

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

PRESENTADO: octubre 2023

Juan Francisco Bisbal Cabrera

Universidad Pablo de Olavide.

Email: juanfranciscobisbal@gmail.com

Objetivo: Explicar la metodología Lean Construcción implementada en la construcción del Edificio Hospitalario Polivalente, en el Hospital Universitario Arnau de Vilanova, Lleida (2021)

Diseño / metodología / enfoque: Estudio del proceso de construcción del Edificio Hospitalario Polivalente, en el Hospital Universitario Arnau de Vilanova, Lleida (2021) para describir, evaluar y comprender la metodología Lean Construction.

Resultados: Demostrar la relevancia de la implementación de metodologías Lean en la industria AEC para aumentar la eficiencia y reducir las pérdidas durante las etapas de desarrollo del proyecto.

Originalidad: Evidenciar como se utiliza la metodología Lean Construction gestionar el proceso de planificación, diseño y construcción de un centro hospitalario en un tiempo récord.

Palabras clave: Lean Production, Lean Construction, Arquitectura Hospitalaria.

Derechos de autor: El autor conserva los derechos de autor de su obra. Los artículos están licenciados bajo la licencia BY-NC-ND (Creative Commons Attribution 4.0 International Public License), que otorga derechos de acceso abierto a la sociedad. Específicamente, con la licencia BY-NC-ND no se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas.

www.journalbim.org



1. INTRODUCCIÓN

Para afrontar la situación de emergencia originada por el COVID-19, el Servei Català de la Salut (CatSalut) adjudicó a la Constructora d'Aro el diseño y construcción de un nuevo edificio satélite que ampliara la infraestructura del Hospital Arnau Vilanova de Lleida durante la pandemia del COVID-19 [2].

Con esta premisa, PMMT Arquitectura siguiendo su línea de investigación propone un edificio parametrizado, de construcción modular y fabricado off-site, con la capacidad de adaptarse a las futuras necesidades del centro sanitario, una vez superada la época de crisis, ya sea como extensión para camas de hospitalización convencional, unidades UCI e incluso salas de laboratorios [4].

Para lograr la construcción del edificio en cuatro meses y medios, se implementó el método de organización de trabajo conocido como Lean Construction [1]. En este informe se exhibirá como se implementó esta metodología durante el proceso de diseño y construcción del edificio para cumplir con los plazos y requerimientos establecidos.

2. LEAN CONSTRUCTION

Se conoce como Lean Construction la aplicación de los principios y herramientas del sistema Lean a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción. El principal objetivo de esta filosofía de trabajo es la eliminación de todas las actividades que no agreguen valor al proceso productivo en todas las fases del proyecto: diseño, ingeniería, precomercialización, marketing y ventas, ejecución, servicio de postventa, atención al cliente, puesta en marcha y mantenimiento del edificio, administración de la empresa, logística y relación con la cadena de suministro [6].

En términos generales esto se puede traducir en un sistema basado en la eliminación del despilfarro, que genera valor a través de procesos optimizados; que esta focalizado en la satisfacción total del cliente dentro de un entorno de trabajo en equipo, con mano de obra disciplinada y organizada; en un entorno de evolución y mejora continua en el que la calidad se controla, sino que se fabrica o se construye, todos los días, en todos los lugares de la empresa y por todas las personas [7].

La implementación de esta metodología se puede entender gracias al Lean Project Delivery System (LPDS) o Integrated Project Delivery (IPD) ya que son herramientas integradoras que nos ofrecen una visión de conjunto de todas las fases del proyecto, desde un punto de vista Lean [6].

LPDS o Sistema de Entrega de Proyectos Lean según su traducción en español, se define como un proceso colaborativo para la gestión integral del proyecto, a lo largo de todo el ciclo de vida de este. Se emplea un equipo en todo el proceso para alinear fines, recursos y restricciones. Tal como se muestra en la figura 1, se trata de un enfoque por etapas que comprende la definición del proyecto, el diseño, el suministro, el montaje o ejecución y el uso y mantenimiento posterior del edificio, instalaciones o infraestructura. El control de la producción, la estructuración del trabajo y el aprendizaje es algo que ocurre continuamente a lo largo de todo proyecto. Para avanzar de una etapa a otra se deben cumplir con una serie de actividades e hitos [6].

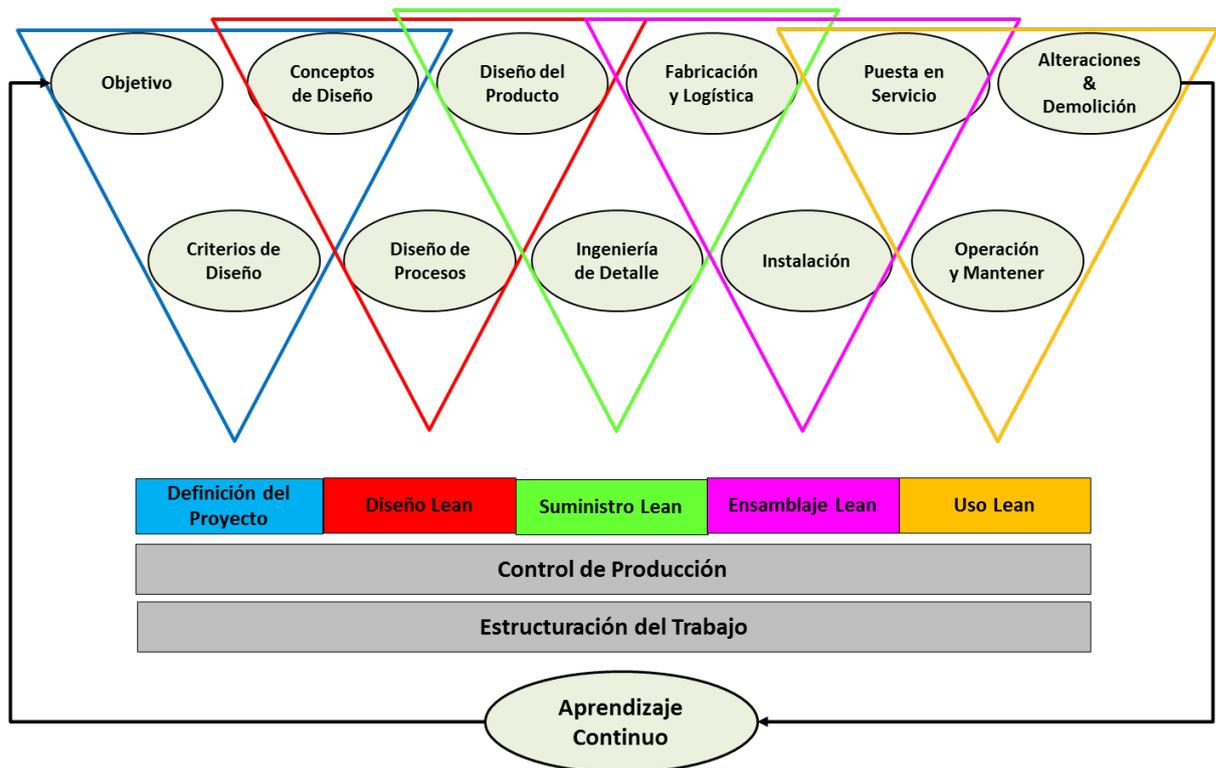


Figura 01

Sistema de Entrega de Proyectos Lean

Fuente: Ballard, Glenn (2000)

En la primera fase se define el proyecto, el equipo de diseño (arquitectos, ingenieros y constructores) se reúnen con los propietarios o promotores en una Obeya Room o sala de reunión para definir el propósito del proyecto y traducir ese propósito en requisitos específicos. Durante esta fase, el propietario determina el coste permitido para el proyecto, es decir, la cantidad máxima para el proyecto que puede soportar el modelo de negocio [6].

Tras alinear los valores, conceptos y criterios del proyecto se pasa a la fase de diseño Lean, que consiste en la creación de múltiples alternativas, basadas en los requisitos de diseño, las limitaciones del proyecto y el coste objetivo. El objetivo es encontrar la alternativa de diseño que mejor cumpla los propósitos del propietario y entregar el máximo valor al cliente. Asimismo, durante la fase de diseño se completa el desarrollo del Programa Maestro y el Diseño de Procesos. Mientras los clientes o usuarios futuros examinan los modelos físicos o virtuales del edificio diseñado para garantizar el

cumplimiento de los requisitos funcionales planteados en la primera fase de definición [6].

La fase de suministro Lean consiste en ingeniería de detalle, fabricación y entrega. Esta fase comienza tras definir el diseño del producto y su proceso constructivo para conocer con detalle lo que se debe producir y cuándo se debe entregar los componentes necesarios, en el tiempo requerido y solo en las cantidades requeridas [6].

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. En esta etapa el Sistema del Último Planificador (o Last Planner System en inglés) se utiliza para controlar la producción y mantener el flujo continuo de materiales e información a lo largo de toda la obra [6].

El sistema concluye cuando el cliente tiene un uso beneficioso del edificio, instalación o infraestructura. Esta fase consta el cierre de obra, los retoques definitivos, la entrega y puesta en marcha del activo [6].

El sistema de producción Lean implementa una serie herramientas para cumplir con sus objetivos, se puede destacar los siguientes:

- **LPS (Last Planner System)** es un sistema para la producción de proyectos que promueve la creación de un flujo de trabajo predecible entre varias partes para que se logren resultados confiables [8]. Este sistema 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 [6].
- **BIM (Building Information Modeling)** metodología de trabajo colaborativa que abarca todo el proceso de diseño y gestión de toda la información a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Funciona como una base de datos tridimensional que hace seguimiento de todos los elementos que componen el edificio [7].

- **VDC (Virtual Design and Construction)** se enfoca en el uso de modelos 3D BIM con el objetivo puedan acceder a los datos compartidos y poder planificar eficientemente todos los aspectos de un determinado proyecto de construcción, desde la estimación de costos hasta la programación y la gestión de riesgos [7]

3. 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 PMMT Arquitectos y Berta Blasco + JM Marzo de Tectonica [4].

3.1. 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 [4].

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 sanitaria y dar respuestas eficaces desde la arquitectura. Se estudio como la Cruz Roja y Médicos Sin Fronteras son capaces de, con pocos medios, controlar una epidemia y generar entornos seguros en países subdesarrollados [4].

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 planteo generar un módulo contenedor polivalente el

que pudiera albergar tanto UCI's como habitaciones, consultas externas o laboratorios [4].

3.2. 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 implemento 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 planteo 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 [4].

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 [4].

Se desarrollaron cincuenta anteproyectos de cada uno de los 5 hospitales seleccionados, para que se pudiera publicar las bases del concurso, al cual PMMT Arquitectos se presento en abierto y logro ganar dos de ellos. A continuación, se presentará el proceso de diseño y construcción de uno de ellos, el Hospital Universitario Arnau de Vilanova en Lleida [4].

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 [2].

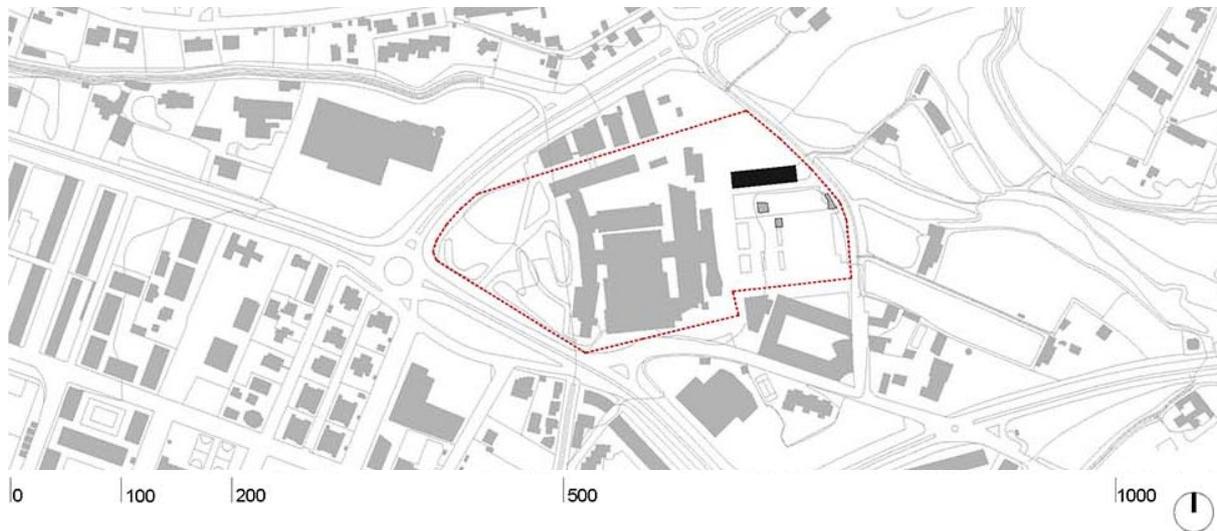


Figura 02

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

Fuente: Tectónica.archi

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 [1].

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 [1]. Cada planta tipo del edificio tiene una capacidad de entre 24 y 32 camas ocupando una superficie de unos 900 m² [4]. 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 [1].

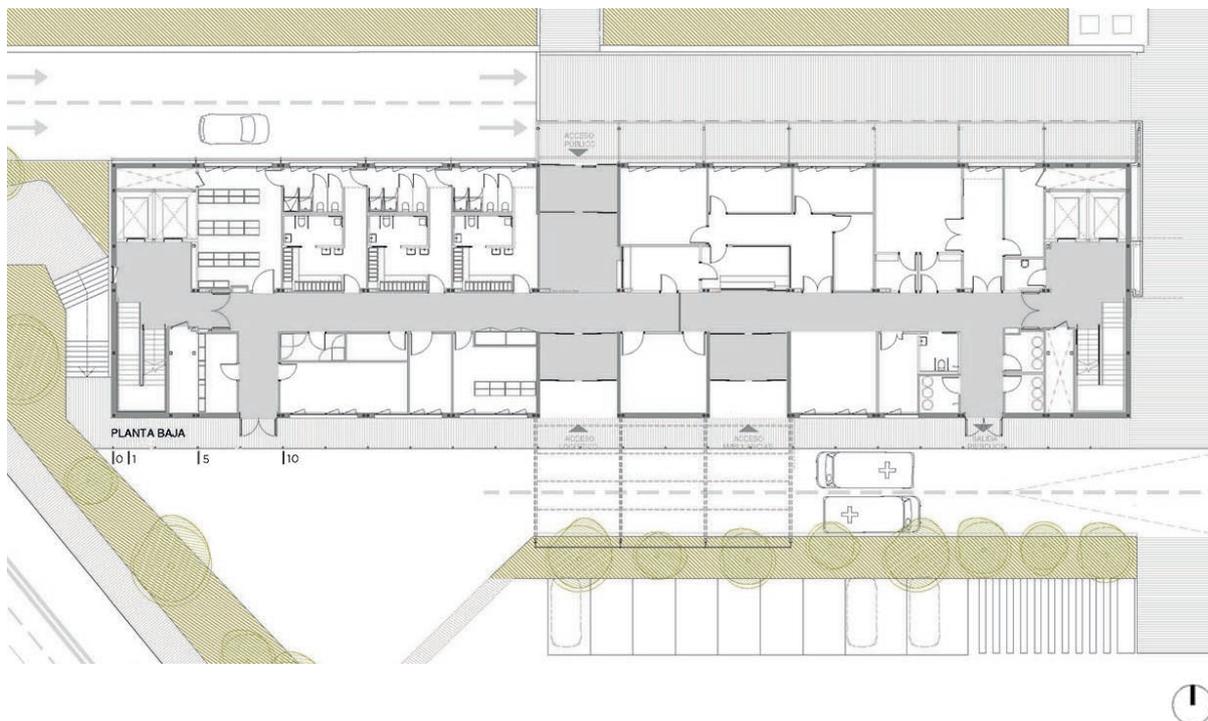


Figura 03

Plano de PB del nuevo edificio hospitalario polivalente

Fuente: Tectónica.archi

3.3. 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 [4].

Se diseñaron los módulos con una dimensión de 15 metros de largo por 5 metros de ancho, los cuales son autoestables para poder ser transportados y autoportantes, para poder soportar su propio peso y el que tengan sobre ellos [4]. 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

a una estructura metálica [3]. 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 [2].

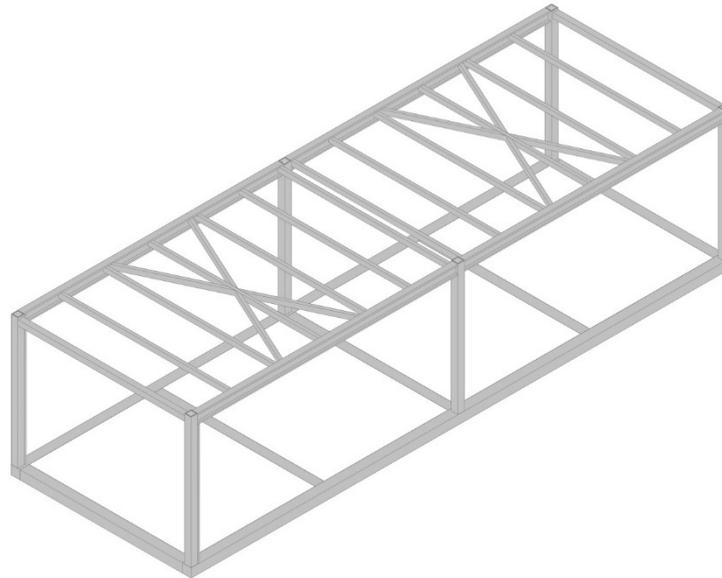


Figura 04

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

Fuente: Tectónica.archi

La empresa catalana Compact Habit se encargó de fabricar en un lapso aproximado de 14 semanas [3]. 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 [5].

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 [4]. 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 [3].

3.4. 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 [4]. 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 [3].

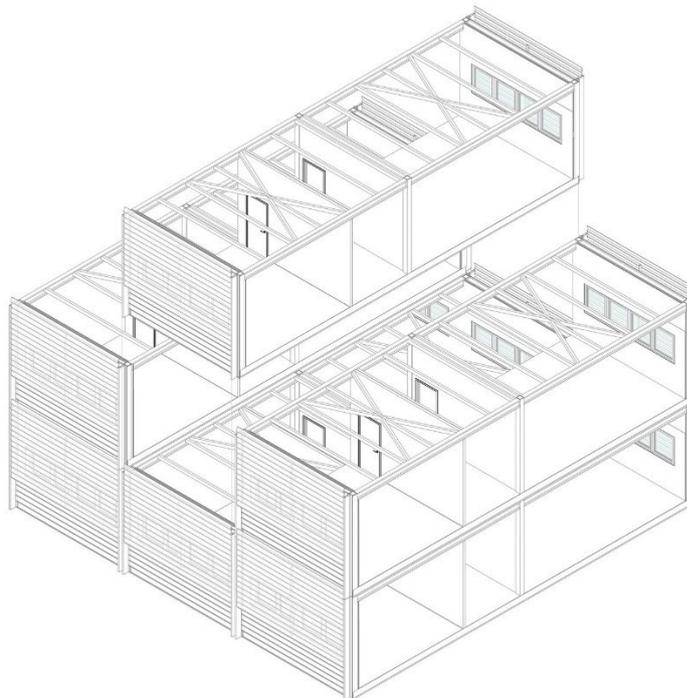


Figura 5

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

Fuente: Tectónica.archi

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 [3].



Figura 6
Fotografía fachada norte y plano de sección longitudinal
del edificio hospitalario polivalente
Fuente: Tectónica.archi

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 [3].

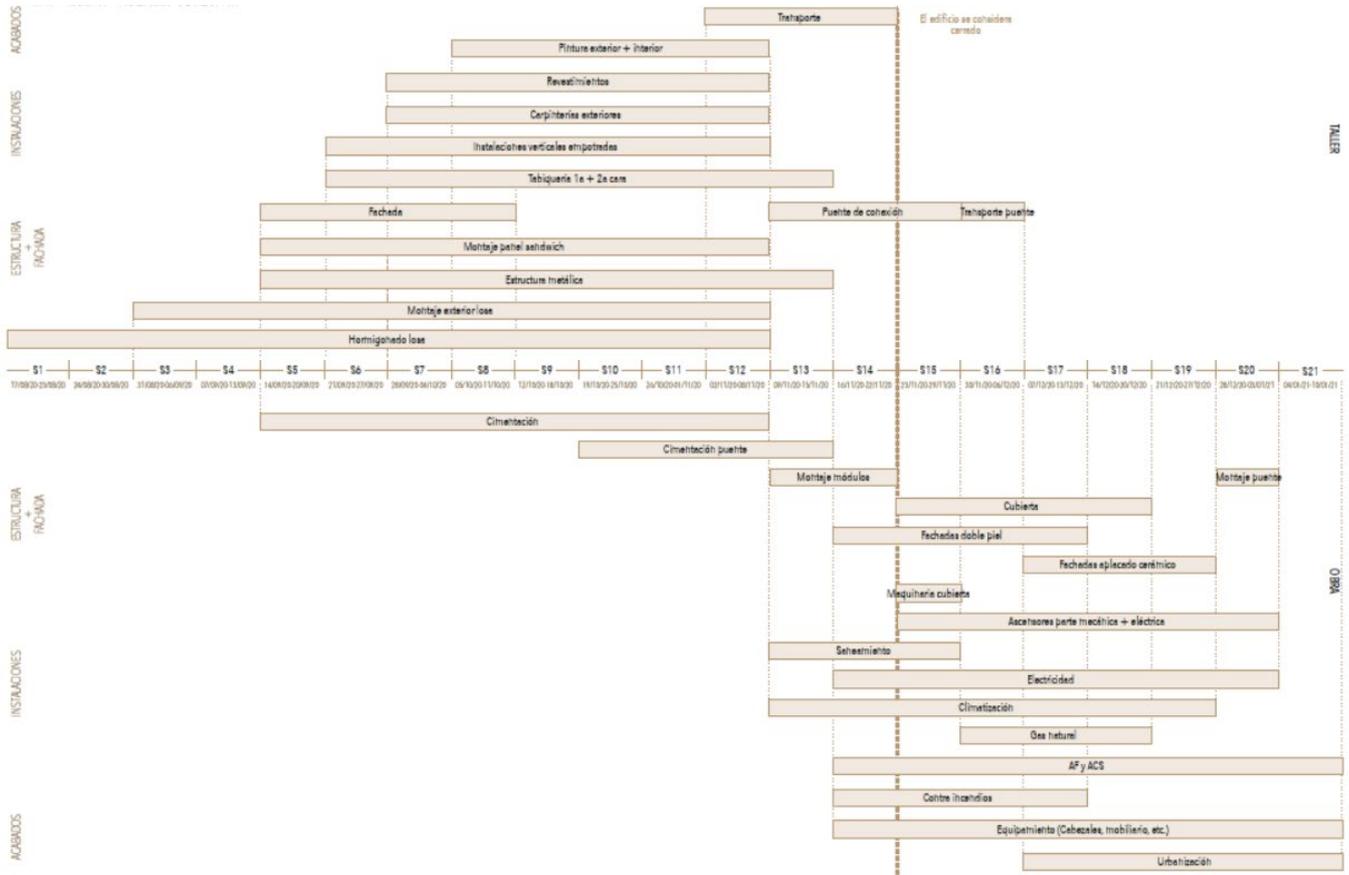


Figura 7

Cronograma del edificio hospitalario polivalente
Fuente: Filippovych O.

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 [3].

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 [4]. El seguimiento y participación semanal de todos los agentes de la obra ha sido fundamental, para controlar el proceso y ajustarse a los plazos [5].

3.5. 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 edificio 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 [8].

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 [8].

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 anexo [2].

4. CONCLUSIÓN

Con este proyecto del Edificio Hospitalario Polivalente del Hospital Universitari Arnau de Vilanova, Lleida evidencia la efectividad de la aplicación de la metodología Lean Construction para garantizar la innovación, la cohesión de los equipos de trabajo, la disminución de los plazos, aumento de la calidad y satisfacción de los clientes.

A mi parecer la etapa de definición del proyecto fue decisiva para definir su éxito, debido a que el equipo de diseño junto a al equipo de especialistas y el cliente, investigaron y analizaron las particularidades reales del problema que enfrentaban, y se trazaron los criterios y conceptos de diseños necesarios para resolverlos de manera eficiente.

Por ejemplo, la necesidad de construir rápidamente el edificio en un lapso de 4 meses era una de las premisas más relevantes presentadas por el cliente, el equipo de diseño tomo la decisión de implementar la construcción industrializada modular a pesar de no estar todavía plenamente generalizado en el mundo de la construcción porque era el proceso que mejor se ajustaba al plazo de entrega establecido. Para solventar los problemas derivados a este sistema constructivo poco habitual, tal como el estrecho margen para la detección y solución de cambios, se recurrió a reuniones semanales de todos los agentes especialistas, para acordar la solución más efectiva.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PMMT Arquitectura. *Edificio hospitalario polivalente en el Hospital Arnau Vilanova de Lleida*. Hospitecnia. URL: <https://hospitecnia.com/proyectos/edificio-hospitalario-polivalente-hospital-arnau-vilanova-lleida/> [Fecha de consulta: 07-05-2023]
2. PMMT Arquitectura (2021). *Edificio Hospitalario Polivalente, en el Hospital Universitario Arnau de Vilanova, Lleida. Tipologías Adaptadas a la Realidad*. Promateriles Nº 154, España.
3. Filippovych O. (2022) *Los Cinco Hospitales Satélite de Cataluña, Estudio Comparativo de los Sistemas Constructivos Utilizados en los Cinco Hospitales Satélite del Proyecto I-Compact Covid*.
4. Prieto N. (2021) *Edificio hospitalario polivalente, modular y de construcción off-site en el Hospital Universitari Arnau de Vilanova de Lleida, por PMMT arquitectura*. Tectónica. URL: <https://tectonica.archi/projects/edificio-en-el-hospital-universitari-arnau-de-vilanova-de-lleida-por-pmmt-arquitectura/> [Fecha de consulta: 08-10-2023]
5. PMMT Arquitectura. *I-Covid Hospital, Hospitales para contingencias especiales*. URL: <https://www.pmmtarquitectura.es/innovacion/i-covidhospital> [Fecha de consulta: 08-10-2023]
6. Pons J.F. (2014). *Introducción a Lean Construction*. Fundación Laboral de la Construcción, España.
7. Venegas J.C. (2011) *Innovación en procesos y herramientas para la Arquitectura actual. LEAN, BIM y AEC*.
8. Equipo de redactores de Crónica Global (2021) *El nuevo edificio del Arnau de Vilanova de Lleida acoge el hospital de día oncohematológico*. URL: https://cronicaglobal.elespanol.com/vida/20210614/el-edificio-arnau-de-vilanova-lleida-oncohematologico/588941223_0.html [Fecha de consulta: 15-10-2023]

6. REFERENCIAS GRAFICAS

Figura 01. Ballard, Glenn (2000). Lean Project Delivery System. LCI, White Paper 8.

Figura 02, 03, 04, 05, 06. Prieto N. (2021) Edificio hospitalario polivalente, modular y de construcción off-site en el Hospital Universitari Arnau de Vilanova de Lleida, por PMMT arquitectura. Tectónica. URL: <https://tectonica.archi/projects/edificio-en-el-hospital-universitari-arnau-de-vilanova-de-lleida-por-pmmt-arquitectura/>

Figura 07. Filippovych O. (2022) *Los Cinco Hospitales Satélite de Cataluña, Estudio Comparativo de los Sistemas Constructivos Utilizados en los Cinco Hospitales Satélite del Proyecto I-Compact Covid.*