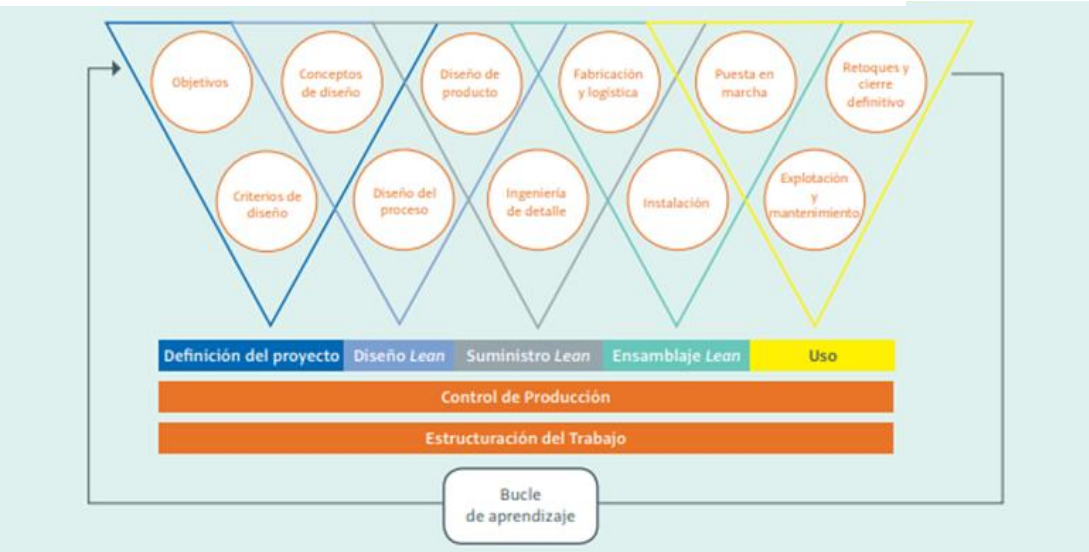
- El proyecto se estructura y gestiona como un proceso de generación de valor.
- Las partes interesadas están involucradas en la planificación y diseño iniciales a través de equipos multifuncionales.
- La fase de control del proyecto tiene la misión de actuar o ejecutar de forma preventiva en vez de depender de la detección una vez se ha producido la variabilidad.
- Los esfuerzos de optimización se centran en conseguir que el flujo de trabajo sea fiable y estable y no tanto en mejorar la productividad.
- Se utilizan técnicas Pull para gestionar el flujo de materiales e información a través de la cooperación de redes de especialistas.
- Se utiliza la gestión de la capacidad y los inventarios para absorber la variabilidad.
- Se incorporan bucles de retroalimentación en todos los niveles, dedicados al aprendizaje y a la mejora continua.

2.1.4. Estructura del Lean Project Delivery System.

Tradicionalmente, los proyectos han sido entendidos en términos de fases, por ejemplo: prediseño, diseño, contratación y ejecución. Algunas de las principales diferencias entre la ejecución de un proyecto tradicional y uno según el Lean Project Delivery System se refieren a la definición de las fases, la relación entre fases y los participantes en cada una de ellas. (Pons Achell, J. F., 2014)

Figura 10.

Fases del proyecto según LPDS



Nota. Estructura que toma un proyecto aplicándole la metodología de entrega LPDS. Tomada de (Pons Achell, J. F., 2014)

2.1.5. Fases del proyecto según Lean Project Delivery System.

A continuación, se definirán las fases que debe tener un proyecto aplicando la metodología Lean Project Delivery System:

Definición del proyecto. Según (PONS ACHELL, 2014, pág. 39) nos dice que, es la fase donde los profesionales y el cliente define el propósito, la determinación de los costos permitidos, es decir la cantidad máxima que puede soportar el proyecto basándose en un costo teórico. El costo esperado es la cantidad que se espera que el proyecto cueste, y es por lo general más alto que el coste objetivo. (Carhuallanqui Cachuan, J., 2019).

Costo permitido ≥ costo esperado ≥ costo objetivo

Para alcanzar el coste objetivo se utilizan objetivos adicionales como la factibilidad de la construcción, el montaje, la flexibilidad, la sostenibilidad, la durabilidad y así sucesivamente. En cada hito, el propietario decide si el proyecto avanza y al final de la fase de definición del proyecto, el plan de negocios se completa y valida. (Pons Achell, J. F., 2014)

Diseño Lean. Según (PONS ACHELL, 2014, pág. 39) nos dice "el grupo de trabajo crea múltiples alternativas para el diseño teniendo en cuenta las limitaciones y objetivos del proyecto. El objetivo es encontrar un diseño que nos dé un valor máximo al cliente y reducir perdidas; basándose a la toma de decisiones anticipadas que nos optimiza y mejora los proyectos. (Carhuallanqui Cachuan, J., 2019).

Asimismo, durante la fase de diseño se completa el desarrollo del Programa Maestro y el Diseño de Procesos. Mientras se examinan los diseños, los usuarios finales/clientes pueden revisar los modelos físicos o virtuales para alinear el uso real con el diseño, lo que permite seguir los requisitos funcionales. El diseño Lean también se desarrolla a través de la comunicación, esta vez dedicada a desarrollar y alinear el diseño del producto y el diseño del proceso a nivel de sistemas funcionales. (Pons Achell, J. F., 2014)

Suministro Lean. Según (PONS ACHELL, 2014, pág. 40) nos dice que, el que solo se debe de producir la cantidad necesaria y en el tiempo necesario y planificado evitando o eliminando muchos desperdicios. (Carhuallanqui Cachuan, J., 2019).

El suministro Lean consiste en ingeniería de detalle, fabricación y entrega, lo que requiere como prerrequisito indispensable el diseño del producto y del proceso para que el sistema conozca con detalle lo que debe producir y cuándo entregar esos componentes. Los planes de la cadena de suministro están diseñados para facilitar la entrega Just-in-Time de materiales a la obra. La filosofía detrás de estos acuerdos es suministrar sólo lo necesario, puntualmente en el tiempo requerido, solo en la cantidad necesaria. (Pons Achell, J. F., 2014)

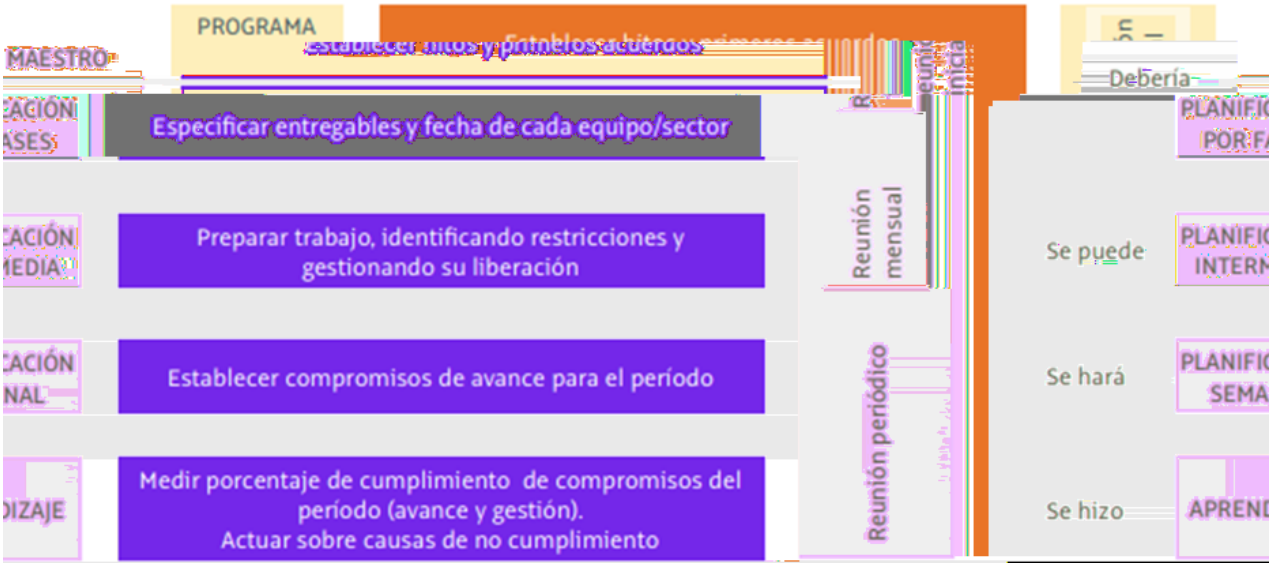
El sistema del último planificador (LPS) ha demostrado ser una herramienta que contribuye al suministro Just-in-Time durante el transcurso de la obra, eleva el nivel de estabilidad y por lo tanto reduce la variabilidad respecto a las condiciones iniciales a lo largo de toda la ejecución del proyecto. Por otra parte, los flujos de trabajo estables permiten eliminar muchos tipos de desperdicio. (Pons Achell, J. F., 2014)

Sistema de último planificador SUP. (Last Planner System). El SUP es posiblemente la técnica más divulgada dentro de la filosofía “Lean Construction”; está centrada en la fase de ejecución, concretamente en la obra (Ballard y Howell, 2003). Este sistema fue desarrollado en Estados Unidos por miembros del Lean Construction Institute (Ballard, 1994 y 2000; Ballard y Howell, 1998) y ha tenido una amplia difusión a nivel mundial. El SUP no es una herramienta que reemplace o compita con los métodos tradicionales de barras y de redes, si no que los complementa y enriquece mejorando la variabilidad y los flujos de trabajo.

Este sistema pretende incrementar la confiabilidad de la planificación y, por tanto, incrementar el desempeño en la obra; para ello, el sistema provee herramientas de planificación y control efectivas. El SUP está especialmente diseñado para mejorar el control de la incertidumbre en las obras; esto se consigue aplicando acciones concretas en los diferentes niveles de la planificación (Alarcón y Pellicer, 2009). (Rodríguez Fernández, A. D., Alarcón Cárdenas, L. F., & Pellicer Armiñana, E., 2011)

Figura 11.

Cuadro resumen del Last Planner System



Nota. En esta figura se identifica qué es y para qué sirve el Sistema De Último Planificador. Tomada de (Pons Achell, J. F., 2014).

Montaje o ejecución Lean. El ensamblaje o ejecución de obra Lean se inicia con la entrega de información, materiales, mano de obra, herramientas, o componentes necesarios para la ejecución en la obra o instalación y termina con la finalización de las instalaciones y puesta en marcha del edificio o infraestructura. Durante la fase de montaje o ejecución, el sistema del último planificador se utiliza para controlar la producción y mantener el flujo continuo de

materiales e información a lo largo de toda la obra a medida que esta avanza según un sistema Pull que tira a través de la planificación o programación. (Pons Achell, J. F., 2014)

Fase de uso y mantenimiento. El ensamblaje concluye cuando el cliente tiene un uso beneficioso de la instalación o edificio, que por regla general se produce después de la entrega y puesta en marcha del edificio, instalación o infraestructura. Esta fase termina con el cierre de la obra, los retoques definitivos, y la explotación y mantenimiento del edificio o instalaciones. (Pons Achell, J. F., 2014)

Target Costing o costo objetivo. Mientras que una empresa con un modelo de gestión tradicional tiende a dirigir su negocio basándose principalmente en costes y beneficios, las empresas Lean ponen su punto de atención en el valor que pueden crear para el cliente y el beneficio de toda la cadena de valor. Target Costing permite a las empresas Lean dirigir su negocio desde el valor del cliente. Así pues, Target Costing empieza trabajando estrechamente con los clientes, tratando de comprender sus necesidades y cómo la empresa puede crear más valor para el cliente. Desde esta comprensión de cómo se crea valor para el cliente, los líderes de la empresa Lean dirigen las actividades de mejora hacia los flujos de valor para crear más valor, eliminar desperdicio e incrementar la productividad. Dicho esto, el punto ideal de comienzo del Target Costing es cuando estamos diseñando un nuevo producto, de ahí que se haya convertido en una herramienta clave de Lean Construction y del LPDS en la fase de “Definición del Proyecto”. (Pons Achell, J. F., 2014)

Figura 12.

Principios del Target Costing.

PRINCIPOS DEL *TARGET COSTING*	
Coste dirigido por el precio	Se refiere a cómo el cliente valora los productos, servicios y otros atributos de la empresa.
Focalización en los clientes y mercados	Integración entre el personal de marketing, ventas y procesos, incluso cuando estos procesos no están organizacionalmente alineados al flujo de valor.
Focalizado en el diseño	Integración con el diseño del producto. La mejor manera de llevar productos de alto valor y bajo coste al mercado es diseñarlos de esta manera. Esto requiere una profunda integración entre ventas/marketing, operaciones, y diseño/desarrollo de producto.
Metodología de mejora multifuncional	Amplia integración de la empresa para incrementar el valor al cliente. Incluye: operaciones, marketing, diseño de producto, servicio al cliente, proveedores y otros.
La mejora viene a través del flujo de valor	Las organizaciones *Lean* lo focalizan casi todo en torno a los flujos de valor. Lo que conduce a una mejora substancial e integrada es la comprensión del proceso entero de creación de valor para el cliente.
Contrastar costes con valor del cliente	*Target Costing* nos permite comprender dónde y cómo creamos valor para el cliente, entonces lo contrasta con el dónde y cómo reducimos costes. Esto conduce a focalizar los cambios para incrementar valor y reducir coste.

Nota. Tomado de (Pons Achell, J. F., 2014)

¿Cómo funciona el Target Costing? Target Costing empieza con las necesidades del cliente. Primero necesitamos comprender qué crea valor para el cliente. Este valor se crea no solo por el producto en sí mismo sino por el conjunto de servicios y otros aspectos del negocio que añaden valor al cliente. Una vez conocemos el valor que estamos creando para el cliente, podemos fijar un precio que refleje ese valor. (Pons Achell, J. F., 2014)

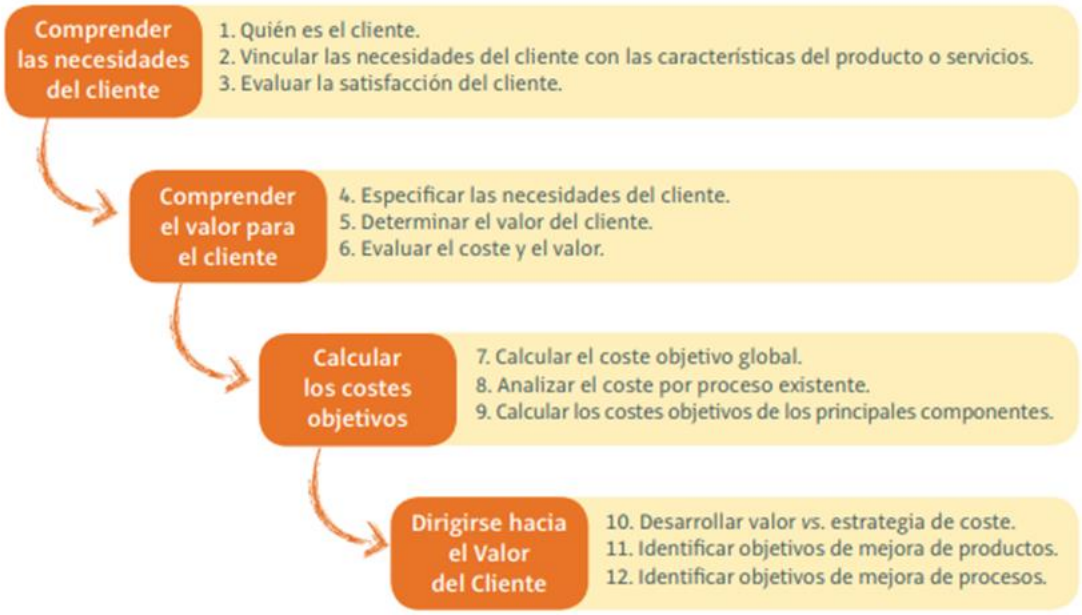
En segundo lugar, necesitamos calcular el coste permitido, que es el precio de venta menos el margen de beneficio requerido para el producto o servicio. El porcentaje de beneficio requerido se asigna como parte del plan de negocio general o estratégico de la empresa. Para tener éxito tenemos que vender el producto a un precio que se ajuste por un lado a las necesidades de valor del cliente y por otro, a los márgenes de beneficio que necesita la empresa. (Pons Achell, J. F., 2014)

Una vez se establece el coste permitido, entonces comparamos este coste con el actual promedio del coste de la cadena o flujo de valor y calculamos la diferencia. Si el coste de producción es superior al coste permitido, entonces necesitaremos establecer mejoras para llevar los costes reales en línea con los costes autorizados o permitidos, y así lograr el precio de venta de acuerdo con el valor que estamos generando para los clientes. (Pons Achell, J. F., 2014)

El resultado del proceso de Target Costing es un plan de acción práctico. El plan de acción a menudo incluye cambios en la manera en que comercializamos y vendemos el producto o servicio, en el coste de material de los productos, en el diseño del producto y en las operaciones y la logística que usamos para llevar el producto al mercado. El impacto práctico del Target Costing se extiende a través de toda la cadena de valor. (Pons Achell, J. F., 2014)

Figura 13.

Los 12 pasos del Target Costing. Adaptado de B. Maskell (2012)



Nota. Tomado de (Pons Achell, J. F., 2014)

2.2. Sistema tradicional utilizado en Colombia: Diseño-Licitación-Construcción.

Es el método tradicional. Es un proceso lineal donde una tarea precede a otra sin ningún traslape. Bajo esta modalidad se contrata a un arquitecto o ingeniero para preparar planos detallados y especificaciones antes de recibir las ofertas de los contratistas generales. El arquitecto o ingeniero puede tener múltiples responsabilidades, incluyendo la elección de los consultores, pero su responsabilidad principal es la de proporcionar y coordinar los documentos de diseño y construcción del proyecto. Una vez que la documentación está completa, el proyecto es licitado por los contratistas. La elección del contratista general se basa en los resultados de la licitación, adjudicando el proyecto al que tenga el menor costo. Cualquier cambio en los planos o especificaciones son administrados como extras. (Vargas, A., 2005).

De acuerdo a ello, en primer lugar, se desarrolla el diseño, posteriormente se licita y la empresa adjudicataria construye el proyecto, sobre el cual no tiene ninguna responsabilidad en cuanto al diseño ni en cuanto a los posibles errores u omisiones existentes en el mismo. Por tanto, esto puede ser un posible foco de generación de incrementos de costo. Por otra parte, el carácter secuencial del desarrollo del proyecto y el número de departamentos y responsables implicados en cada una de las fases de diseño, licitación y construcción hace que pueda transcurrir un largo periodo desde que el proyecto se ha diseñado, hasta que se inicia su ejecución. El paso del tiempo entre el diseño y la construcción y su total desvinculación puede ser también un factor generador de modificaciones de obra. (Alarcón, L. F., Wegmann, A., & Calahorra, M., 2017)

2.2.1. Fases del método de entrega de proyectos: Diseño – Licitación – Construcción.

Figura 14.

*Flujo tradicional para la entrega de proyectos de construcción***.**



Nota. Se representa las fases que adopta un proyecto utilizando el método de entrega diseño-licitación-construcción. Tomada de (Cámac Leonardo, Luis Miguel., 2015).

Fase de Diseño. En esta fase el propietario contrata a una empresa de arquitectos o profesionales independientes para elaborar el diseño conceptual de la construcción, basada en las necesidades y requerimientos del propietario se desarrolla un conjunto de planos con cortes y elevaciones del proyecto. En este punto se elabora los planos de arquitectura que definen los tipos de especialidades que tendrán que intervenir en el proyecto. Teniendo los planos de arquitectura el propietario contrata a una empresa o especialista para hacer el diseño estructural, así también contratar a otros especialistas para elaborar las demás especialidades según indique el proyecto. (Cámac Leonardo, Luis Miguel., 2015).

Fase de Licitación. En esta fase el propietario contrata a una empresa especializada para administrar la concesión del proyecto, esta empresa a su vez haciendo uso de los documentos gráficos y especificaciones técnicas obtenidas en la etapa anterior, elije a las empresas

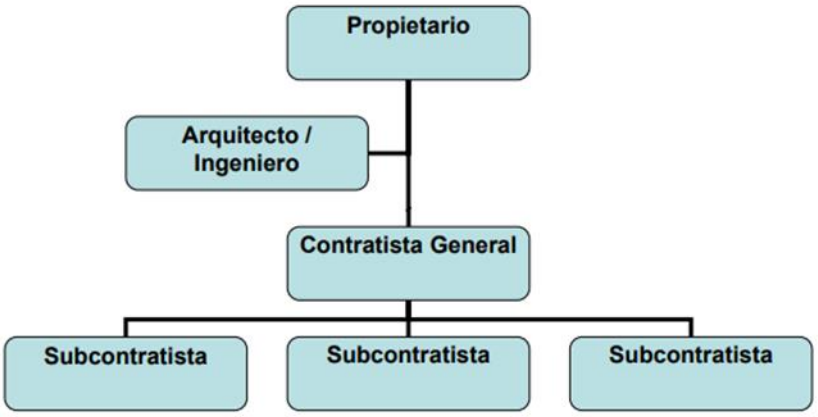
potenciales a desarrollar el proyecto y los invita a participar. Cada participante envía los presupuestos y cronogramas estimados. La empresa encargada de la administración del proyecto evalúa y elije un ganador, se firma un contrato con los montos, duración y demás especificaciones diversas para luego dar inicio a la siguiente fase. (Cámac Leonardo, Luis Miguel., 2015).

Fase de Construcción. En esta fase es cuando se inicia la construcción del proyecto y también donde normalmente afloran los problemas que implica esta estructura. Se logra construir con muchas interferencias durante la vida del proyecto, encontrando incompatibilidades e interferencias entre especialidades que crean incertidumbre y afectan directamente al costo final y duración del mismo. Esto ocurre al no existir una fase intermedia entre la de diseño y licitación, que se dedique a hacer la compatibilización de todas las especialidades que intervienen en el proyecto, y que ponga en comunicación a los distintos especialistas para enviar a licitación un proyecto más limpio y eficiente. (Cámac Leonardo, Luis Miguel., 2015)

En la etapa de construcción del casco es donde se encuentran muchas incoherencias entre los planos de arquitectura y estructura, lo cual genera incertidumbre en el personal obrero, ingenieros a cargo y supervisores. (Cámac Leonardo, Luis Miguel., 2015)

Figura 15.

Estructura del método de Diseño-Licitación-Construcción.



Nota. Organigrama que adopta un proyecto de construcción utilizando la metodología Diseño-Licitación-Construcción. Tomada de (Vargas, A., 2005).

2.3. Comparación entre el método de entrega de proyectos Lean Project Delivery System y el método Diseño-Licitación-Construcción.

2.3.1. Ventajas.

A continuación, se mostrarán las ventajas de los dos métodos en estudio mediante un cuadro comparativo.

Tabla 1.

Ventajas del Lean Project Delivery System vs Diseño-Licitación-Construcción.

VENTAJAS	
Lean Project Delivery System	**Diseño – Licitación - Construcción**
Entrega de proyectos en los plazos establecidos.	Alcance definido.
Ahorro de costes en obra.	Monto fijo de contrato. El contratista asume variaciones del costo si no se presentan errores de diseño u omisiones, ni cambios por parte del propietario.
Mejor gestión de los riesgos.	Claridad en la definición de roles y responsabilidades.
Mejora de la calidad.	Se acepta el precio más bajo.
Seguridad en obra.	Apto para el sector público.
Organización eficiente y motivada.	Fácil de administrar en edificaciones simple o cuando el presupuesto es crítico pero el programa no lo es.

Nota. Autor.

2.3.2. Desventajas.

A continuación, se mostrarán las desvenatajas de los dos métodos en estudio mediante un cuadro comparativo.

Tabla 2.

Desventajas del Lean Project Delivery System vs Diseño-Licitación-Construcción.

DESVENTAJAS	
Lean Project Delivery System	**Diseño – Licitación- Construcción**
Desconocimiento del método por parte de la industria de la construcción	Propenso a sorpresas en el día de la licitación, problemas constructivos y un alto número de cambios porque no hay aporte del contratista durante el diseño. Control mínimo sobre la elección del contratista y ningún control sobre la elección de subcontratistas. Mayor tiempo de entrega porque la construcción no puede iniciar hasta que los planos y especificaciones estén completos, aprobados y licitados. No apto para proyectos complejos, propensos a cambios en el programa de trabajo. Puede requerir rediseño o un nuevo proceso de licitación para cumplir con el presupuesto.

Nota. Autor.

2.3.3. Modalidad de contratación.

En la industria de la construcción se ha venido utilizando modelos tradicionales a la hora de la entrega de proyectos uno de ellos es el de diseño, oferta y construcción (DOC). (LOSNCP, 2009). Este tipo de modalidad ha generado problemas de retrasos que en general se desarrollan bajo un ambiente donde cada empresa participante busca obtener los mayores beneficios con el menor esfuerzo posible, en una estructura jerárquica vertical (diseñador- constructor - propietario), donde cada actor se aboca al desarrollo del trabajo propio involucrándose escasamente con otras especialidades. (Ramírez Latorre, AC y Jara Macías, LM., 2018).

De esta manera se hace evidente que las fallas en los proyectos se presentan por muchas causas, siendo algunas de ellas la mala planeación, la mala comunicación entre los integrantes del proyecto, la falta de control al alcance del proyecto, la falta de madurez en la cultura de proyectos de la organización y el desconocimiento en la dirección de proyectos, además de la falta de recursos humanos capacitado y calificado tanto para la gestión y gerencia del proyecto como en la ejecución del proyecto, entre muchas otras ya que son las que evitan que el resultado del proyecto sea exitoso. (Ramírez Latorre, AC y Jara Macías, LM., 2018).

Por otro lado, una buena gestión de proyectos es un aspecto fundamental en las competitivas organizaciones hoy en día, donde cada vez los mercados son más exigentes y existe una amplia oferta, por lo que, si una empresa quiere sobresalir en el medio en el que se desempeña, ésta deberá superar todos los obstáculos con innovación y calidad, teniendo proyectos exitosos en todos los aspectos (tiempo, costo, recursos etc.), evitando la mala planificación con una buena gestión y liderazgo. (Ramírez Latorre, AC y Jara Macías, LM., 2018).

Son numerosos los países los que están introduciendo formas de gestión diferentes a las tradicionales, con las que han obtenido resultados de mejora en los proyectos de infraestructura desarrollados. Uno de los métodos es Lean Project Delivery (LPD), presentada en el año 2007, por The American Institute of Architects (AIA) que busca dar solución a los principales problemas que generan las estrategias de ejecución comúnmente utilizadas (DB, DBB). (Ramírez Latorre, AC y Jara Macías, LM., 2018).

Este nuevo método LPD para la ejecución de proyectos de infraestructura pública, pasa de un sistema tradicional, a uno en el que se integren los participantes involucrados, a partir de este principio de colaboración en el que se aprovecha la experiencia y puntos de vista de los

participantes, se alinean los intereses de cada una de las partes con los intereses del proyecto, esta propuesta recoge las inquietudes de los actores como: funcionarios de entidades, constructores, entre otros del modelo actual con el fin de establecer su percepción frente al funcionamiento del sistema actual, establecer las limitaciones jurídicas y culturales para su implementación y se hace una revisión de los diferentes procesos de selección del Estado para la contratación de obra pública. (Ramírez Latorre, AC y Jara Macías, LM., 2018).

2.3.4. Ideas de ejecución.

Por otra parte, en el año 2004, Sutter Health, considerada una organización sin fines de lucro que maneja numerosos hospitales y planes de salud comunitaria, con base en Sacramento, California, EE. UU, desarrolló e implementó una estrategia de LPD que abordó en forma coherente los diversos niveles del proceso de desarrollo de un proyecto como: la física del trabajo (producción), la organización y los contratos. (Forbes& Ahmed, 2011). Su estrategia puede resumirse en lo que ellos llaman las cinco grandes ideas, como se observa en la **Figura 15**, que contribuyen a un solo objetivo generar un valor común hacia todos los involucrados de un proyecto, la primera idea se basa en colaborar, realmente colaborar, es decir que se incluye la participación de los involucrados en todas y cada una de las etapas de un proyecto, la segunda idea es incrementar la relación de los participantes en un ambiente de confianza mutua donde se comparte los errores y oportunidades de aprendizaje, la tercera idea considera a los proyectos como cadenas de compromisos donde cada gestor aporta para lograr conseguir llevar al proyecto hacia un éxito rotundo, la cuarta idea es optimizar el proyecto no las partes, ya que cuando se ejerce presión por una sola parte puede causar un desequilibrio en el desarrollo del proyecto complicando así la coordinación, e incrementando controversias no previstas, y finalmente la quinta idea hace referencia a acoplar firmemente acciones con aprendizaje que solamente se lo

consigue cuando todos los participantes de un proyecto aprenden de sus acciones respecto a lo bien que cumple con los propósitos y satisface los requerimientos de su trabajo. Todas estas acciones requieren un esfuerzo conjunto de las organizaciones mandantes, contratistas y diseñadores para generar un valor que será repartido en partes iguales. (Ramírez Latorre, AC y Jara Macías, LM., 2018).

Figura 16.

Cinco grandes ideas para un proyecto utilizando Lean Project Delivery System

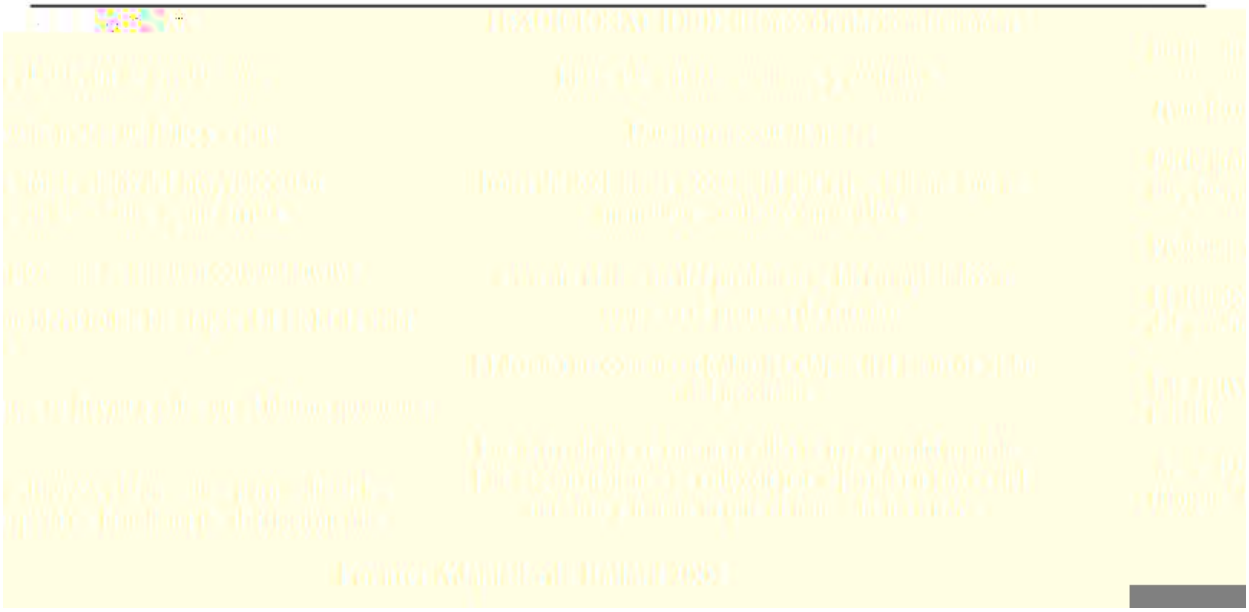


Nota. Tomado de (Ramírez Latorre, AC y Jara Macías, LM., 2018).

2.3.5. Comparación: Principales diferencias entre el Lean Project Delivery System y el método tradicional Diseño – Licitación – Construcción.

Figura 17.

Entrega de proyectos Lean vs Tradicional



Nota. Principales diferencias que se dan en un proyecto utilizando las diferentes metdologías de entrega de proyectos dd construcción. Tomado de (Ramírez Latorre, AC y Jara Macías, LM., 2018).

Según Ballard (2003), la comparación entre los dos métodos observados en la tabla, confirma que el método tradicional es el que presenta mayores falencias en el proceso disponibles para la construcción, cuesta más, lleva más tiempo y crea estadísticamente más litigios contrarios a lo que es el LPD que es un método que busca alinear los intereses de los intervinientes en un proyecto con los objetivos del proyecto mismo; esto se logra sobre la base de un acuerdo de riesgos y beneficios compartidos. (Ramírez Latorre, AC y Jara Macías, LM., 2018).

Capítulo 3. Estudio de caso: Análisis del Lean Project Delivery System como solución al sistema tradicional utilizado en Colombia.

3.1. Problemática presente.

Según Jiménez Chaparro, P. A., & Méndez Rodríguez, D. F. (2021), la ejecución de contratos de obras civiles, involucra una cadena de requerimientos procesos de interventor quienes son los representantes de que las obras a ejecutar cumplan con los tiempos de entrega estipulados en el contrato. Entre mayor transparencia haya en los estudios y diseños previos, esta tendrá menos situaciones inesperadas dentro de la obra, por lo que presupuestos y tiempos estimados para la entrega serán más idóneas.

Los retrasos en obras de construcción con más frecuencia recaen generalmente en 10 clasificaciones: Jiménez Chaparro, P. A., & Méndez Rodríguez, D. F. (2021)

- Retrasos ocasionados por el dueño
- Órdenes de cambios por el dueño
- Cambios constructivos
- Diferencias en las condiciones de campo
- Condiciones atmosféricas desfavorables
- Aceleración de trabajo (pérdida de productividad)
- Suspensión del trabajo
- Error al cotizar los precios de materiales y equipos
- Errores en el expediente técnico
- Problemas misceláneos

Figura 18.

Relaciones causa-efecto de los retrasos en construcción.



Nota. Principales razones por las cuales se retrasan la entrega de proyectos de construcción en Colombia. Tomado de Jiménez Chaparro, P. A., & Méndez Rodríguez, D. F. (2021)

Gran parte de los retrasos presentados en una obra son causados por sus administradores (contratante-contratista), clima, políticas de la constructora o terceros. En Colombia cada vez es más común ver que, durante la ejecución de un proyecto sin importar si es público o privado, sufre cambios o reestructuración a los parámetros y diseños fijados al inicio de la obra, los cuales son generados por una serie de factores que van desde la concepción del proyecto hasta la manera en la que se ejecutan las actividades. (Lora Perez, W. J., 2022)

La deficiencia que se presenta en la infraestructura de Colombia se define como un factor importante en contribuir a la pobreza ya que se genera dificultades en acceso a los servicios básicos limitando la población. En este artículo plantea unas causas que, aunque se

considera que depende del sector que se esté analizando son causas que se analizan en Colombia, estas causas son: (Hernández Ortiz, B. P., 2018)

- La infraestructura se planea y diseña para cumplir con metas de muy corto plazo. El ejemplo más evidente es el aeropuerto el Dorado el cual habrá alcanzado su capacidad máxima cuando se entregue en el 2014.
- La calidad de las obras no es una prioridad para el Estado. En este punto merecen mención especial la poca efectividad y la falta de compromiso de las interventorías.
- Los mecanismos de contratación suelen acabar en sobrecostos y retrasos que fluctúan en promedio entre un 30 y un 50 por ciento de lo proyectado. Esto se debe principalmente a la contratación con diseños incompletos (fase I), a los problemas en la adquisición de predios, a las licencias ambientales y al mecanismo de consultas previas.
- La contratación, la construcción y la interventoría de obras han demostrado ser un foco de corrupción billonaria –como hemos visto, por ejemplo, en Bogotá o en Arauca.

En otras palabras, lo que se plantean con esas causas es demostrar que no se realiza una infraestructura garantizando calidad y cuya ejecución no está bien organizada con planes de obra que garanticen la ejecución de la obra en los tiempos establecidos. (Hernández Ortiz, B. P., 2018)

Los cinco aspectos más representativos en la variación del tiempo de ejecución de proyectos en Colombia son la planeación del cronograma, la maquinaria necesaria a tiempo, los cambios en los diseños, las fluctuaciones de la moneda y el sector dentro de la actividad económica. De acuerdo con estos resultados se percibe una tendencia de participación del factor general de planeación, lo cual confirma este factor global como uno de los más influyentes en la variabilidad del tiempo. Se puede afirmar, además, que el sector económico en el que se desenvuelven los proyectos no es indiferente en el incremento del tiempo, y que en proyectos de construcción la incertidumbre de los riesgos a los que se está expuesto es muy elevada, pues a pesar de tener el control de algunas variables, existen agentes externos como las fluctuaciones de la moneda que no dependen de cada empresa y son impredecibles en la mayoría de los casos. Sería entonces de gran importancia, dedicar el tiempo y la atención necesarios en la etapa inicial de concepción, planeación y diseño de proyectos, adoptando como primera medida un enfoque exclusivo al análisis y definición de los posibles riesgos e imprevistos que se tengan que enfrentar a lo largo de un proyecto, con el objetivo de formar profesionales y empresas capaces de estimar y prevenir de manera aproximada las consecuencias de cada riesgo. (Lozano Serna, S., Patiño Galindo, I., Gómez-Cabrera, A., & Torres, A., 2018).

3.2. Estudio de caso: Caso de éxito en la aplicación de Lean Construction en la ejecución de la obra del hospital Arnau De Vilanova, Lleida en tan sólo 4 meses.

Este estudio fue realizado en España por la Universidad Pablo Olavide de Sevilla, plasmado en un artículo realizado por Juan Francisco Bisbal Cabrera en octubre del 2023, en el cual nos muestra el éxito que tuvo el proyecto de la construcción del hospital en un tiempo record de 4 meses utilizando la filosofía Lean Construction y aplicando el Lean Project Delivery System.

Proceso constructivo del edificio hospitalario polivalente. A continuación, se presenta el proceso de desarrollo, en base al Sistema de Entrega de Proyectos Lean, del edificio hospitalario polivalente del Hospital Universitari Arnau de Vilanova de Lleida, basándonos en la conversación entre Patricio Martínez de PMMTArquitectos y Berta Blasco + JM Marzo de Tectonica (Bisbal Cabrera, J. F., 2023).

3.2.1. Etapa de definición del proyecto.

Antes de que el Gobierno Central declarara el confinamiento como respuesta a la pandemia del COVID 2019, el Servei Català de la Salut contacta con la oficina PMMT Arquitectos, estudio especializado en proyectos de innovación hospitalaria, para desarrollar un modelo de contingencia sanitaria que pudiera estar operativo en un periodo de tres meses. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

Durante el mes siguiente, el equipo de diseño se reunió con un grupo de especialistas intensivistas, neumólogos, empresas constructoras y representantes del cliente, con el objetivo de entender la situación de crisis sanitara y dar respuestas eficaces desde la arquitectura. Se estudió como la Cruz Roja y Médicos Sin Fronteras son capaces de, con pocos medios, controlar una epidemia y generar entornos seguros en países subdesarrollados. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

Tras varias propuestas se consensuo con el Servei Català de la Salut, la idea de construir hospitales satélites conectados a cada uno de los 5 o 6 grandes hospitales catalanes, con una capacidad de 100 camas UCI, cada uno de ellas con una estructura de funcionamiento segura tanto para el sanitario como para el paciente y sus parientes, y que la estructura fuese lo suficientemente flexible para que pudiera adaptarse a nuevas necesidades venideras. Se planteó generar un módulo contenedor polivalente el que pudiera albergar tanto UCI's como habitaciones, consultas externas o laboratorios. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

3.2.2. Etapa de diseño.

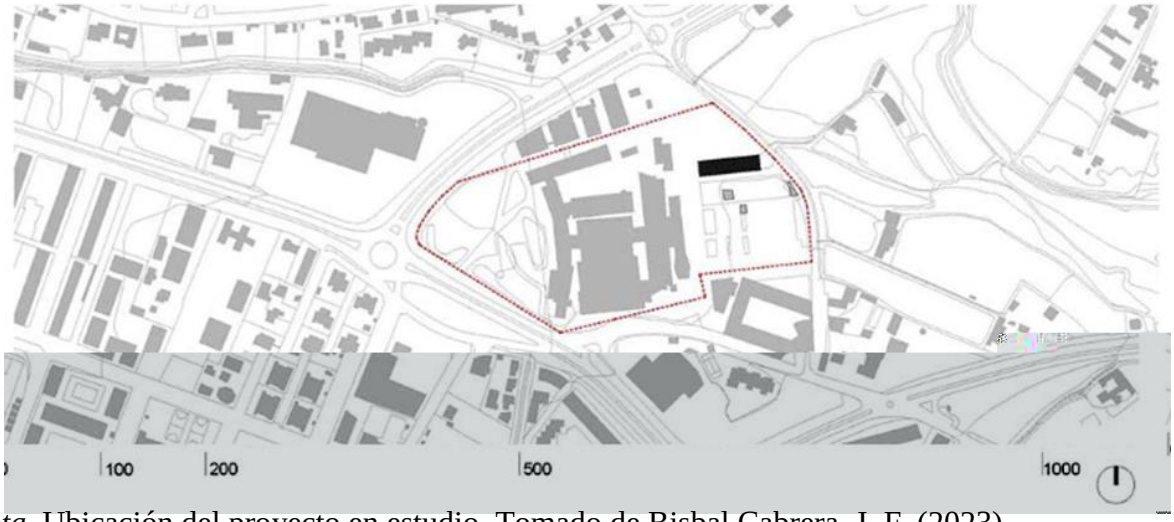
El diseño inicial del contenedor cumplía con todos los requerimientos para alojar las unidades UCI's y sobre ese modelo se fueron realizando los ajustes necesarios para que el espacio se pudiera adaptar a otros usos. Se implementó el máximo común múltiplo para generar esa pieza absolutamente polivalente en la que la reconversión significara un 30% de lo que te costaría hacerlo nuevo y evitando que la reversión supusiera meses de obra. Se planteó una infraestructura definitiva que puede durar 50 años, conectada con el hospital, implementando sus propios recursos, personal y equipamiento, y que al principio atendería a la crisis sanitaria del COVID y a medida que se fuera superando, se adoptaría a otras necesidades. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

Para comprobar la polivalencia del edificio, se presentaron una docena de posibles distribuciones dentro de los diferentes usos, y de la misma manera se mostraron una serie de diversas versiones de las fachadas del mismo edificio, cambiando los materiales y patrones de colocación, demostrando que el edificio podía funcionar de muchas maneras y podía integrarse en diversos contextos. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

El edificio hospitalario polivalente se situó en la zona de aparcamiento exterior continua al Hospital Universitario Arnau de Vilanova afectando el mínimo posible al entorno urbano. Implantada perpendicularmente respecto al Hospital, orientado de Norte a Sur. Los accesos principales, enmarcados por un porche, se efectúan por las fachadas norte y sur. En la primera, se sitúa el acceso logístico, el de ambulancias y la salida de los residuos. En la fachada contraria, la sur, se sitúa un acceso público para peatones. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

Figura 19.

Emplazamiento del nuevo edificio hospitalario polivalente con respecto al preexístete Hospital Universitario Arnau de Vilanova.



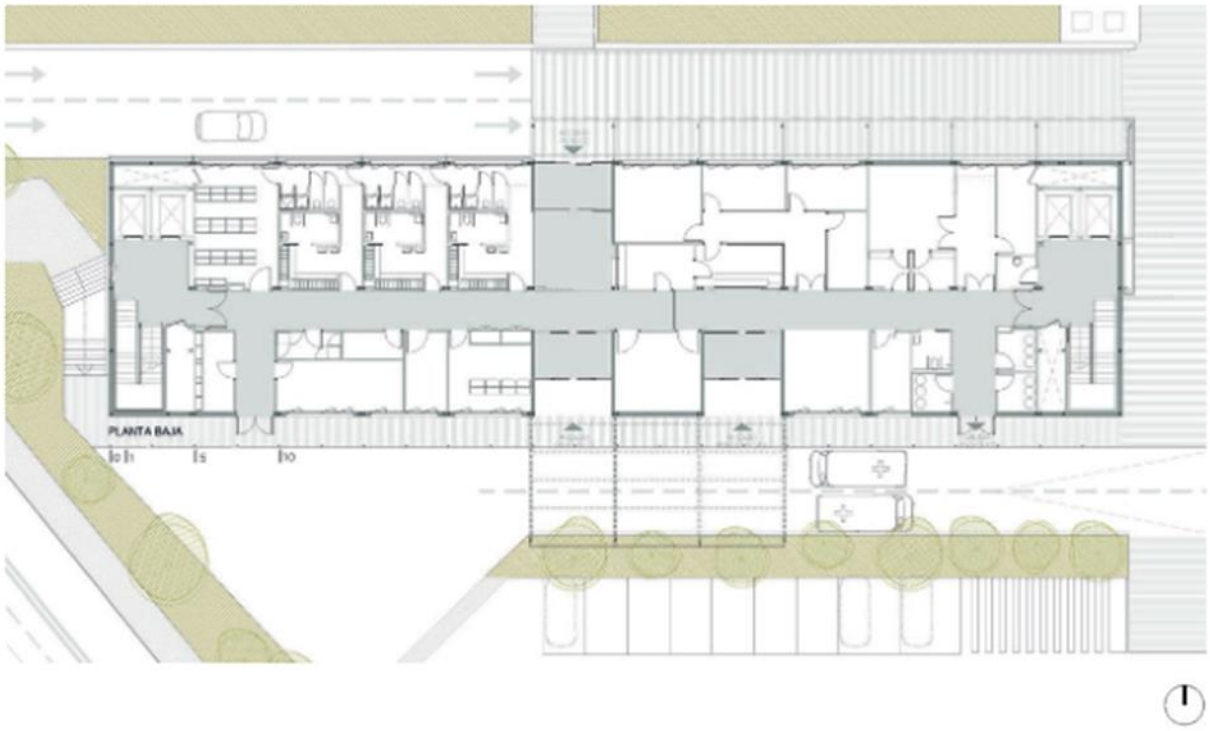
Nota. Ubicación del proyecto en estudio. Tomado de Bisbal Cabrera, J. F. (2023).

Consta de planta baja y tres plantas tipo, más una cuarta planta reservada para las instalaciones del edificio. El edificio cuenta con dos núcleos de comunicaciones verticales en cada extremo del edificio y un puente en la planta tercera para facilitar el desplazamiento del personal sanitario entre los dos edificios. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

En planta baja se encuentra los accesos, las salas de espera y de PCR, los vestidores del personal, los almacenes, dispensadores de EPIS y espacio de instalaciones. Cada planta tipo del edificio tiene una capacidad de entre 24 y 32 camas ocupando una superficie de unos 900 m2. Las plantas primera y segunda se encuentran las Unidades de Hospitalización y la tercera planta se reserva para la Unidad de Cuidado Intensivo (UCI). En estas tres plantas también están los espacios de soporte, como zonas transfer, limpieza, almacenes, instalaciones y áreas para el personal. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

Figura 20.

Plano de PB del nuevo edificio hospitalario polivalente



Nota. Tomado de Bisbal Cabrera, J. F. (2023).

3.2.3. Etapa de suministro.

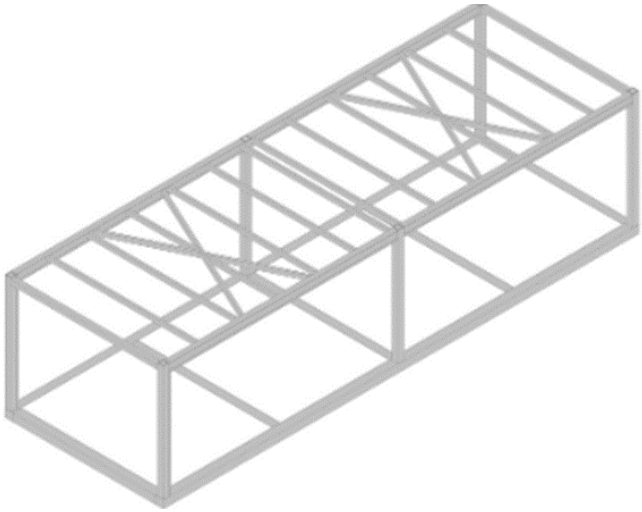
Para agilizar el proceso de construcción y maximizar la calidad, el estudio PMMT recurre a la arquitectura preindustrialización, utilizando la construcción offsite, refiriéndose a la

fabricación de las piezas en taller que luego son ensambladas en el sitio tras ser condicionado. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

Se diseñaron los módulos con una dimensión de 15 metros de largo por 5 metros de ancho, los cuales son auto estables para poder ser transportados y auto portantes, para poder soportan su propio peso y el que tengan sobre ellos. Su estructura es metálica y las fachadas longitudinales se componen por un cerramiento opaco con unas placas prefabricadas, la cara exterior formada por una placa revestida con un material de fibra de vidrio, aislamiento térmico lana mineral de 65 mm y una lámina impermeable transpirable Tyvek. La cara interior está formada por dos placas de yeso laminado fijadas una estructura metálica. Todos sus componentes son parametrizados, por ejemplo, la ventana paramétrica permite recibir tabiques interiores cada metro, facilitando el cambio de distribución sin afectar la fachada. Además, esta ventana se repite en todas las fachadas, facilita el proceso de fabricación y montaje. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

Figura 21.

Axonometría de la estructura del módulo prefabricado off-site para edificio hospitalario polivalente



Nota. Tomado de Bisbal Cabrera, J. F. (2023).

La empresa catalana Compact Habit se encargó de fabricar en un lapso aproximado de 14 semanas. En el taller se construye y encajan todos los componentes que conforman el módulo, como la losa de suelo, la estructura metálica, la fachada con panel sándwich, las carpinterías exteriores, la tabiquería interior junto con los revestimientos y algunas instalaciones verticales que van empotradas. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

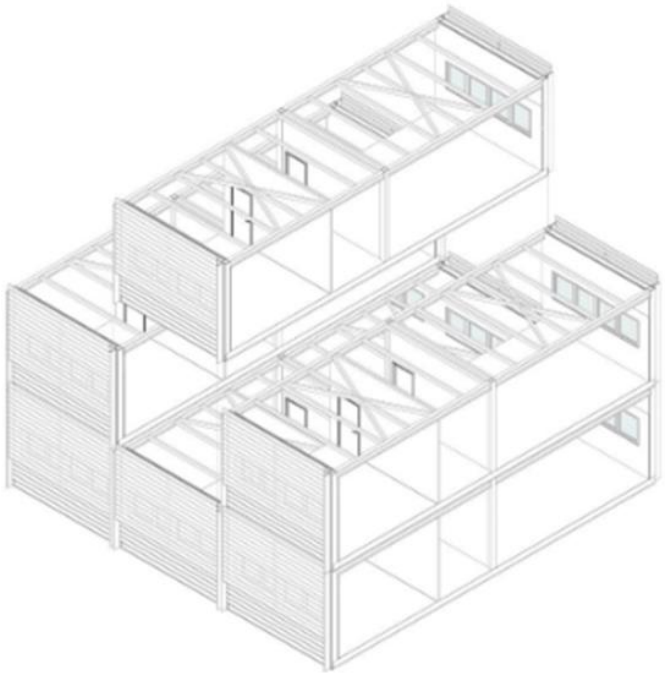
Al momento de instalar los acabados se introdujo el concepto de junta loca, método de instalación que consiste en la disposición del material desde un punto de inicio y cuando se llega al final, se corta y se utiliza el remanente en otro lado, evitando al máximo el desperdicio de material. Se implementan materiales que parezcan continuos ya que con este proceso se desconoce dónde puede haber una junta, prevaleciendo la eficiencia sobre la estética. En el momento que se ha ido finalizando la prefabricación de los módulos en taller, éstos se han ido transportando a la obra para poder ser montados en tan solo dos semanas. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

3.2.4. Etapa de ensamblaje.

El nuevo edificio anexo se compone de 60 módulos, 12 por cada planta, totalizando una superficie construida de 4.728,65 m². Los módulos se apilan uno sobre otro y los núcleos de comunicación son los que rigidizan el conjunto. Estos módulos llegan a la obra prácticamente acabados, simplemente es necesario hacer empalmes en obra, gracias a esto, el montaje se realizó en tan solo 10 días, llegando a montar aproximadamente 6 módulos por día. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

Figura 22.

Axonometría del conjunto de módulos prefabricados off-site para edificio hospitalario polivalente

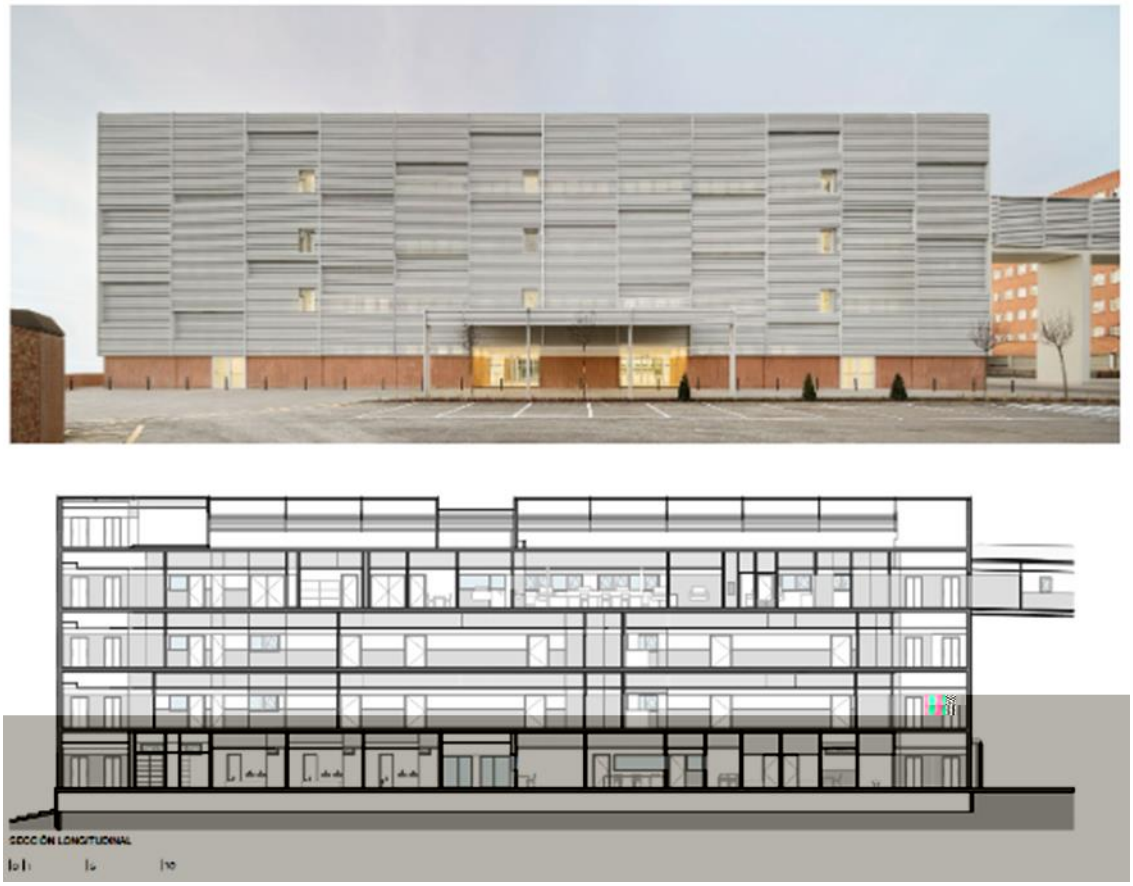


Nota. Tomado de Bisbal Cabrera, J. F. (2023).

Tras apilar los módulos en su posición, se comenzó el resto de los trabajos que faltaban en obra, como la segunda piel de fachada (de chapas metálicas ATENEA FA), la cubierta, el montaje del puente de conexión entre los edificios, los ascensores, y todas las instalaciones que faltaban del edificio y maquinaria de cubierta. Como tarea final, se colocó todo el mobiliario del hospital y se realizó la urbanización del espacio exterior del nuevo edificio. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

Figura 23.

Fotografía fachada norte y plano de sección longitudinal del edificio hospitalario polivalente



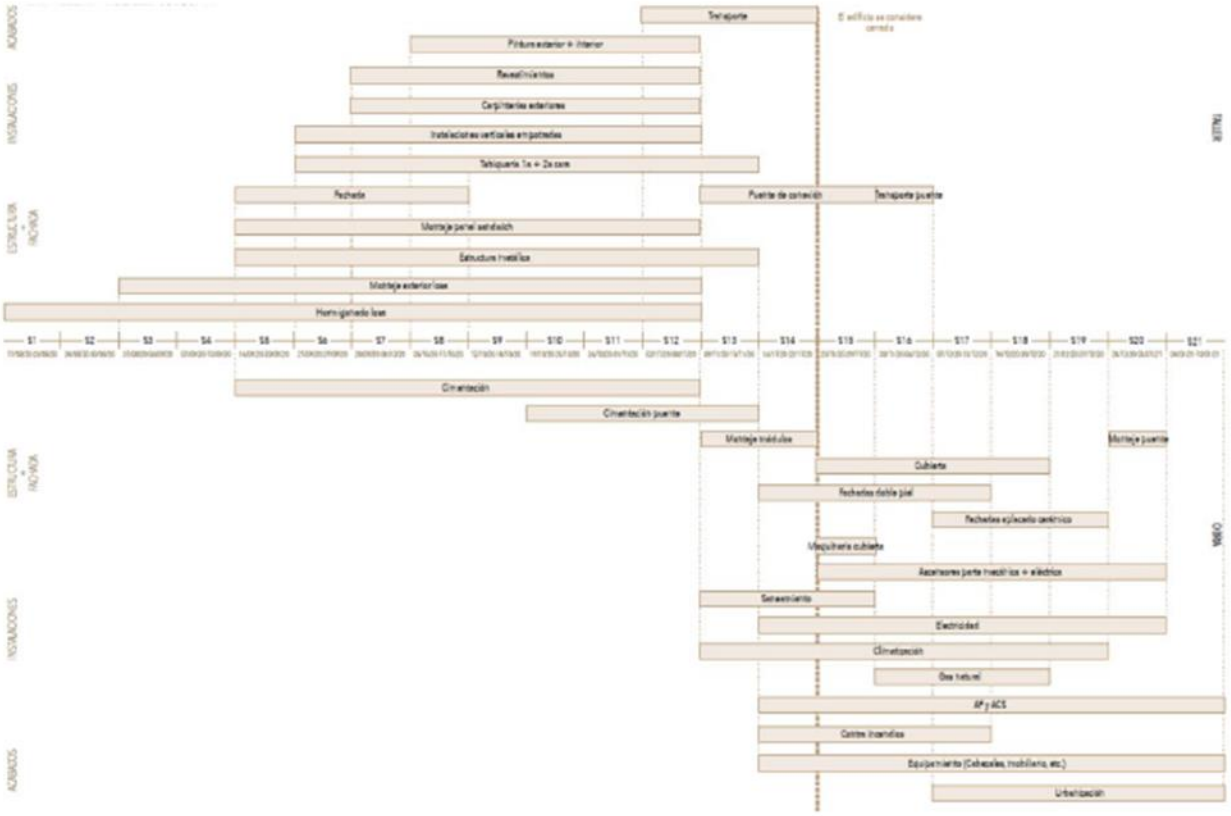
Nota. Tomado de Bisbal Cabrera, J. F. (2023).

3.2.5. Cronograma de actividades.

En el siguiente cronograma realizado por Olena Filippovych basándose en la información suministrada por PMMT Arquitectos, se puede visualizar como se planifico el nuevo espacio hospitalario del Hospital Arnau de Vilanova. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

Figura 24.

Cronograma del edificio hospitalario polivalente



Nota. Tomado de Bisbal Cabrera, J. F. (2023).

Podemos observar una clara separación en el tiempo entre los trabajos realizados en taller y los de obra, ya que lo único que se ha podido avanzar en obra mientras se prefabricaban los módulos en taller, fue la preparación del espacio de obra y la ejecución de la cimentación. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

La construcción modula permite por un lado simplificar y acelerar el proceso constructivo y por otro lado dar mucha flexibilidad al uso. Debido a esto, el proyecto y la obra se ha logrado realizar en 22 semanas con un sistema industrializado diseñado por una vida útil de

más de 40 años. El seguimiento y participación semanal de todos los agentes de la obra ha sido fundamental, para controlar el proceso y ajustarse a los plazos. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

3.2.6. Etapa de uso.

El edificio cumplido con su propósito inicial y tras superar el período de emergencia causado por la pandemia del COVID 2019, sus espacios se adaptaron para albergar otros usos complementarios del Hospital Hospital Universitari Arnau de Vilanova. Actualmente desde junio del 2021 la tercera planta del nuevo edifico hospitalario polivalente acoge El nuevo edificio del Arnau de Vilanova de Lleida acoge el hospital de día oncohematológico, un espacio destinado a la administración ambulatoria de tratamientos como quimioterapia u otros tipos de fármacos, que presta atención a 13.000 pacientes de media anual. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

Para esa misma fecha, la planta baja del edificio ha acogido la realización de pruebas PCR y de la vacunación contra el Covid-19. Puntualmente, en función de las necesidades asistenciales, la primera planta también ha acogido hospitalización convencional. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

Esto demuestra el cumplimiento una de las premisas de diseño más importantes, de generar una tipología flexible que permitiera transformar el uso de los espacios según las necesidades futuras del centro al que se encuentra anexado. (Bisbal Cabrera, J. F, 2023).

3.3. Análisis y discusión de resultados.

El sistema de entrega de proyecto, Lean Project Delivery System es una alternativa de solución para la problemática que presenta nuestros proyectos, sin importar la magnitud que tenga, en nuestro país. La principal característica que tiene este sistema es la integración de todas las fases del proyecto con el personal a cargo, para así poder llevar el proyecto sin pérdidas de tiempo en modificaciones y sin perdidas en materiales. Como su filosofía Lean lo hace llamar, es un método de construcción sin perdidas.

La importancia de contar con un personal altamente capacitado y de calidad, en todas las áreas del proyecto, tanto administrativa como de ejecución de actividades en obra.

Uno de los desafíos que enfrentan los equipos es que a menudo son temporales y muchos miembros pueden estar trabajando juntos por primera vez. Sin embargo, esto presenta una buena razón para que esos miembros rompan viejos hábitos y formen nuevos procesos que pueden ser beneficiosos para el proyecto. Es por eso que construir un equipo fuerte desde el principio es fundamental para lograr grandes resultados a través de Lean. El primer paso para integrar un modelo Lean Project Delivery es identificar a los miembros clave de su equipo en las primeras etapas del proyecto. Los equipos de alto rendimiento se definen por tener una sólida cultura de respeto y confianza junto con un historial de mantenimiento y cumplimiento de los compromisos. Un equipo de alto rendimiento también necesita que sus miembros estén dispuestos a escucharse unos a otros para innovar. El equipo también necesita que sus miembros estén dispuestos a identificar áreas de mejora de procesos mediante una retrospección continua. Es importante destacar que los equipos de alto rendimiento también rompen los silos tradicionales para maximizar las habilidades y optimizar el rendimiento. (Lean Construction Institute., s.f.).

Cabe destacar la importancia y la incidencia que tienen los softwares BIM que son utilizados en la metodología Lean Construction, como lo son ArchiCAD y Revit. Pues, estos softwares al ser BIM nos permiten crear, diseñar y gestionar el proyecto de una forma más colaborativa.

El uso de BIM va más allá de las fases de diseño, abarcando la ejecución del proyecto y extendiéndose a lo largo del ciclo de vida del edificio, permitiendo la gestión del mismo y reduciendo los costes de operación. (buildingSMART España., s.f.).

Con este método de entrega y gestión de proyectos de construcción se garantiza la innovación, la efectividad, la disminución de tiempos, la cohesión entre los equipos de trabajo que deben ser de alta capacidad, el aumento de la calidad y la suma de todos estos factores da como resultado la satisfacción del cliente.

El estudio que se entró al caso, nos muestra que la etapa de definición del proyecto fue clave a la hora el éxito del edificio, pues allí fue donde se dejaron las metas claras y los tiempos estipulados pactados, siendo un récor de 4 meses para entrega, pero además de esto, se vio reflejado la cohesión y participación del equipo de especialistas y del cliente para definir juntos las necesidades y particularidades para luego trazar los diseños y criterios necesarios para resolver en conjunto la necesidad que se había presentado.

En Colombia, se puede apostar a la utilización de este método de entrega de proyectos para las viviendas de interés social (VIS) las cuales, en la última década, tiene un gran auge y campo en el sector construcción de nuestro país.

La construcción de vivienda de interés social (VIS) es una opción utilizada en los últimos tiempos para disminuir el déficit de vivienda en el país, donde se ha evidenciado un crecimiento

en la construcción de este tipo de edificaciones. Los nuevos proyectos de vivienda tipo VIS han sido diseñados para cumplir las normas referentes a sismo resistencia a nivel estructural. En el caso colombiano, es necesario seguir los lineamientos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). (Vallejo-Borda, J. A, 2020).

Los proyectos de vivienda de interés social se caracterizan por ser muy ajustados tanto en presupuesto como en tiempos, la supresión de los acabados facilita su ejecución y los hace atractivos como inversión, pero al ser proyectos destinados a satisfacer la demanda de vivienda de los estratos menos favorecidos tienden a ser realizados con materiales económicos que afectan la calidad, esto con el fin de incrementar la utilidad, sería interesante que mediante la aplicación de la metodología Lean Construction se redujeran las perdidas por desperdicio tanto de materiales como de tiempo en pro de mejorar la calidad del producto final, la satisfacción de un cliente atrae muchos más. (García Díaz, O. A., 2012).

3.3.1. Cuadro sinopsis entre el Lean Project Delivery System y el sistema tradicional.

Tabla 3.

Sinopsis del Lean Project Delivery System vs Diseño – Licitación – Construcción.

ÁREA	LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM	DISEÑO-LICITACIÓN-CONSTRUCCIÓN
Alcance	Abarca desde la eliminación de desperdicios y la maximización del valor hasta la promoción de la colaboración, la mejora continua, la gestión de riesgos y la mejora de la eficiencia y la calidad.	Abarca desde la planificación y diseño inicial del proyecto hasta la selección de contratistas y la ejecución física de la construcción.
Tiempo	Puede variar significativamente según varios factores, incluyendo la complejidad del proyecto, su escala, los recursos	Puede variar considerablemente según diversos factores, como el tamaño y la complejidad del proyecto, la disponibilidad de

	disponibles y la experiencia del equipo. Sin embargo, el LPDS está diseñado para mejorar la eficiencia y reducir los tiempos de entrega. Según Pons Achell, los tiempos pueden mejorar hasta en un 57%	recursos, los requisitos específicos del cliente y las condiciones del mercado. Sin embargo, el sistema DBB suele seguir una secuencia lineal de fases, lo que puede influir en la duración general del proyecto.
Costos	Pueden variar según varios factores, incluyendo la naturaleza y el alcance del proyecto, la complejidad de las actividades involucradas, la disponibilidad de recursos, y la eficiencia en la ejecución. Aunque el LPDS está diseñado para mejorar la eficiencia y reducir los desperdicios, no necesariamente garantiza la reducción de costos en todos los casos.	Pueden variar considerablemente según diversos factores, incluyendo el tamaño y la complejidad del proyecto, los materiales y la mano de obra requeridos, los honorarios de los contratistas y consultores, los costos de licencias y permisos, entre otros.
Calidad	Tiende a ser alta debido a su enfoque en el valor para el cliente, la eliminación de desperdicios, la mejora continua, la colaboración y la gestión proactiva de riesgos.	Depende en gran medida de la calidad del diseño, la selección de contratistas, la supervisión de la construcción, el control de calidad y el cumplimiento de normativas y regulaciones.
Riesgos	Está diseñado para minimizar los riesgos y mejorar la eficiencia en la gestión de proyectos, aún existen ciertos riesgos potenciales que deben tenerse en cuenta, como la falta de comprensión o adopción incompleta del enfoque Lean, la falta de experiencia en la implementación del LPDS .	Presenta ciertos riesgos que deben tenerse en cuenta para una gestión efectiva del proyecto, como cambios en los requisitos del cliente, selección inadecuada de contratistas, licitación desleal, incumplimiento de regulaciones y normativas y variaciones en los costos de materiales y mano de obra

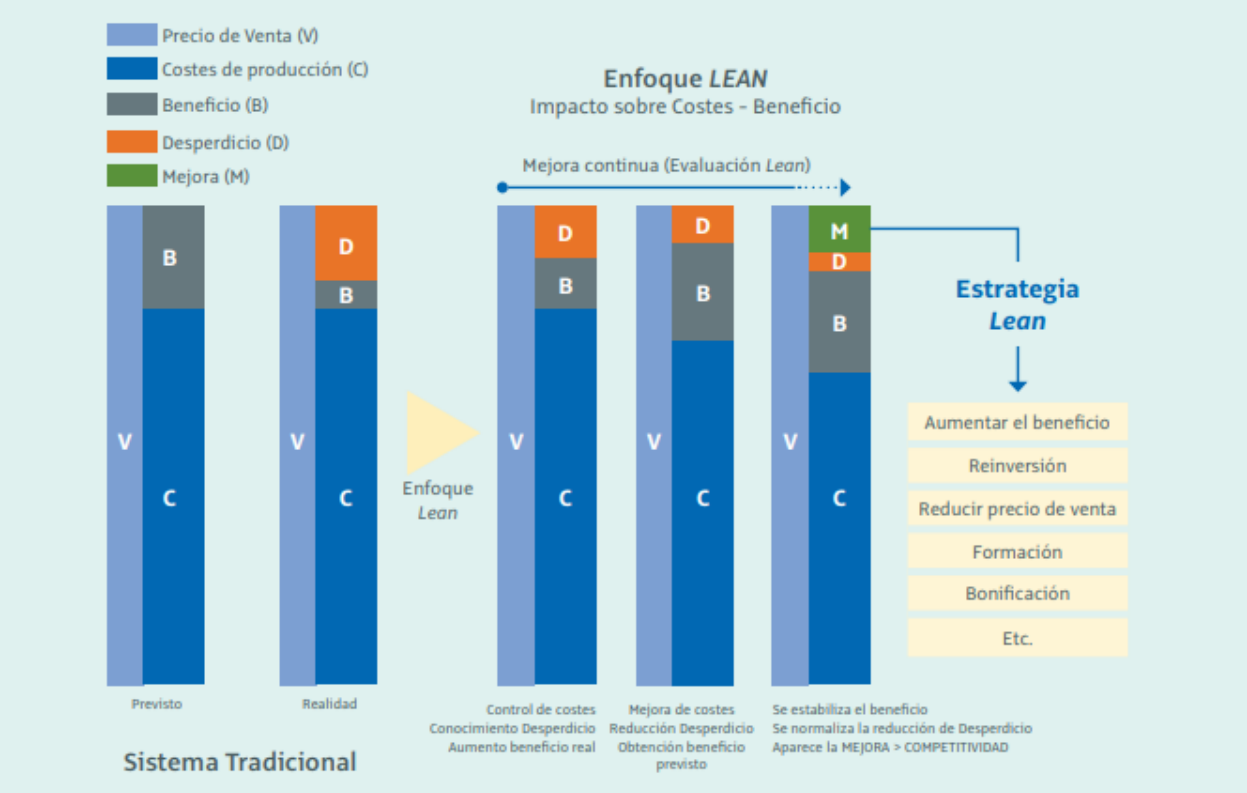
Nota. Autor.

3.3.2. Mejoramiento en la construcción con el enfoque Lean.

En la siguiente figura se explican las principales diferencias de enfoque y planteamiento entre un sistema tradicional de gestión de proyectos (izquierda del gráfico), donde el desperdicio o improductividad no ha sido considerado desde un punto de vista económico, y el sistema según un enfoque Lean (derecha de gráfico) en el que, desde el inicio del proyecto, todos los agentes y actores involucrados en el mismo trabajan para maximizar el valor del cliente y minimizar todas aquellas actividades, gestiones y transacciones inútiles que no añaden valor, teniendo en cuenta los intereses generales de todos y no los particulares de cada parte. (Pons Achell, J. F., 2014)

Figura 25.

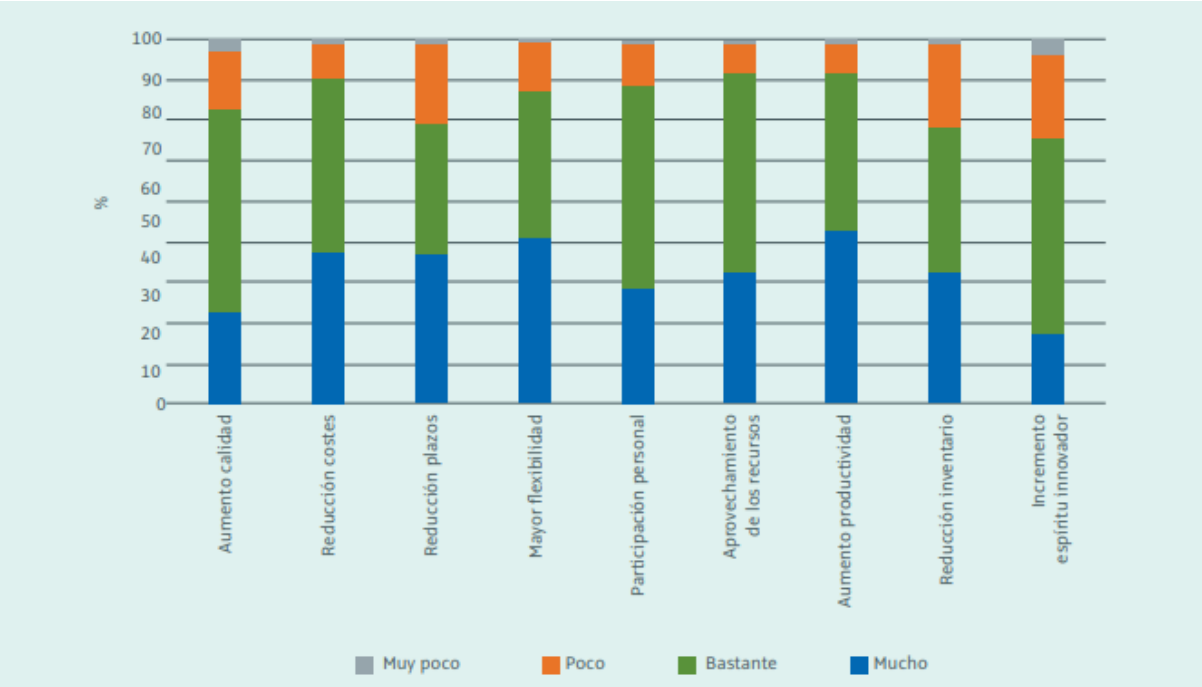
Enfoque tradicional vs Enfoque Lean.



Nota. En este gráfico podemos observar el mejoramiento que tiene un proyecto con enfoque Lean, reduciendo costos y desperdicios para aumentar beneficios y obtener un mejoramiento. Tomado de (Pons Achell, J. F., 2014)

Figura 26.

Beneficios obtenidos con la implementación Lean.



Nota. El gráfico tiene la información de los beneficios que tiene un proyecto de construcción con la implementación de la metodología Lean. Tomado de (Pons Achell, J. F., 2014)

Capítulo 4. Conclusiones.

La metodología de entrega de proyectos Lean Project Delivery System basado en la filosofía Lean Construction está enfocada en minimizar pérdidas y a la optimización de los procesos y actividades que se ejecutan antes, durante y después de cada proyecto.

Esta metodología define los posibles problemas que se puedan presentar durante la ejecución del proyecto permitiendo identificarlas para así abordarlas de manera preventiva y hacer la respectiva corrección.

Es enfatizado en crear herramientas específicas y aplicables al proceso de plantación y ejecución del proyecto, para ello plantea una metodología de fases en búsqueda de la calidad, eficiencia y productividad, para así poder lograr los objetivos y los alcances del proyecto.

En Colombia, existe la problemática del incumplimiento de tiempos en la entrega final de los proyectos civiles, a raíz de factores como pérdidas en materiales, atrasos en cronogramas o modificaciones en obra. Por ende, una de las soluciones que se puede aplicar es la metodología de entrega de proyectos LPDS, la cual une al propietario con el constructor, enlazando las actividades que se deban realizar durante toda la etapa de durabilidad del proyecto.

Capítulo 5. Recomendaciones.

Se recomienda hacer un estudio sobre las posibles fallas y problemas que se presenten con más frecuencia en un proyecto sin importar la magnitud de este, pero sí teniendo en cuenta las necesidades del proyecto.

Hacer una profundización y estudio arduo de la metodología Last Planner System y Target Costing, pues es importante a la hora de la aplicación de la metodología Lean Project Delivery System.

Referencias.

Alarcón, L. F., & Pellicer, E. (2009). Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas.

Alarcón, L. F., Wegmann, A., & Calahorra, M. (2017). Oportunidades para el mejoramiento de la gestión de proyectos de infraestructura pública en Chile.

Ballard, G. (2000) 'LCI White Paper-8: Lean Project Delivery System', Lean Construction Institite White Paper 8, 2000.

Barriga Nieves, PC (2016). Mejora del proceso de formulación de una propuesta de proyecto de infraestructura APP bajo la metodología Lean Project Delivery System [Tesis de maestría, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].

Bisbal Cabrera, J. F. (2023). Caso de éxito en la aplicación de Lean Construction en la ejecución de la obra del Hospital Arnau de Vilanova, Lleida en tan solo 4 meses. JournalBIM, 5.

buildingSMART España. (s.f.). BIM. Recuperado el 30 de noviebre de 2023 de buildingsmart.es: https://www.buildingsmart.es/bim/

Cámac Leonardo, Luis Miguel. (2015). Identificación de incompatibilidades en la construcción de estructuras y arquitectura utilizando un modelo 3D en Revit Architecture 2014 (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma.

Carhuallanqui Cachuan, J. (2019). Incidencia del Lean Project Delivery en el desempeño de la elaboracion del expediente técnico por administración directa, Escuela Técnico Superior Pnp – Arequipa – 2017. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Del Centro Del Perú].

Castillo Álvarez, A. (2021). Análisis y propuesta de aplicación de la metodología Lean Project Management [Tesis de maestría, Universidad de Valladolid, España].

Choccata Quispe, W. (2021, 19 de abril). Lean Construction: ventajas de su aplicación en proyectos de construcción. KONSTRUEDU. Recuperado el 14 de noviembre de 2023 de konstruedu.com: https://konstruedu.com/es/blog/lean-construction-ventajas-de-su-aplicacion-en-proyectos-de-construccion

De Solminhac T, H. & Thenoux Z, G. (2018). Procesos y Técnicas de Construcción (Sexta edición). Bogotá, Colombia.

Ferrovial. (2013). Qué es un proyecto de obra civil y cómo se desarrolla. Recuperado el 18 de octubre de 2023 de www.ferrovial.com: https://www.ferrovial.com/es/recursos/obra-civil/#:~:text=Es%20el%20documento%2C%20o%20conjunto,y%20proyectistas%20de%20distintas%20especialidades.

Garcés, G., & Peña, C. (2022). Una revisión sobre Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción. Universidad de Playa Ancha, Valparaíso, Chile.

García Díaz, O. A. (2012). Aplicación de la metodología Lean Construction en la vivienda de interés social (Tesis de especialización). Universidad EAN.

Hernández Ortiz, B. P. (2018). Ponderación de factores que influyen en los retrasos de los proyectos viales en Colombia: Caso de estudio Villavicencio (Tesis de pregrado). Universidad Santo Tomás.

Jiménez Chaparro, P. A., & Méndez Rodríguez, D. F. (2021). Causas del retraso en cronograma de proyectos de construcción colombianos: una consulta a profesionales del sector (Tesis de pre grado). Universidad Católica de Colombia.

La Opinión. (2021). El 98% de proyectos de construcción en Colombia tiene sobrecostos de más del 20%.

Lean Construction Institute. (2022). Recuperado el 18 de octubre de 2023 de leanconstruction.org: https://leanconstruction.org/lean-topics/lean-project-delivery/

Lean Construction Institute. (s.f.). Lean Project Delivery. Recuperado el 30 de noviembre de 2023 de leanconstruction.org: https://leanconstruction.org/lean-topics/lean-project-delivery/

Lora Perez, W. J. (2022). Retrasos en proyectos de construcción civil en la Región Caribe de la República de Colombia (Tesis de pregrado). Universidad de Cartagena.

Lozano Serna, S., Patiño Galindo, I., Gómez-Cabrera, A., & Torres, A. (2018). Identificación de factores que generan diferencias de tiempo y costos en proyectos de construcción en Colombia. Ingeniería y Ciencia. Recuperado el 27 de noviembre de 2023 de redalcy.org: https://www.redalyc.org/journal/835/83556831006/html/

Pérez Gómez Martínez, GJF, Del Toro Botello, HY, & López Montelongo, AM (2019). Mejora en la construcción por medio de lean building y building information modeling: caso estudio. Revista Internacional de Tecnología e Ingeniería, volumen 7.

Pons Achell, J. F. (2014). Introducción a Lean Construction. Fundación Laboral de la Construcción.

Porras Díaz, H., Sánchez Rivera, O. G., & Galvis Guerra, J. A. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. Avances Investigación En Ingeniería.

Ramírez Latorre, AC y Jara Macías, LM (2018). ¿Estamos listos para aplicar el método Lean Project Delivery en proyectos de construcción en el Sector Público? Universidad Nacional de Chimborazo.

Rodríguez Fernández, A. D., Alarcón Cárdenas, L. F., & Pellicer Armiñana, E. (2011). La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador. Revista de Obras Públicas, volumen (1).

Safety. (2023). Fundamentos de la entrega de proyectos. Recuperado el 25 de octubre de 2023 de safetyculture.com: https://safetyculture.com/es/temas/entrega-de-proyectos/

Vallejo-Borda, J. A. (2020). Comparación de procesos de evacuación en edificaciones residenciales multifamiliares. Revista Ingenio, 17(1), 49-55. https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2379/2892

Vargas, A. (2005). Modalidades de Manejo de Proyectos de Construcción (Tesis de maestría). Universidad Estatal a Distancia.

Vásquez Cáceres, M. (2018). Uso del Lean Project Delivery System para Evaluar y Costear los Reclamos Post Ocupación en Proyectos de Vivienda Multifamiliar [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú].