



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER EN LOGÍSTICA

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN EN LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE EDIFICACIÓN.

Autor: DOMINGO GONZÁLEZ ALCÁNTARA

Tutor: ALFONSO REDONDO CASTÁN

Valladolid, Julio 2013

Proyecto: Aplicación de herramientas Lean en la gestión de proyectos de edificación.

Este trabajo en lo que a su propiedad intelectual, consulta, reproducción, difusión, etc., se refiere, está sujeto al “Reglamento sobre la elaboración y Evaluación del trabajo de Fin de Máster” aprobado por el Consejo de Gobierno de la Universidad de Valladolid el 20 de enero de 2013 (BOCyL Nº 35 – 20 de febrero de 2012).

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN. | 1 |
| 1.1. ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN. | 1 |
| 1.2. ALCANCE Y OBJETIVOS | 4 |
| 1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | 5 |
| 1.4. ORGANIZACIÓN DEL TFM | 7 |
| 2. ORGANIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN EN OBRAS DE EDIFICACIÓN. | 9 |
| 2.1. CONCEPTOS PREVIOS. | 9 |
| 2.2. PLANIFICACIÓN Y CONTROL. | 11 |
| 2.2.1. <i>Concepto de centro de producción.</i> | 12 |
| 2.2.2. <i>La obra de construcción como actividad de explotación.</i> | 13 |
| 2.2.3. <i>Técnicas de planificación aplicadas en el sector de la construcción.</i> | 14 |
| 2.2.4. <i>La actividad de gestión en las obras de construcción.</i> | 16 |
| 2.2.5. <i>Los recursos en una obra de construcción.</i> | 17 |
| 2.2.5.1. Recursos materiales. | 17 |
| 2.2.5.2. Recursos Humanos. | 19 |
| 2.3. ESTABLECIMIENTO DE LA ORGANIZACIÓN DE OBRA. | 21 |
| 2.3.1. <i>Estudio de la obra.</i> | 22 |
| 2.3.2. <i>El plan de obra.</i> | 23 |
| 2.3.2.1. Establecimiento del plan de obra. | 23 |
| 2.3.2.2. Desarrollo del plan de obra en planta. | 24 |
| 2.3.2.3. Estudio de interferencias y de afecciones al entorno. | 26 |
| 2.3.2.4. Tramitación de acometidas de obra. | 29 |
| 2.3.2.5. Determinación de las cantidades de materiales y ritmos de compras. | 29 |
| 2.3.2.6. Determinación de la cantidad de mano de obra necesaria. | 30 |
| 2.3.2.7. Determinación de las unidades a subcontratar. | 30 |
| 2.3.2.8. Definición de las instalaciones provisionales de obra. | 31 |
| 2.3.2.9. Definición de la maquinaria y medios auxiliares necesarios. | 31 |
| 2.3.3. <i>Programación temporal de los trabajos.</i> | 32 |
| 2.3.3.1. Conceptos previos. | 32 |
| 2.3.3.2. Definición de Actividades. | 33 |
| 2.3.3.3. Secuenciación de las Actividades. | 34 |
| 2.3.3.4. Estimación de los Recursos necesarios para la ejecución de las actividades. | 35 |
| 2.3.3.5. Estimación de la duración de las actividades. | 35 |
| 2.3.3.6. Desarrollo del Cronograma. | 36 |
| 2.4. ESTUDIO ECONÓMICO. | 37 |
| 2.4.1. <i>Elaboración y seguimiento del presupuesto del proyecto.</i> | 37 |
| 2.4.2. <i>Análisis financiero y necesidades de capital.</i> | 38 |
| 2.5. TAREAS DE GESTIÓN DURANTE LA FASE DE EJECUCIÓN. | 40 |
| 2.5.1. <i>Análisis del presupuesto de contrata y realización de las provisiones reales de ejecución.</i> | 40 |
| 2.5.2. <i>Gestión documental de los procesos de construcción.</i> | 41 |
| 2.5.3. <i>Gestión de contratos, suministros y proveedores.</i> | 42 |
| 2.5.4. <i>Gestión de la administración de los recursos.</i> | 42 |
| 2.5.5. <i>Gestión de los cambios del proyecto.</i> | 42 |
| 2.5.6. <i>Gestión económica de la obra.</i> | 44 |
| 2.5.7. <i>Gestión de la calidad requerida.</i> | 45 |
| 2.5.8. <i>Gestión del medio ambiente.</i> | 45 |
| 2.5.9. <i>Gestión de la prevención, seguridad y salud en el trabajo.</i> | 46 |
| 3. HERRAMIENTAS LEAN Y SU APLICACIÓN A LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE EDIFICACIÓN. | 47 |
| 3.1. CONCEPTOS PREVIOS. | 47 |
| 3.1.1. <i>Tipos de despilfarros.</i> | 48 |
| 3.1.2. <i>Herramientas Lean.</i> | 52 |
| 3.2. MAPAS DE CADENA DE VALOR. | 56 |

| | |
|--|------------|
| 3.2.1. Introducción. | 56 |
| 3.2.2. Aplicación práctica. Trazado del mapa de cadena de valor de la gestión logística en obras de edificación. | 58 |
| 3.2.3. Análisis del estado actual del mapa de cadena de valor trazado. | 61 |
| 3.2.3.1. Sobreproducción. | 61 |
| 3.2.3.2. Tiempos de espera. | 63 |
| 3.2.3.3. Transporte. | 66 |
| 3.2.3.4. Exceso de procesamiento. | 67 |
| 3.2.3.5. Inventario. | 68 |
| 3.2.3.6. Movimientos. | 70 |
| 3.2.3.7. Defectos. | 71 |
| 3.2.3.8. Conclusiones. | 71 |
| 3.2.4. Trazado del mapa de cadena de valor del estado futuro propuesto. | 72 |
| 3.3. 5 S's. | 74 |
| 3.3.1. Separar. | 75 |
| 3.3.2. Organizar. | 76 |
| 3.3.3. Limpiar. | 78 |
| 3.3.4. Estandarizar. | 79 |
| 3.3.5. Autodisciplina. | 80 |
| 3.3.6. Propuesta práctica de aplicación. | 80 |
| 3.3.7. Conclusiones. | 82 |
| 3.4. NIVELACIÓN, MEJORA CONTINÚA Y TRABAJO ESTANDARIZADO. | 84 |
| 3.4.1. Kaizen. Mejora continua. | 84 |
| 3.4.2. Planificación de la producción. | 85 |
| 3.4.3. Planificación de las necesidades de materiales. MRP. | 86 |
| 3.4.4. Trabajo estandarizado. | 87 |
| 3.4.5. Heijunka, nivelación de recursos. Aplicación práctica. | 88 |
| 3.5. ETIQUETAS KANBAN. | 90 |
| 3.6. SMED. | 91 |
| 3.7. JIDOKA. | 92 |
| 3.7.1. Aplicación práctica en construcción. | 92 |
| 4. LEAN CONSTRUCTION. SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR. | 95 |
| 4.1. CONCEPTOS PREVIOS. | 95 |
| 4.2. HERRAMIENTAS DE LEAN CONSTRUCTION. | 96 |
| 4.3. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ÚLTIMO PLANIFICADOR. | 99 |
| 4.3.1. Conceptos previos. | 99 |
| 4.3.2. Niveles de programación. | 101 |
| 4.3.2.1. El programa maestro. | 101 |
| 4.3.2.2. El programa de fase. | 101 |
| 4.3.2.3. El programa intermedio. | 102 |
| 4.3.2.4. El programa semanal. | 103 |
| 4.3.3. Consecuencias de su implantación. | 104 |
| 4.3.4. Conclusiones. | 105 |
| 4.4. LEAN PROJECT DELIVERY | 106 |
| 5. ESTUDIO ECONÓMICO | 109 |
| 5.1. REPERCUSIÓN ECONÓMICA DE LA IMPLANTACIÓN. | 109 |
| 5.1.1. Análisis estado actual. | 109 |
| 5.1.2. Estimación del ahorro producido. | 111 |
| 5.2. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA REALIZACIÓN DE ESTE ESTUDIO. | 113 |
| 5.2.1. Asignación de recursos. | 113 |
| 6. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO | 115 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS | 117 |

AGRADECIMIENTOS.

Me gustaría agradecer la ayuda prestada en la realización de este trabajo al tutor del mismo, D. Alfonso Redondo, por haberme dedicado parte de su preciado tiempo; y también por supuesto a mi familia, por su comprensión durante estos meses en los que no he podido prestarles toda la atención que merecen.

1. Introducción.

1.1. Antecedentes y motivación.

En el presente proyecto se ha realizado un análisis de la adaptación al sector de la construcción, ahora totalmente paralizado, de técnicas y herramientas utilizadas en la gestión logística en el ámbito de la producción industrial. Concretamente las herramientas desarrolladas en la metodología de trabajo Lean. Debido a mi experiencia profesional en el mundo de la construcción, me ha parecido interesante abordar el análisis de técnicas de trabajo estudiadas en los contenidos del máster y ampliamente utilizadas en otros sectores como el industrial o el de servicios, de forma que se pueda plantear la implantación de estas técnicas con el objetivo de mejorar los resultados que se obtienen con las técnicas tradicionales. La idea es combinar los nuevos conocimientos logísticos adquiridos, con la metodología tradicional empleada en la gestión de proyectos de construcción. En el desarrollo del proyecto se han analizado específicamente las posibilidades de implantación de las herramientas utilizadas en la gestión logística y organizativa de la metodología Lean y su adaptación a estos apartados de gestión en la producción de las obras de edificación. Para ello, en primer lugar se ha realizado una exposición de las técnicas y posteriormente se ha propuesto una aplicación práctica particularizada, acompañada de un estudio de los resultados obtenidos.

Se ha elegido la estrategia Lean Management porque se ha mostrado eficaz en muchos ámbitos productivos, y se ha convertido en un nuevo paradigma en la gestión empresarial que persigue maximizar el valor entregado al cliente de una forma constante y sostenida en el tiempo. Se basa en la eliminación de los desperdicios o ineficiencias presentes en los procesos como método de acercamiento a la mejora, tratando de obtener el máximo valor en los elementos producidos. Para buscar dicha mejora, los métodos tradicionales buscan primero las operaciones que añaden valor e intentan mejorarlas y frente a esta vía, los sistemas Lean se centran en buscar las operaciones que no aportan valor para intentar eliminarlas o, al menos, reducir las. No requiere de grandes inversiones, sino que afronta las modificaciones en los procesos desde un cambio de mentalidad de los agentes intervinientes y además su implantación es progresiva, en busca de la constante mejora de las operaciones. En este sentido probablemente es el modelo que se ha mostrado más eficaz en un entorno que demanda soluciones rápidas y flexibles al menor coste y con la máxima calidad. Los principales aspectos en los que se manifiesta la mejora en las operaciones con la aplicación de la metodología Lean son:

- Contribuye a dar visibilidad a los procesos internos, es decir, permite conocer cómo se desarrollan las actividades actualmente.
- Al implantarlos, se consigue ser más rápido y eficiente, eliminando pasos y etapas innecesarias.
- Reduce los niveles de stock y, por lo tanto, sus necesidades de financiación y el activo circulante.
- Mejora la calidad de los productos y por tanto el grado de satisfacción de los clientes, que es uno de los puntos débiles en la edificación y que además consume una gran cantidad de recursos.
- Puede guiar el cambio hacia una organización más eficiente, mejorando la productividad y los resultados económicos.
- Fomenta la innovación a todos los niveles de la empresa, volcada en encontrar nuevas formas de reducir los desperdicios para maximizar el valor entregado al cliente

El Lean Management utiliza un conjunto de herramientas para conseguir la implantación progresiva de su metodología de trabajo. Están agrupadas en una serie de técnicas iniciales, como el trazado de mapas de cadena de valor o las 5S's, sobre las que se asienta la aplicación de los dos principios más importantes que son el Just in Time y el Jidoka (no dejar pasar ningún defecto de la fase en la que se produce). La meta final a conseguir con estas técnicas es obtener una mayor calidad, una mayor seguridad, un menor coste y un menor lead time. En definitiva, el resultado es el incremento del valor de los productos obtenidos. Los desperdicios, o *mudas* en el argot propio de esta técnica, se agrupan de la siguiente forma: sobreproducción, esperas, transportes, sobreprocesar, exceso de inventarios, movimientos innecesarios y defectos; sobre la eliminación de estos elementos se centran los esfuerzos en la aplicación de las herramientas propias del sistema. Muchas de estas ineficiencias están presentes en las obras de edificación, siendo las más preocupantes los defectos y el retraso en los plazos de ejecución por lo que la aplicación de estas técnicas puede ofrecer una solución.

Los principios de la metodología Lean son los siguientes: calidad perfecta a la primera, minimización del despilfarro, mejora continua y reducción de costes, procesos "Pull", flexibilidad y establecimiento de relaciones estables con los proveedores. Estos principios y las técnicas que los persiguen han sido adaptados para lograr su implantación en diversos sectores, incluyendo el de la construcción con métodos específicos denominados Lean Construction o Construcción sin pérdidas. Estos métodos con sus herramientas específicas han sido desarrollados y han tenido una gran implantación en el mundo anglosajón y en Sudamérica con resultados contrastados. Sin embargo estos sistemas no son de aplicación completa y directa al sector de la construcción en España por un motivo fundamental: la gestión del proyecto no se realiza como un conjunto sino que se divide en fases gestionadas por agentes diferenciados. Solo en los pocos casos en los que la gestión de los proyectos se hace conforme a las técnicas de Project Management sería posible la adopción de estas metodologías. En la mayor parte de los casos se diferencia entre redacción del proyecto y construcción, sin la presencia de un agente que coordine y enlace estas fases, lo que imposibilita alinear los intereses del promotor conforme al Lean Construction. Estas técnicas se han analizado en este proyecto en un capítulo específico pero, debido a los problemas que presenta su implantación, la mayor parte del trabajo se ha centrado en el desarrollo de propuestas más concretas adaptadas a las particularidades de la construcción conforme a los métodos convencionales en España.

En las obras de edificación el apartado logístico es un componente fundamental y no siempre es gestionado de la mejor forma posible para obtener una mejora en el conjunto de las operaciones y resultados. No obstante, la gestión logística está cobrando cada vez mayor relevancia en el desarrollo de cualquier tipo de proceso productivo por lo que la implantación de una gestión eficiente en este ámbito puede otorgar a las organizaciones que lo desarrollen una ventaja competitiva en un mundo con una fuerte competencia, más aun en los momentos actuales en los que el sector de la construcción presenta serias dificultades debidas a la falta de proyectos tanto públicos como privados. En este sentido se ha considerado que la gestión conforme a los principios Lean podría aportar ventajas en el apartado logístico, y por extensión al conjunto de los procesos, de las obras de construcción

El desarrollo de proyectos de edificación en muchos apartados presenta grandes similitudes con las actividades realizadas en los procesos productivos, por lo que las técnicas ampliamente desarrolladas basadas en el concepto de logística integral pueden implementarse en el campo de las obras de construcción por medio de la planificación táctica y operativa. El objetivo de la logística integral es ofrecer el producto adecuado en el momento, lugar, cantidad y calidad precisos. Todo ello tratando de eliminar los conflictos entre intereses existentes, con el objetivo de minimizar no ya los costes parciales de cada función, sino los costes totales de la cadena logística. La logística integral se puede dividir en dos dimensiones:

- La **logística interna** que se encarga de planificar y gestionar todos los flujos de materiales y productos que tienen lugar en el interior de la empresa. En este caso se trata de los movimientos en el interior del solar donde se desarrollan los trabajos, con las particularidades que en este caso se presentan.
- La **logística externa** que, por el contrario, se centra en la planificación y gestión de los flujos de materiales y productos entre la empresa y los demás agentes intervinientes en la cadena logística: proveedores, distribuidores, clientes, transportistas, operadores logísticos, etc. En el caso particular aquí estudiado, por las características específicas del sistema productivo, con una configuración por proyecto, el resultado de los trabajos no requiere de un desplazamiento de producto terminado hacia los clientes sino que todas las operaciones se realizan alrededor del centro productivo.

Como nexo común a los dos puntos anteriores se necesita un proceso de coordinación e integración para alcanzar los objetivos logísticos que repercutan en el conjunto del proyecto, lo que requiere un intercambio constante de información.

Tradicionalmente en las obras de construcción, especialmente en las de tamaño pequeño y mediano, con presupuestos máximos en torno a 3 millones de euros, la organización logística en todos sus aspectos (aprovisionamiento, almacenamiento, interna, inversa...) no ha sido considerada como un aspecto esencial en el análisis de la planificación del desarrollo del proyecto. Generalmente esto es así salvo en aquellos casos en los que por una serie de condicionantes, el aspecto logístico se convierte en fundamental a la hora de desarrollar los trabajos. Entre estos casos podemos mencionar:

- Obras en solares de reducido tamaño o en entornos de difícil acceso, en los que no es posible disponer de zonas de acopio para almacenar los materiales necesarios para la ejecución.
- Proyectos en entornos urbanos con restricciones de accesos, por ejemplo en zonas peatonales o cascos históricos protegidos. En estos casos la limitación viene marcada por la limitación de los medios de transporte con los que puede accederse ya sea respecto al horario o al tamaño de los vehículos.
- Proyectos en espacios con algún tipo de protección en cuanto a emisión de ruidos o limitación horaria de movimientos internos y de accesos de materiales. Puede ser el caso de obras de ampliación o reforma de colegios, centros de salud, etc.

En todos los casos mencionados anteriormente es necesario realizar una planificación adecuada de forma que el suministro de materiales se realice de forma que no condicione el ritmo de las operaciones productivas por lo que la gestión logística cobra especial importancia en el momento de la programación de los trabajos.

Durante el desarrollo del trabajo se analizarán las posibilidades de implementar técnicas ampliamente contrastadas empleadas en la producción industrial, recogidas en los sistemas Lean Management. De esta forma se puede realizar un análisis de su aplicación desde el momento en el que se estudia la construcción de un proyecto de edificación. Cabe destacar que algunas de las técnicas tradicionales de las filosofías Just In Time o Lean ya se aplican de forma intuitiva en los trabajos de construcción, debido a que son técnicas basadas en el sentido común que buscan la reducción de costes y la optimización del desarrollo de las operaciones. No obstante, normalmente estas técnicas en el mundo de la construcción, no se aplican de forma sistematizada y planificada sino como consecuencia obligada de las características del material en cuestión o de las circunstancias propias de cada caso. Es, por ejemplo, el caso del suministro de hormigón desde las plantas de fabricación en el que se sigue el procedimiento Just In Time. Se trata de un material suministrado por un proveedor externo, con un tiempo limitado de puesta en obra de 90 minutos y sin posibilidad de almacenaje. Por lo tanto, es necesario planificar con antelación el pedido de forma que el suministro llegue en el momento preciso y en las condiciones adecuadas para que no se vea alterado el desempeño del resto de las operaciones. Este proceso que se hace de forma habitual por todos los intervinientes en él, y sin reparar en ello, puede servir como ejemplo de aplicación para el resto de suministros necesarios para el conjunto de los trabajos.

Actualmente la gestión logística se está imponiendo como herramienta de ventaja competitiva en todos los ámbitos empresariales. Las actividades de la gestión logística son aplicables a todas las organizaciones cuyo sistema de operaciones incluye un flujo permanente de materiales, indispensables para el desarrollo de sus trabajos. En este caso la particularidad que presenta el sector de la construcción es la forma de trabajo por proyectos en las que el flujo de materiales e información se organiza alrededor del centro de producción, y en el que no existe un flujo de producto terminado hacia el consumidor final. Además, también se caracteriza por el empleo de recursos humanos de forma intensiva y porque las operaciones están expuestas a las inclemencias meteorológicas.

Como se comentaba anteriormente la logística determina y coordina en forma óptima el producto correcto, para el cliente apropiado, en el lugar adecuado y en el tiempo preciso. A través de un detallado análisis de la demanda en términos de nivel, localización y tiempo, es posible determinar el punto de partida para el logro del resultado final de la actividad logística y atender dicha demanda en términos de costes y efectividad. La logística no es, por lo tanto, una actividad funcional sino un modelo, un marco referencial. No es una función operacional, sino un mecanismo de planificación; es una manera de pensar que permitirá incluso reducir la incertidumbre en un futuro desconocido. La demanda en este caso está determinada por la planificación prevista, que debe estar debidamente reflejada en la programación temporal de los trabajos a realizar de forma que el flujo de materiales y la información asociada satisfaga de forma correcta y al menor coste posible dichas necesidades.

Hoy en día el apartado logístico es un asunto tan importante que muchas empresas, incluso en el ámbito de la construcción, crean áreas específicas para su tratamiento y es en la actualidad un aspecto básico en los planteamientos estratégicos de las organizaciones. Anteriormente, la logística era solamente tener el producto justo, en el sitio adecuado, en el tiempo oportuno y al menor coste posible, actualmente estas actividades aparentemente sencillas han sido redefinidas y ahora son un intrincado conjunto de procesos que abarcan todos los aspectos operacionales.

1.2. Alcance y Objetivos

El objetivo último del presente proyecto es ofrecer una serie de alternativas que complementen los métodos tradicionales de planificación, organización y gestión logística en las obras de edificación, de forma que permitan obtener un mejor nivel de resultados en cuanto a la calidad, a los costes y a los plazos necesarios para la ejecución de un proyecto. Este objetivo se va a tratar de conseguir a partir del estudio de las herramientas utilizadas en la metodología Lean, analizando su posible implantación en la gestión de los proyectos de edificación. Como se mencionaba anteriormente la reducción de los desperdicios es la forma de obtención de las mejoras utilizando para ello las técnicas y herramientas en este proyecto estudiadas.

Hay que destacar que las propuestas realizadas se han particularizado para el campo de la edificación, diferenciando como tal este área dentro de un conjunto mayor como es la construcción en general. Las grandes obras públicas, entendidas como la construcción de infraestructuras, presentan unos requerimientos específicos en los que la gestión logística tiene unos aspectos claramente diferenciados. Esto es así debido a que en su mayor parte, se trata de obras que tienen una gran extensión y distribución geográfica, como carreteras o vías férreas, lo que hace que los procesos logísticos necesarios presenten unas características totalmente diferenciadas que quedan fuera del alcance de este proyecto.

Para conseguir los objetivos marcados se ha realizado un análisis particular de cada una de las herramientas disponibles, así como una propuesta concreta de aplicación. El proyecto se ha centrado en el análisis de los medios existentes para implantar la metodología Lean, más que en tratar de conseguir el fin último que sería la implantación de dicha metodología. Es decir, que las herramientas son un medio para conseguir un fin, y sobre el estudio de estos medios se ha realizado el estudio. Por lo tanto, se ha realizado un análisis específico herramienta a herramienta, proponiendo una serie de actuaciones a desarrollar para su adaptación, de forma que permitan obtener una base sobre la que trabajar a partir del conocimiento completo del desarrollo de las operaciones. Cabe destacar que en este trabajo no se ha tratado de obtener una metodología completa que recoja la totalidad de las herramientas o de asumir la filosofía Lean en el conjunto de la empresa. En ese sentido, ya existen adaptaciones para la implantación completa del Lean Management al sector de la construcción que han sido desarrollados por diversos autores como Ballard y Koskela, y presentan técnicas concretas dentro del Lean Construction o Construcción sin pérdidas que serán analizadas específicamente en uno de los capítulos de este trabajo.

El fin de la estrategia Lean es eliminar el desperdicio, es decir, todo aquello que no aporta valor al cliente para lo que se apoya en una serie de herramientas, aplicándolas a los distintos procesos que constituyen el sistema productivo. Como se ha mencionado, el objetivo es combinar estas técnicas con las prácticas tradicionales de forma que se consiga una mejora en los resultados obtenidos. En el ámbito industrial la aplicación de las herramientas cobra sentido en la implantación del Lean cuando se aplican como parte de un conjunto. Debido a las grandes diferencias entre el ámbito industrial y el de la construcción, el proyecto se ha planteado como una fase inicial en la adopción de este sistema de trabajo. A la vista de los resultados, y en función de la empresa y de su forma de trabajo, podría considerarse la elaboración de un plan de acción o metodología para asumir la estrategia Lean al completo. Aunque, hay que considerar que implantar Lean en una empresa no es tarea fácil, ya que requiere de un profundo cambio cultural y un planteamiento de consecución de objetivos a largo plazo. En primer lugar es necesario contar con la implicación de todos los agentes, desde los empleados hasta los proveedores o subcontratas, y empezando por un compromiso decidido de la dirección. También se debe invertir en su desarrollo y plantearse la necesidad de adoptar como meta la creación de procesos estables, flexibles y constantemente mejorables.

La principal ventaja que presenta el estudio de aplicación de estas herramientas, aun realizado de manera aislada, es que nos ofrecen un conocimiento de la forma en la que se llevan a cabo los procesos de la empresa que de otra manera no se hubiese alcanzado. Es decir, con el solo hecho de plantearse la adopción de las herramientas Lean se realiza un estudio del estado actual en el que se desarrollan las actividades en la empresa lo que nos dará una medida de su desempeño. Independientemente de la idoneidad de las técnicas estudiadas, la realización de un estudio de este tipo proporciona un reflejo de la forma en la que se desarrollan las operaciones que hará plantearse la adopción de soluciones para problemas desconocidos hasta la elaboración del estudio.

La consecución de los objetivos se ha cuantificado en un capítulo específico, analizando por un lado el ahorro que podría suponer la aplicación de las propuestas realizadas en una obra tipo, y contrastando dicho resultado con el coste de la elaboración del estudio inicial que aporte la información sobre el estado actual.

1.3. Descripción del proyecto

El trabajo se ha dividido en tres grandes bloques claramente diferenciados, por un lado está el capítulo inicial en el que se realiza una descripción de las tareas habituales de gestión del apartado logístico en las obras de edificación. Este apartado pretende ser una exposición, a modo de estado del arte, en la que se ofrezca la información para que una persona ajena al sector pueda entender cómo se llevan a cabo las operaciones en este campo. Se ha comenzado con una introducción en la que se exponen los tipos de gestión habituales de proyectos y que van a condicionar la forma de desarrollar las actividades logísticas en gran medida. Como punto básico en este apartado se han dado las dos acepciones de proyecto que se utilizan habitualmente. La más amplia, entendiendo proyecto como esfuerzo temporal para la consecución de un objetivo o fin único, y que engloba el conjunto de fases necesarias para su desarrollo. Posteriormente se han detallado de forma ordenada el conjunto de acciones que se llevan a cabo en la gestión de dichos proyectos, desde la planificación y programación de las actividades, hasta la gestión económica pasando por las actividades logísticas y de determinación de las necesidades de materiales.

En el segundo bloque se ha realizado una presentación de los planteamientos Lean para pasar posteriormente al desarrollo específico de las técnicas que pueden aportar una mejora de las actividades anteriormente detalladas y que conduzcan a una mejora efectiva en los resultados del conjunto de las operaciones. En este bloque es donde se ha realizado una mayor aportación personal para tratar de resolver los problemas enunciados en la exposición de motivos. En el estudio de las técnicas Lean, en primer lugar se ha hecho una introducción describiendo en que consiste este sistema de gestión que tuvo su origen el sistema de producción de Toyota. Después de describir de forma más extensa los siete grupos de mudas con un ejemplo de estas en las obras de construcción se pasa de lleno al análisis de las herramientas Lean. La implantación del Lean se suele representar con un esquema en forma de casa en el que la base o cimientos está formado por las técnicas básicas. Entre ellas figura el trazado de mapas de cadena de valor (VSM) que es la herramienta que nos va a facilitar la información inicial sobre el estado en el que se desarrollan las operaciones, manifestando además las mudas presentes. En su desarrollo se sigue un proceso iterativo, en el que en primer lugar se estudian como se realizan los procesos en el estado actual para su trazado y a la vez que se va dibujando el estado futuro que recoge las mejoras propuestas de eliminación de los elementos que no aportan valor. El proceso concluye con un plan de implantación en el que se recogen la forma en la que se van a poner en práctica las modificaciones en los procesos. En este caso se ha trazado el mapa de cadena de valor de la gestión logística en las obras de edificación, que engloba desde el análisis de los materiales necesarios hasta su puesta en obra. Las ineficiencias detectadas se han agrupado según su tipo y se han propuesto soluciones concretas de mejora.

La siguiente técnica analizada han sido las 5S's, denominada así porque representa cinco acciones que empiezan por S en japonés: clasificar, ordenar, limpiar, estandarizar y autodisciplina. Se puede dudar si implantar en primer lugar esta técnica o la anterior pero parece más adecuado hacerlo en este orden ya que lo más importante es identificar los desperdicios. Y esto es precisamente lo que hace el VSM, por lo que las 5S's pueden ser una propuesta de actuación derivada del análisis anterior para una zona en concreto. Como en el caso de la herramienta precedente, primero se ha realizado una presentación de la herramienta y paralelamente una propuesta concreta para cada una de las acciones en el caso estudiado. El estudio de las técnicas iniciales se ha completado con las propuestas para conseguir un flujo nivelado con unas operaciones estandarizadas. También se han descrito el resto de herramientas básicas, aunque con una adaptación más difícil a la gestión en obras de edificación. Estas herramientas son el SMED, o cambio rápido de utillajes, el QFD o despliegue de la función de calidad sin posibilidad de adaptación al no incluirse la fase de diseño en las operaciones y el TPM o mantenimiento preventivo.

Hasta ahora se han descrito las técnicas que forman la base del sistema, sobre estas se apoyan los dos pilares que sustentan el edificio del Lean: el Just In Time y el Jidoka. El JIT puede aportar mejoras concretas en la forma de gestionar los almacenes y los flujos de materiales hasta los puntos donde van a ser consumidos. No obstante, parece más interesante la adopción del Jidoka como forma de actuación, ya que propone acciones que mejoran uno de los puntos que generan una mayor cantidad de desperdicios, es decir, los defectos. El Jidoka propone actuar contra los defectos en el momento y lugar donde se producen sin dejarlos avanzar en el proceso constructivo. Con esta forma de proceder se reduciría en gran medida la necesidad de realizar repasos posteriores a la entrega de los trabajos, reduciendo el coste de los equipos postventa y mejorando la imagen de la empresa. En el análisis de estas dos herramientas troncales se ha procedido de la misma forma, describiendo su forma de actuar original y proponiendo una adaptación concreta.

Como se ha comentado a lo largo del proyecto, las técnicas existentes de Lean para el sector de la construcción están pensadas para situaciones en las que los proyectos se gestionan como un conjunto englobando fase de diseño y construcción. En la mayor parte de los proyectos de obra que se llevan a cabo en España la fase de ejecución no tiene conexión con la de diseño, lo que impide aplicar las herramientas que tienen su fundamento en la relación entre ambas fases. En este caso lo que se ha hecho ha sido adaptar las técnicas de forma más particularizada para los aspectos concretos de la gestión logística de las obras de edificación. Especialmente se ha centrado en la logística interna, contemplando todas las operaciones desde que se analiza el proyecto y se analizan las necesidades de materiales.

Hay que destacar que gran parte de las soluciones propuestas han pasado por una mejora de los flujos de comunicación. Este aspecto también se manifiesta en el análisis del VSM, por lo que en el estado futuro propuesto se indican acciones que permitan la automatización de dichos flujos. Estas acciones pueden ser la implantación de sistemas MRP o mecanismos de comunicación informatizados entre los distintos departamentos de la empresa implicados, como pueden ser compras o administración.

En el tercer bloque se han analizado los sistemas específicos de gestión Lean para el mundo de la gestión de proyectos de construcción. Se trata de metodologías muy ambiciosas que abarcan el conjunto de las operaciones y departamentos de la empresa. Necesitan una fuerte determinación para llevarse a cabo ya que necesitan que el resto de agentes intervinientes adopten las mismas técnicas de trabajo Lean. Dentro de las técnicas que utilizan, hay una en concreto que presenta posibilidades reales de aplicación en la gestión convencional realizada en nuestro país. Se trata de un método de planificación denominado Sistema del Último Planificador (SUP) que se ha mostrado eficaz en su utilización en otros países donde la extensión de estos métodos es mayor. Este sistema de planificación está basado en el seguimiento continuo del desarrollo de los trabajos, dividiendo el plano temporal en diversas fases con actuaciones diferenciadas en cada una de ellas. La misión fundamental de este método es alinear lo que puede hacerse en un periodo corto de tiempo con lo que realmente se hará. Se basa en la gestión de las restricciones que impiden el desarrollo de los trabajos previstos. El SUP convierte los proyectos en cadenas de pequeños compromisos que han de renovarse permanentemente. Las revisiones de los compromisos en diferentes niveles de la planificación (inicial, semanal y diario) y los horizontes de tiempo más cercanos, favorecen que el trabajo fluya de manera más predecible y, por lo tanto, más confiable. La utilización de este sistema de planificación es compatible con las mejoras propuestas en el apartado anterior y pueden utilizarse de forma conjunta para maximizar los resultados obtenidos.

Precisamente la cuantificación de los resultados obtenidos se ha realizado en el capítulo destinado al estudio económico de la repercusión de estas técnicas. En este capítulo se hace referencia a estudios realizados en otros países en los que se ha calculado la presencia de desperdicios hasta en un 30% sobre el coste total de la construcción. En nuestro caso parece que este porcentaje es muy elevado y se ha realizado una estimación, del porcentaje que podría reducirse con la aplicación de las propuestas desarrolladas. La estimación de los costes se ha referenciado a una obra tipo, con un presupuesto de unos 2 millones de euros. La mayor parte de estas propuestas, como propugna la filosofía Lean, no tienen un coste significativo de implantación sino que se fundamentan en una modificación de la forma de llevar a cabo los procesos. Como se ha comentado, requiere de un cambio de mentalidad de todos los implicados y de una determinación firme de la dirección de la empresa, de forma que de forma continuada se puedan alcanzar los resultados previstos.

El trabajo termina con la presentación de unas conclusiones en las que se refleja el grado de cumplimiento de los objetivos que se podría obtener con las propuestas planteadas. De igual manera se detallan las líneas futuras de actuación que podrían seguirse a la vista de los resultados obtenidos. En este sentido parece que el siguiente paso lógico a realizar sería la ampliación del rango de actuación para la obtención de una metodología que recoja de forma ordenada el conjunto de propuestas. Aunque para que este sea realmente eficaz debería referirse a un tipo concreto de obra.

Por lo tanto, como se puede ver, en el desarrollo del trabajo se ha seguido un esquema escalonado aportando inicialmente la información necesaria que permita comprender como se desarrollan las actividades en el estado actual con el empleo de las técnicas convencionales. Posteriormente se han ido introduciendo los temas específicos realizando las propuestas concretas tratando de combinar ambos sectores, la producción industrial con la producción en construcción, que aunque tienen puntos en común difieren en bastantes aspectos. El siguiente paso ha sido el análisis de los sistemas Lean adaptados para la construcción por diversos autores. Y por último se ha tratado de cuantificar los resultados obtenidos, aportando datos que sirvan de referencia para estimar la conveniencia de la aplicación del método elegido.

1.4. Organización del TFM

El desarrollo del trabajo se ha estructurado en seis capítulos, en los que se ha combinado una introducción teórica del tema tratado con las propuestas prácticas concretas realizadas. Los contenidos de estos capítulos son los siguientes:

- **Capítulo 1.** En él se incluye la presente introducción en la que se detalla el planteamiento, el alcance y los objetivos que se pretenden alcanzar, así como una descripción o resumen del trabajo realizado. En definitiva, de lo que se trata en este capítulo es presentar el tema que se va a desarrollar a continuación, así como una justificación de las causas que han motivado la elección de este tema.
- **Capítulo 2.** En este capítulo se ha realizado un análisis de los métodos de planificación y programación empleados habitualmente en la gestión de proyectos en el sector de la construcción. Pretende ser una guía que dé a conocer la forma de actuar en el desarrollo de los proyectos de edificación, englobando todas las acciones que se llevan a cabo. Desde la planificación y el establecimiento de la organización de obra, hasta la programación temporal y el análisis económico. Es la forma de dar a conocer a personas ajenas al sector la forma en la que se desarrollan las operaciones.
- **Capítulo 3.** Incluye el desarrollo del estudio de la aplicación práctica de la herramientas Lean y su adaptación a la gestión de proyectos de edificación. Aunque cuenta con una parte teórica, en la que se definen y exponen los conceptos básicos del Lean Management, es básicamente práctico ya que en él se incluyen las propuestas concretas de actuación que pueden suponer una reducción del despilfarro en los puntos detectados. El objetivo ha sido presentar acciones que incrementen el valor de los procesos analizados y que sean realistas en su puesta en práctica.
- **Capítulo 4.** En este apartado se ha incluido un estudio y un análisis de los modelos de gestión existentes adaptados al sector de la construcción, se trata del Lean Construction o Construcción sin pérdidas. Son modelos pocos extendidos en España, debido a las diferencias que hay entre las formas de gestionar los proyectos en los países donde se ha desarrollado y las existentes en nuestro país. En este aspecto además de la exposición para dar a conocer su contenido se ha realizado un análisis de su implantación. Destacando las ventajas e inconvenientes que presentan. Este punto se ha desarrollado en esta posición para permitir su análisis como sistemas integrados frente a las aportaciones parciales realizadas en el capítulo anterior.
- **Capítulo 5.** Donde se desarrolla el estudio económico tanto de la implantación del sistema propuesto como del coste que tendría para una empresa la elaboración de un estudio de estas características. Se han contemplado las medidas analizadas en los dos capítulos anteriores, combinando propuestas propias con técnicas como el Sistema del Último Planificador del Lean Construction. Se ha tratado de cuantificar el alcance conseguido con la aplicación de las propuestas realizadas, de forma que pueda valorarse la conveniencia de su implantación real. En este capítulo también se ha realizado el estudio económico del desarrollo de un informe de este tipo, que daría una información inicial sobre la que desarrollar actuaciones futuras.
- **Capítulo 6.** Este capítulo está dedicado a las conclusiones y líneas futuras de actuación. Con él se concluye el proyecto realizando un análisis general del estudio, la aportación de conocimiento realizado y las posibles direcciones de investigación futura que pueden seguirse a partir del presente proyecto.

2. Organización y planificación en obras de edificación.

En este capítulo se va a realizar una exposición de los métodos tradicionales empleados habitualmente en la organización y planificación de obras de edificación. No se pretende realizar un análisis pormenorizado de cada una de las actividades sino una pequeña descripción de dichas tareas. El objetivo de este capítulo es ofrecer una información básica del estado actual para tener una referencia con la que contrastar en capítulos sucesivos las mejoras que pueden aportar la aplicación de las técnicas Lean.

2.1. Conceptos previos.

Conviene aclarar en primer lugar, las diferencias entre las dos posibles acepciones del término *proyecto* utilizadas en el ámbito de la gestión de proyectos en construcción. Como una primera definición podemos considerar, en un sentido más amplio, **proyecto** como la combinación de recursos reunidos en una organización temporal con un propósito determinado, o como define el Project Manager Institute en su guía de los fundamentos para la dirección de proyectos: “Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único”.

Frente a esta acepción hay que diferenciar entre proyecto entendido como esfuerzo temporal, que indica un principio y un final definidos, y la acepción más clásica y particularizada del término que define un proyecto como conjunto de la documentación elaborada (planos, memorias, mediciones, presupuestos, pliegos de condiciones, etc.) necesarios para la correcta y completa ejecución de una obra.

Atendiendo a la primera acepción, que otorga una visión más general de todo el conjunto de procesos necesarios para la realización de una obra de construcción, la gestión de los proyectos de edificación puede acometerse desde dos puntos de vista:

- **SISTEMA TRADICIONAL.** Consistente en un esquema lineal en el cual un promotor encarga el diseño del proyecto a un Arquitecto, contrata a una empresa que se ocupa de la ejecución de la obra y cuenta con la dirección facultativa correspondiente que puede coincidir o no con el equipo de diseño. El esquema de forma lineal sería el siguiente:

DISEÑO ⇒ CONTRATACIÓN ⇒ CONSTRUCCIÓN

Como reflejo de este esquema lineal el sistema es poco flexible a los cambios, y cuanto más tarde se produzcan mayor coste en el conjunto del proyecto representarán. Por motivos obvios, al no poder solapar etapas se requiere una mayor disponibilidad de tiempo para la totalidad de las fases que engloban el proyecto. Con este sistema, ampliamente utilizado, las distintas fases del proyecto (diseño, ejecución, etc.) no se solapan en su ejecución ya que es necesario que la anterior esté completamente definida y validada para que pueda iniciarse la siguiente. Este es el sistema empleado generalmente en la ejecución de obras por las administraciones públicas, en las que además el tiempo de gestión se incrementa debido a los plazos intermedios necesarios para los procesos de licitación y adjudicación. Además al no existir una figura, salvo el promotor, que coordine todas las fases, no hay una conexión directa entre los distintos implicados que permita el trabajo con un objetivo único.

- **PROJECT MANAGEMENT.** En este caso el promotor encarga la gestión del proyecto a un profesional que se encarga de velar por sus intereses, contratando los distintos aspectos necesarios con todos los intervinientes en el proceso. La tarea de este profesional es equilibrar los objetivos de plazo, coste y calidad. Es decir, en una definición clásica la dirección de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas orientadas a cumplir los objetivos del proyecto, equilibrado calidad, coste y plazo de ejecución.

El Project Manager debe contar con experiencia en el sistema tradicional y los sistemas alternativos, convirtiéndose en un consejero fiable de la Propiedad en la definición de la distribución de los riesgos. Esta figura es especialmente recomendable en los casos en los que la propiedad no cuenta con la experiencia o recursos necesarios para afrontar por si mismo la gestión del proyecto.

En este caso el Project Management presenta típicamente dos formatos:

- **PM de Agencia.** En el que el promotor utiliza los servicios profesionales especializados del PM como consultor y/o gestor del proceso a lo largo del ciclo de vida del proyecto, independientemente del sistema de ejecución de obra utilizado.
- **PM a Riesgo.** En este caso el Promotor utiliza al PM como consultor en las fases de Prediseño y Diseño, y posteriormente, durante la fase de construcción, el rol del PM es equivalente al de un contratista general, una vez que se establece un precio par la ejecución de la obra.

En contraposición al sistema tradicional de ejecución de proyectos, el Project Management ofrece principalmente las siguientes ventajas:

- Reducción de plazos al poder solapar etapas. Es el proceso conocido como Fast-Track.
- Flexibilidad ante los cambios.
- Mejor control del proyecto por parte de la propiedad.

El Project Management se desarrolla mediante la aplicación de una serie de controles de los procesos de diseño y construcción que se acercan más a los procedimientos empleados en otras ramas de la ingeniería. Desde este punto de vista las confluencias con la filosofía de trabajo Lean son mayores ya que entran en acción conceptos como Ingeniería de Valor y aplicación de Ingeniería Simultánea. Atendiendo a estos criterios la mejora de los procesos repercutirá de forma considerable tanto en los plazos de ejecución como en los costes de la ejecución del proyecto.

Independientemente del sistema de gestión elegido podemos dividir la vida de un proyecto en **fases**. Las fases de un proyecto suelen completarse de forma secuencial (sin solapamientos) pero en determinadas situaciones del desarrollo de un proyecto pueden superponerse. La estructuración en fases permite la segmentación de un proyecto en subconjuntos lógicos para facilitar su dirección, planificación y control. El número de fases así como la necesidad de aplicarlas y el grado de control preciso para cada una de ellas depende del tamaño, la complejidad y el impacto potencial del proyecto. Independientemente de la cantidad de fases que compongan un proyecto, todas ellas poseen características similares: por ejemplo cuando las fases son secuenciales, el cierre de una fase termina con la transferencia o entrega del trabajo producido que sirve como inicio de la fase siguiente. La terminación de esta fase representa un punto o hito para el control del trabajo realizado hasta la fecha y en caso de ser necesario sirve para analizar la inclusión de cambios o modificaciones en el proyecto. Otro aspecto común es que el trabajo realizado en una fase tiene un enfoque único que difiere del de resto de fases. Esto puede involucrar en su desempeño a diferentes organizaciones o estamentos ya sea dentro de la empresa o ajenos a ella.

Las principales fases en las que se puede dividir la gestión de un proyecto de construcción son las siguientes:

- **FASE CONCEPTUAL O DE VIABILIDAD.** En esta fase se realiza la recopilación y análisis de la información económica, financiera, de mercado y de plazos de ejecución necesarios para la realización de un anteproyecto que deberá ser aprobado por la propiedad. Con el análisis de viabilidad se determina si la operación se puede realizar e incluye una primera referencia presupuestaria del proyecto.

Concretamente, en el caso de obras de edificación esta fase se corresponde con el estudio previo que determina la conveniencia de abordar el proyecto de construcción de un edificio ya definido previamente en la mayoría de los casos.

- **FASE DE DEFINICIÓN.** Engloba las tareas de diseño y elaboración de los documentos necesarios para la ejecución física de la obra, conforme a los requerimientos previos y el programa de necesidades. Debe estar basado en el concepto de ingeniería concurrente, en el que hay un flujo de información desde las distintas fases que intervienen en el conjunto de trabajos del proyecto, que revierte sobre esta fase. Particularizando en el caso de empresas constructoras en esta fase se realizan todos los documentos necesarios para la gestión de la fase siguiente. Se incluyen en este aspecto el estudio de obra, el plan de obra que recoja todas las estimaciones de los recursos necesarios, la planificación de los trabajos, la elaboración del presupuesto objetivo, etc.

- **FASE DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO.** En esta fase, sobre la que se vuelca toda la información obtenida en las fases anteriores, se lleva a cabo la ejecución física de los trabajos. A su vez, también puede desglosarse en fases de menor tamaño pero que presentan grandes similitudes entre sí en cuanto a los procesos de gestión que requieren. Se trata por tanto de procesos iterativos, que presentan diversos tipos de dependencias o enlaces entre ellos, y cuya secuenciación debe haberse definido previamente. Representa la etapa con mayores necesidades de recursos y tiempo y puede considerarse la fase principal de todo proyecto, si bien su éxito se basa en la calidad del trabajo realizado en las fases previas.
- **FASE DE DESACTIVACIÓN.** Constituye la última fase del ciclo de vida del proyecto. No es un hito sino una etapa que es necesario planificar y programar, y por lo tanto requiere la asignación de recursos para llevarla a cabo. Puede prolongarse en el tiempo en función de las condiciones particulares que se hayan pactado con la propiedad. También cuenta con elementos similares a los procesos de logística inversa llevados a cabo en otros ámbitos, por ejemplo, con las devoluciones y desmantelamiento de las instalaciones provisionales necesarias para el desarrollo de la obra. Podemos incluir en esta fase la liquidación con los contratistas y la propiedad, el cierre de las tramitaciones y legalizaciones para la puesta en marcha del edificio y el cierre societario en el caso de que el proyecto haya sido asumido por una empresa creada específicamente o UTE.

Cuando los proyectos constan de varias fases, estas son parte de un proceso que generalmente es secuencial, diseñado para asegurar el control apropiado del proyecto y obtener los resultados previstos para el edificio a construir. Sin embargo, indeterminadas situaciones, un proyecto puede beneficiarse mediante el desarrollo de fases superpuestas o simultáneas.

Otro concepto a definir es este apartado es la **Estructura de Desagregación del Proyecto** o EDP. Se trata de un modelo sistémico del alcance y la configuración del proyecto, considerando todos sus aspectos y componentes, incluso el entorno. Tiene su origen en el mundo anglosajón donde se habla de WBS o Work Breakdown Structure. El nivel adecuado de desagregación, o división en partes no tiene porque corresponderse con unidades específicas de obra ya que abarca un concepto más amplio y debe ser definido por el gestor del proyecto de forma que sea controlable. Este sistema constituye la base para la planificación y el control del proyecto, incluyendo la programación de tareas, la asignación de responsables, la estimación de costes, la asignación de recursos, la identificación de los riesgos y la identificación de potenciales conflictos. En el sistema tradicional de gestión de proyectos, la desagregación se centra en la fase de ejecución, siguiendo principalmente la base de las mediciones por capítulos y unidades de obra. Por el contrario en el sistema mediante Project Management en la Estructura de Desagregación de Proyecto se incluyen las demás fases del proyecto, identificando responsables, ejecutores, partes interesadas e interfases.

Las ventajas de este sistema de gestión mediante EDP son visión global del proyecto que facilita la gestión y el control, permitiendo establecer un sistema de información eficaz. También facilita la identificación de los cambios y sus repercusiones, agilizando la toma de decisiones y ayudando a la optimización de costes y plazos. A la hora de realizar la EDP deben tenerse en cuenta los criterios del promotor, teniendo en cuenta que conviene evitar una excesiva desagregación de forma que sea fácilmente comprensible y resulte bien estructurada. Como resultado debe ser la guía para la planificación de plazos y costes del proyecto.

2.2. Planificación y control.

La planificación y control de una tarea es el proceso de definir, coordinar y determinar el orden en que deben realizarse las actividades con el fin de lograr la utilización más eficiente y económica de los equipos, elementos y recursos de que se dispone así como de eliminar diversificaciones innecesarias de los esfuerzos. Estos procesos se establecen o definen en un plan de trabajo, el cual debe ser controlado a lo largo de la ejecución de las tareas para controlar el grado de cumplimiento y analizar si debe ser sometido a una revisión o modificación a fin de que se pueda cumplir con el objetivo final fijado. Para ello se debe establecer un sistema que permita medir el avance de las actividades que se están ejecutando y poder compararlo con el proceso que se había programado o planeado; y además, debe permitir controlar los recursos empleados en mano de obra, equipos y materiales con relación al programa. El programa debidamente controlado permitirá:

- Conocer que actividad no se está desarrollando de acuerdo al programa.
- Poder tomar una decisión en el momento adecuado.
- Mostrar un orden y disciplina de trabajo.
- Proporcionar un medio de comunicación tanto vertical como horizontal.

Estos principios básicos de programación y su control son aplicables en igual medida a proyectos simples o complejos. Un "Plan de Trabajo", que es un conjunto de programas detallados, determina el orden, los métodos de construcción y la organización que se dispondrá para la ejecución de las distintas unidades que componen un proyecto. Es decir, puede decirse que consiste en planificar para cada etapa de la tarea, en que momento, con qué medios y en que condiciones se ejecutará. El estudio del plan de trabajo debe ser, por tanto, previo a la confección del presupuesto de la obra, y a la iniciación de los trabajos. Su objeto es evitar que durante la construcción deba improvisarse, estableciendo previamente la secuencia de los trabajos. De esta forma se podría conocer en cada momento que actividad es la que debería estar ejecutándose, así como la definición de los diferentes recursos necesarios.

De las distintas alternativas que se desarrollen, se determinará el plan de trabajo que ofrece el menor costo de construcción. Este será el que coordine de un modo más efectivo las distintas etapas de la ejecución dando continuidad al trabajo y sistematizando las tareas, en lo posible, adaptándolas al trabajo de una fábrica. De esta forma se obtiene una secuencia en la que cada operación está bien determinada y cada operario sabe exactamente lo que debe realizar en cada momento.

También deberá establecer las fechas en que los operarios, materiales y equipos deben llegar a la obra; y fijará las normas para controlar los avances, rendimientos, costos, etc. Estos controles permiten saber si la ejecución de las tareas está progresando de acuerdo al plan elaborado o no, para que en este último caso se efectúen las modificaciones necesarias al programa de trabajo para recuperar el tiempo perdido o reducir los costos con el uso de otros métodos de trabajo. Por lo tanto corresponde en esta fase elegir los métodos de trabajo y equipos a emplear y se fijará la ubicación de los talleres, oficinas, almacenes, espacios para acopios, instalaciones de seguridad y salud, etc.

En los siguientes apartados se van a mostrar los principales puntos que deben considerarse al estudiar un plan de trabajo, planos y programas que intervienen en la construcción de una obra.

2.2.1. Concepto de centro de producción.

Dentro de la división habitual de los tipos de diseño de procesos, la construcción de proyectos de edificación es un claro ejemplo de la tipología de procesos por proyecto. Este tipo de procesos suponen la realización de un único producto exclusivo, adaptado totalmente a las necesidades especificadas por el cliente y a la vez condicionado por el entorno donde se va a implantar, lo que obliga a diseñar una secuencia de operaciones única para cada proyecto. Se requiere la presencia de personal altamente cualificado y polivalente que pueda adaptarse a las distintas necesidades de cada proyecto, ya que estos suelen ser complejos y necesitan un largo periodo de tiempo para su realización siguiendo una secuencia establecida de tareas.

En un centro productivo de tipo industrial la materia prima se transforma a través de procesos, con el empleo de recursos y medios auxiliares para generar unos productos finales que posteriormente seguirán unos procesos de almacenamiento y transporte hasta llegar al cliente final. Es decir, existe un proceso de transformación (a través de medios auxiliares), de unos inputs (materias primas), en unos outputs (producto final) y como este proceso se realiza en un lugar físico diferente a donde se encuentra el cliente son necesarias unas operaciones de transporte. En las obras de construcción, nos encontramos con algo similar ya que la construcción de un edificio es un proceso de transformación de unos inputs que son los materiales, maquinaria, mano de obra, energía, capital, etc. en un output que es el edificio terminado. Se asimila como parte de un sistema donde se consumen recursos, se realizan actividades encaminadas a obtener un producto final y que ese producto cumpla los fines para los cuales ha sido diseñado y planeado.

Por lo tanto las diferencias fundamentales radican en el concepto de exclusividad de cada proyecto, frente a la fabricación industrial en serie, y en que no es necesario hacer llegar el producto final hasta el consumidor. Una obra constituye un subsistema del sistema básico de la empresa como organización. Es un sistema abierto con un grado de permeabilidad adecuado a los medios disponibles propios y a los que tenemos que externalizar (subcontratación). También ese sistema está condicionado por los usuarios finales, los cuales son determinantes para la adecuación del sistema y su fin último.

2.2.2. La obra de construcción como actividad de explotación.

La gestión de proyectos de construcción y más concretamente de una obra como centro de producción, requiere de unos objetivos iniciales bien definidos, de una planificación y estrategia, de un estudio de costes, de un conocimiento de las desviaciones y riesgos presentes, de una adecuada aplicación de medidas correctoras y de un eficiente control de la producción. No obstante a pesar de conseguir aplicar todo los aspectos indicados anteriormente, se debe tener en cuenta que la incidencia del aspecto humano en una obra de construcción es determinante. La explotación como tal está directamente relacionada con la calidad de los recursos humanos y su capacidad de desarrollar sus especialidades de forma lo más efectiva posible.

La actividad de explotación también está directamente relacionada con el estudio y seguimiento de los costes directos, indirectos y proporcionales. Este estudio de costes se realizará a través de los que se denomina Control de costes. Dentro de este control de costes es necesario realizar una comparativa entre costes previstos y reales, analizando la causa de la diferencia entre ellos, tanto si es positiva como negativa. También se estudian y proponen medios para conseguir alcanzar una disminución de los costes, sin pérdida de calidad de lo producido y observando los objetivos marcados.

Con la actividad de explotación tendremos presente la racionalización del trabajo. Esta racionalización del trabajo, que está muy influenciada desde los tiempos de Taylor, y sus estudios de observación sobre las formas y modos de realización de las diferentes actividades por parte de la mano de obra. Siempre hay una forma y una herramienta más adecuada para hacer el trabajo de forma más eficiente. Se realiza un estudio de tiempos y movimientos para saber lo que duran las diferentes actividades y tareas. En todas las tareas que tenemos en las obras, la intervención de la mano de obra es esencial, y por ello se deben estudiar los conceptos de fatiga humana y su incidencia en el desarrollo de las actividades. También estos estudios van a aportar un análisis de métodos con la consiguiente división del trabajo y la especialización del obrero, (el tradicional oficial que sabía hacer de todo está prácticamente extinguido).

Como consecuencia de esa especialización y división del trabajo aparecen cargos nuevos y por ello se debe rediseñar estos cargos y sus tareas con el objetivo de mejorar la productividad. Por ello hay que buscar fórmulas adecuadas para mejorar la productividad entre las cuales podríamos mencionar:

- Minimización de desperdicios.
- Utilización óptima de las materias primas y medios auxiliares.
- Mejoramiento de las soluciones constructivas.
- Calidad punto cero, (la inspección de calidad sobre lo ejecutado lo realizan los mismos operarios de acuerdo con unas métricas previamente establecidas).
- Adecuaciones del ritmo de trabajo con los planes.

También forma parte de la actividad de explotación el aseguramiento de especificaciones técnicas, que se podría relacionar directamente con el punto anterior a través del control de la calidad de lo producido, el cumplimiento de los parámetros de calidad establecidos en la planificación de la calidad. El aseguramiento de las especificaciones técnicas no es otra cosa que comprobar que se cumplen los objetivos previstos y planificados. La implantación de sistema de seguridad y salud en el trabajo para minimizar los riesgos laborales es también uno de los puntos importantes de la actividad de explotación, ya que, además de estar legislado, es uno de los principios básicos en la eficiencia del sistema de producción. No hay nada menos eficiente que un centro de trabajo donde se producen continuamente accidentes o lesiones, con la rotura del ritmo de producción y la rotación de la mano de obra especializada, así como la repercusión negativa en los operarios y sus expectativas de trabajo.

2.2.3. Técnicas de planificación aplicadas en el sector de la construcción.

A continuación y de forma breve se hará un repaso de la historia de las técnicas de planificación. El desarrollo de estas técnicas tiene varios hitos relevantes que podemos destacar en los siguientes puntos:

- **INICIOS DE LA PROGRAMACIÓN DE OPERACIONES.** Aunque ya había habido autores que con anterioridad habían estudiado el tema de la planificación de tareas y el reparto del trabajo, los fundamentos de la organización científica fueron establecidos a principios del siglo XX por Frederick Taylor y sus seguidores. Los estudios de Taylor estaban encaminados a la consecución de una técnica para el análisis y la mejora de los métodos de trabajo, comprobando si las operaciones se realizaban y ejecutaban de la forma más económica posible, es decir, si la relación entre la energía empleada y los resultados obtenidos podría optimizarse utilizando un nuevo procedimiento en lugar de los métodos establecidos.

En relación con el sector de la construcción, la Organización Científica del Trabajo no se ha desarrollado como en otros ámbitos de carácter más industrial. Aunque se han realizado estudios de movimientos (Gilbreth estudió los movimientos de los albañiles en la colocación de ladrillos), estos no se han aplicado como ha ocurrido en otros ámbitos industriales, donde la mejora de métodos de trabajo se aplica de forma constante. Las aplicaciones de la Organización Científica del Trabajo en el sector de la construcción se han basado principalmente en la organización interna de las empresas constructoras, reestructurándolas en su funcionamiento y organización con la ayuda de estas técnicas. Fundamentalmente, empleando estos métodos se puede conseguir elevar adecuadamente el rendimiento de la mano de obra, determinar racionalmente su remuneración, considerar los factores psicológicos que influyen sobre el rendimiento de la mano de obra, etc.

Aun hoy en día, las principales herramientas informáticas, tanto de control de costes como de planificación, utilizadas en el sector de la construcción están basadas en el concepto de rendimiento que deriva del concepto desarrollado por Taylor en el que cada tarea a realizar debe tener un tiempo asignado, determinado en función de estudios previos. En construcción nos referimos a rendimiento como la cantidad producida o realizada de una determinada tarea por unidad de tiempo. Con este valor como base obtenemos los tiempos estimados para cada una de las unidades de obra que componen el proyecto.

- **SISTEMAS VISUALES O MEDIOS GRÁFICOS.** Posteriormente, en los comienzos de la era de la organización científica del trabajo, apareció el sistema de programación desarrollado por Henry L. Gantt. Este sistema conocido como Gráficos de Gantt, aporta de forma visual, una información muy clara de la sucesión, programación y control de las distintas tareas necesarias para el desarrollo de un proyecto. En los gráficos se refleja el tiempo total que será la suma de los tiempos parciales asociados a cada unidad de obra, teniendo en cuenta los posibles solapamientos que puedan existir entre tareas. Estos gráficos constituyen un medio dinámico que representa las operaciones de producción relacionadas con el tiempo en que se ejecutan. Con la aplicación de los diagramas de Gantt en la empresa se buscan, al menos, la consecución de tres objetivos básicos:
 - **Analizar el problema** desde una perspectiva temporal, estudiando el comportamiento de sus elementos a lo largo del transcurso del tiempo.
 - **Formular un plan**, estableciendo en el mismo las principales líneas de acción y los pasos intermedios que se requieren para llevarlo a cabo.
 - **Controlar su ejecución** a través de la comparación entre las actividades realizadas y las programadas, decidiendo las acciones necesarias que garanticen su realización.

Es el método más empleado en la planificación de todo tipo de obras, incluso en las más complejas suele emplearse un gráfico de Gantt, a modo de resumen, para tener una información clara y fácilmente legible del punto en el que se encuentra el desarrollo de los trabajos. De hecho, este método suele ser el único empleado en obras pequeñas y medianas, sobre todo si la ejecución no presenta condicionantes que dificulten su desarrollo. Es un complemento de los métodos de Taylor, ya que una vez conocidas las cantidades a realizar de cada tarea y el rendimiento de estas, obtenemos el tiempo necesario para su ejecución como el cociente entre ambos factores. Estos tiempos se reflejan de forma gráfica con barras que representan cada unidad de obra o capítulo en los que consideremos adecuado dividir el proyecto.

Diagrama de Gantt aplicado a gestión de obra. En los diagramas de Gantt se representa la duración de las tareas o el calendario en el eje de abscisas, es decir, en sentido horizontal se sitúa la representación del tiempo. En el otro eje, el de ordenadas, se representan las diferentes actividades, tareas y grupos de tareas en los que se haya decidido descomponer el proyecto. La capacidad de transmitir información un gráfico Gantt depende de varios factores, los más importantes serán la adecuación de la escala temporal a la duración de las diferentes tareas y a la duración del proyecto. Otro factor importante es la cantidad y desglose de las tareas, su grado de descomposición y el ajuste de la descomposición con el tipo de proyecto. Por ejemplo, no es conveniente descomponer tareas de duración inferior a una semana en proyectos de 6 meses de duración, salvo que se trate de una tarea importante que condiciona el resto de actividades que la preceden.

A continuación, en la figura 1, se muestra un ejemplo de programación temporal tipo diagrama de Gantt en el que se ha empleado para su elaboración un software especializado en el que además de la sucesión de las tareas se pueden establecer las vinculaciones entre ellas.

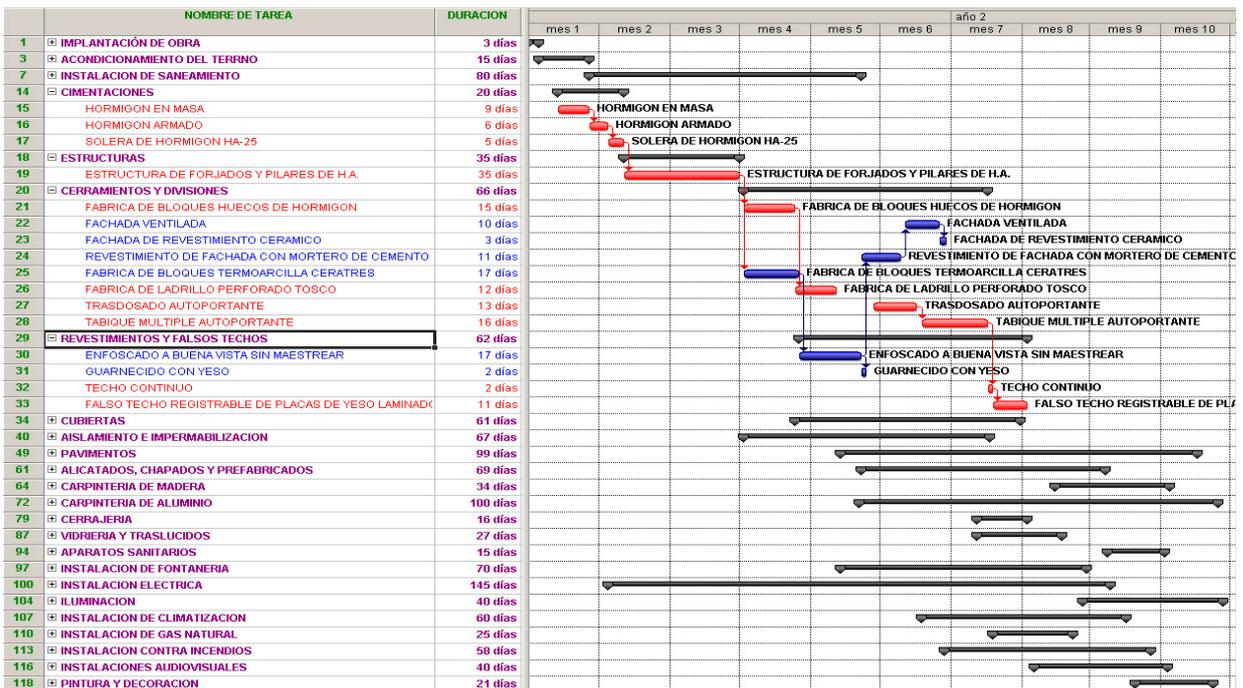


Figura 1. Ejemplo diagrama de Gantt. Fuente: Elaboración propia.

Origen de los datos desde la medición de proyecto. La base para realizar un diagrama de Gantt efectivo y que represente con fiabilidad el desarrollo de la obra son unas mediciones bien estructuradas. Este aspecto es fundamental aunque no suficiente ya que las mediciones de proyecto deberán descomponerse en las unidades reales de ejecución de obra, ya que de esta manera se pueden diferenciar como tareas aquellas que va a ejecutar un grupo o recurso específico. Un ejemplo sería un cerramiento, el cual está compuesto por la ejecución de la hoja exterior de ladrillo perforado para recibir una fachada ventilada, la estructura para sujetar la piel exterior cerámica, la aplicación del aislamiento proyectado, la colocación del aplacado cerámico exterior, el trasdosado interior mediante pladur, o ladrillo cerámico hueco y su correspondiente acabado interior. En éste caso se trata de una unidad de obra con seis tareas independientes. Para ello se debe analizar cada una de las unidades de obra, estudiando de forma diferenciada las diferentes tareas que la constituyen.

- **TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN TEMPORAL.** El método PERT (Program Evaluation and Review Technique) y el método CPM (Critical Path Method) constituyen las dos técnicas pioneras en el campo de la moderna programación y control de proyectos. Tanto el sistema PERT como el CPM hicieron su aparición aproximadamente en el mismo tiempo (1958), aunque se gestaron a partir de investigaciones totalmente independientes en sus formas esenciales son idénticas, existiendo sólo ligeras diferencias en sus aspectos formales y de notación.

El método PERT constituye una importante herramienta de trabajo que permite planificar y ejecutar adecuadamente en términos de costes y plazos cualquier proyecto por complejo que sea. En definitiva, el método PERT, pretende optimizar desde el punto de vista económico la ejecución de un proyecto que consta de un conjunto de tareas o actividades interrelacionadas en el tiempo. Las finalidades del método son, principalmente, las siguientes:

- **PERT Tiempo.** Estudia los tiempos de ejecución de las diferentes actividades y centra su análisis en el tiempo de realización del proyecto.
- **PERT Coste.** Analiza el coste de la ejecución de un proyecto en un plazo dado y las variaciones en este coste si se quiere reducir su duración. Pretende determinar el plazo óptimo de ejecución que minimiza el coste total de realización del proyecto.
- **PERT Recursos.** Trata de adecuar las fechas dadas por el análisis de tiempos a las disponibilidades de los recursos. Se persigue efectuar una programación de las actividades del proyecto de forma tal que las exigencias de recursos sean compatibles con su disponibilidad.
- **PERT Control.** Para el control de la ejecución del proyecto.

Se trata de una técnica de planificación más compleja que las vistas hasta ahora y que a pesar de ello presenta algunas limitaciones, como resolver de forma sencilla el solapamiento de los trabajos. A pesar de ello estas técnicas siguen plenamente vigentes y se recurre a ellas fundamentalmente cuando el desarrollo del proyecto está muy condicionado por el factor tiempo.

En estos casos en los que el cumplimiento del plazo de ejecución es muy estricto, los gráficos PERT suponen una herramienta muy útil para identificar el camino crítico, que es aquel que está determinado por la sucesión de tareas en las que un retraso supondría en incremento del plazo total del proyecto.

Las etapas en la aplicación del método son las siguientes:

- **1º.** Elaboración de un diagrama de actividades o "grafo" que represente las interrelaciones entre las actividades del proyecto. En dicho grafo se destacan las actividades que son susceptibles de desarrollo simultáneo o paralelo, y cuales han de ejecutarse sucesivamente.
- **2º.** Estudio de los tiempos de ejecución de cada actividad.
- **3º.** Al poner en relación los tiempos de ejecución de las actividades con las dependencias que entre ellas existen se revela el conjunto de actividades cuya secuencia condiciona la duración mínima en la ejecución del proyecto en su conjunto (el camino crítico).
- **4º.** El análisis de tiempos y la calificación de actividades en críticas y no críticas permite calificar los tiempos sobrantes (holguras), su cuantía y el momento en que tienen lugar.
- **5º.** Como consecuencia del conocimiento del camino crítico, de las actividades que presentan holguras temporales en su ejecución y de la naturaleza de los tiempos sobrantes, se puede proceder a una mejor disposición de los recursos disponibles en una nueva ordenación en la realización del proyecto, al objeto de elevar el nivel de ocupación de los mismos o de acortar la duración del proyecto.

2.2.4. La actividad de gestión en las obras de construcción.

Las actividades de gestión en una obra de construcción son las tareas que consumen una mayor cantidad de tiempo. Se puede afirmar que la gestión es uno de los pilares sobre los que se va a sustentar el éxito en la consecución de los objetivos fijados del proyecto. Toda gestión bien realizada es altamente productiva y tiene unos resultados beneficiosos para la organización actuante, no obstante, es importante establecer una metodología adecuada en materia de gestión.

La tipología de trabajo en el sector de la construcción se puede trasponer a una organización por proyectos. Por ello es recomendable, al inicio de cada proyecto la realización de un plan de gestión del proyecto, lo cual se puede realizar mediante alguna de las diversas metodologías que existen. Para realizar una correcta actividad de la gestión del proyecto es importante tener en cuenta algunos aspectos importantes y que van a reportar importantes beneficios en su desarrollo como por ejemplo las relaciones con grupos externos a la obra, como por ejemplo:

- Relaciones con la propiedad.
- Relaciones con los colaboradores.

También hay que tener en cuenta en las actividades de gestión ciertos aspectos legales y contractuales como pueden ser:

- Actas de replanteo.
- Reformados.
- Liquidaciones.

Los aspectos laborales también forman una parte importante dentro del ámbito de la gestión, en los cuales están incluidos entre otros:

- Apertura de centro de trabajo.
- Contratación.
- Control de subcontratación.

Todas las áreas descritas anteriormente están vinculadas a la gestión, como por ejemplo, la comunicación entre los diferentes miembros del equipo de trabajo y de la organización, o las administraciones de contratos y compras. Por este motivo es necesario tener en cuenta que se trata del área de mayor concentración de actividad en el conjunto de actuaciones dentro del desarrollo de la ejecución del proyecto.

2.2.5. Los recursos en una obra de construcción.

En un proceso productivo se necesitan una serie de recursos para que este se ponga en marcha y se mantenga durante el tiempo que está previsto tener dicho proceso activo. Estos recursos son los Inputs que se van a necesitar para poder realizar los procesos de transformación que se producen en nuestro subsistema, y obtener así el resultado esperado. Los recursos se pueden jerarquizar en diferentes categorías y subcategorías atendiendo a diversos criterios, como pueden ser si son recursos de tipo material o humano, si son reutilizables o fungibles, si son directos o indirectos, etc.

2.2.5.1. Recursos materiales.

Los recursos materiales son todos aquellos elementos tangibles necesarios para la ejecución de las distintas partidas o tareas que componen el proyecto, bien porque forman parte de ellas incorporándose al proceso productivo o bien porque son elementos necesarios para su ejecución. Todos estos recursos materiales, que forman una amplia variedad de tipologías se pueden diferenciar y clasificar según varios aspectos: según su uso, como elementos consumibles o reutilizables, y según su integración en las unidades de obra, como recursos directos o indirectos.

Atendiendo a esta clasificación, a continuación se reflejan algunas de las características que presentan así como algunos ejemplos de estos recursos:

- **Consumibles (fungibles):**
 - Utilizados en todas las unidades de obra y que forman parte intrínseca de las mismas.
 - Quedan permanentemente unidas a la edificación construida.
 - No son susceptibles de ser eliminadas, manteniendo el uso del elemento del que forman parte.

- **Reutilizables:**

- Son necesarias para la ejecución de las diferentes unidades de obra.
- No permanecen unidas al elemento construido.
- Son susceptibles de ser eliminadas para el uso de la unidad constructiva del que han sido parte.
- Son los llamados elementos o equipos auxiliares. (Ejemplos: Cimbras, Encofrados, Grúas, Casetas, Camiones, Paleta de albañil, Etc.)

- **Recursos Directos:**

- Medios auxiliares y equipos empleados específicamente en una unidad de obra. Por ejemplo los andamios de fachada, siempre que se utilicen en una única tipología de cerramiento. En el caso de que se usen para más de una unidad y su descomposición no sea fácilmente prorrateable se contemplarán como indirecto.
- Materiales que componen el descompuesto de una partida. Por ejemplo el hormigón o los ladrillos.

- **Recursos indirectos.**

- Casetas de obra.
- Grúa Torre.
- Montacargas.

La **organización** de los suministros de los recursos materiales viene dada por la importancia que tienen las inversiones de capital y su máxima rentabilidad, así como por la imposibilidad material de almacenamiento previo en un espacio físico limitado. Como en otros ámbitos de producción debe buscarse un equilibrio entre la disposición de los recursos y su almacenamiento, tratando de obtener las cantidades a almacenar idóneas de cada ítem. Un exceso de cantidades y productos almacenados puede generar un incremento de los costes, mientras que por el contrario, si la cantidad es innecesariamente baja se pueden ocasionar interrupciones en el proceso productivo generando a también un incremento de los costes. Este equilibrio estará muy condicionado por el tipo de proyecto a ejecutar y el entorno donde se enclava, por lo que debe ser analizado de forma particular para cada proyecto. Las soluciones obtenidas en cada caso no son extrapolables y requieren un análisis previo exhaustivo para llegar al punto óptimo de equilibrio para cada uno de los recursos a emplear.

Toda organización de recursos es vital para conseguir el éxito de los proyectos en los que se actúa, para ello se deben establecer criterios de prioridad en cuanto a la participación de los mencionados recursos en las actividades de obra. Serán los recursos que participan en las actividades del camino o caminos críticos los recursos prioritarios. En cuanto a los recursos y su programación se identifican de acuerdo con su uso en las unidades de obra.

Respecto a los **materiales fungibles** es necesaria una programación de suministros, sobre todo para evitar que los acopios excesivos o innecesarios. Para ello se utilizará la programación del plan maestro de obra y los planes parciales, identificando los diferentes materiales necesarios y sus proveedores. Con ello se pueden evitar y mejorar ciertos aspectos como son:

- Acopios innecesarios.
- Falta de espacio.
- Optimización de pagos e inversiones.
- Movilidad en obra.
- Determinar los equipos de mantenimiento necesarios.

En la gestión de los **medios auxiliares** hay que tener en cuenta que son los elementos que pueden generar mayor problema en la evaluación de sus usos en obra. Por ello es necesario realizar evaluaciones de usos, las unidades de obra a las que se adscriben cada tipología de medios auxiliares y las posibilidades de utilización. El uso ineficiente de los medios auxiliares que no están asignados como medio directo de una unidad de obra concreta, genera un déficit en la cuenta de resultados de la obra, sobre todo debido a la realidad del pago diario de su presencia y al porcentaje de tiempo empleado. Para evitar todo esto es necesario realizar ciertos análisis como por ejemplo:

- Ver su necesidad.
- Optimizar los modelos o versiones de productos.
- Utilizaciones reales en obra.

También es necesario tener en cuenta que al igual que ocurre con los recursos fungibles, con los medios auxiliares es necesario realizar una planificación de usos. Esta planificación ayudará a identificar y mejorar entre otros los siguientes aspectos:

- Evitar tiempos muertos.
- Evitar paradas innecesarias de uso de dichos elementos auxiliares.
- Optimizar su utilización de acuerdo con los plazos previstos.

2.2.5.2. Recursos Humanos.

Los recursos humanos se pueden dividir en dos tipologías básicas, los recursos directos y los recursos indirectos. Algunos de sus aspectos más importantes son:

- **Recursos Directos.**

- Son aquellos necesarios para la ejecución directa de las diferentes unidades de obra que componen la construcción.
- Están referenciados en cada uno de los descompuestos de las unidades de obra.

- **Recursos Indirectos.**

- Son los que no figuran en los descompuestos pero que son necesarios para una correcta ejecución del desarrollo de las unidades que obra que componen el proyecto.
- Personal de alta calificación. Por ejemplo: Encargados, Capataces, Jefe de obra, Topógrafo, Jefe de producción, etc.

Es importante incidir en la necesidad de un control exhaustivo de los recursos indirectos, ya que son más difíciles de controlar y por ello sus desviaciones pueden ser altamente perjudiciales para los objetivos del proyecto.

Los recursos humanos se deben organizar de tal forma que exista una continuidad estricta en los procesos. Hay que tener en cuenta que no se disponen bajo libre demanda, es decir, no se encuentran disponibles en cualquier momento que los necesitemos. Por ello es importante tener la previsión de su disponibilidad, así como las características de sus cualidades y competencias para lo que es preciso tener una programación estricta de los trabajos para conocer sus necesidades en tiempo y cantidad.

Dentro de la organización de la obra de construcción y sus procesos es muy importante identificar los recursos humanos, sobre todo por la dificultad que puede haber en encontrar ciertos perfiles requeridos. Mediante la programación, el plan de aprovisionamiento de recursos humanos y el plan de formación se puede conseguir el cumplimiento de los perfiles necesarios y su inclusión en la planificación de medios.

En la planificación de los recursos humanos hay algunos puntos que son cruciales para la adecuada administración de los mismos. Esos puntos son los que van a generar una estabilidad dentro de la administración de los recursos y para ello se debe tener en cuenta cuales van a ser esas necesidades básicas dentro del centro de producción. Estas necesidades son: tener una estabilidad en la administración de esos recursos a través de los procesos de nivelación, o planificar y programar la inclusión de esos recursos en las diferentes fases de la obra de construcción.

Las necesidades de recursos humanos en una obra de construcción estarán definidas por el análisis previo de las características del proyecto. Para ello se podrán definir unas necesidades que se pueden denominar "básicas" y que son las que nos van a aportar esos estudios previos. Habitualmente y basado en la experiencia, muchos equipos de obra son asignados de acuerdo con el volumen de obra contratado, siendo el importe de la misma el elemento diferenciador en cuanto a lo extenso o no del equipo de obra. Esta asignación, en muchos casos errónea, debería estar basada en la complejidad y en la asignación de perfiles específicos para la obra en cuestión. Sería más correcto que en la fase de arranque del proyecto, estos equipos previamente asignados sean reestructurados y adecuados a la complejidad del proyecto. Proyectos con un gran volumen de facturación pero con una ejecución muy simple requieren de un equipo de obra de menor calificación que otros proyectos mucho más complejos y con menor volumen de facturación.

Para cubrir esas necesidades básicas de recursos humanos se recomienda realizar una serie de trabajos y análisis entre los que se puede incluir:

- Realizar la previsión del Staff de personal en una obra basado en plantillas previas.
- Utilización de tablas de rendimientos por tareas o unidades de obra para el cálculo de la necesidad de mano de obra directa y consecuentemente la distribución de equipos de trabajo, asignación de jefes de equipo, de capataces, de encargados y de jefes de producción.
- Utilización de rendimientos en actividades no habituales según bases de datos conocidas como pueden ser las disponibles para los programas de elaboración de mediciones.

La utilización de recursos conlleva una planificación de los mismos. En esa planificación se deben tener en cuenta todos los procesos de asignación, evaluación y cuantificación de los mismos. Esos procesos requieren la utilización de metodologías que garanticen una racionalización de su uso, entendiendo como racionalización la gestión responsable y eficiente de los mismos. En el apartado anterior se indicaba que dentro de los recursos humanos existen diferentes perfiles y cualificaciones necesarias. Esos perfiles se pueden agrupar formando equipos de trabajo o grupos de oficios definidos. Lógicamente, la dotación de jefes de equipo tiene unos márgenes de personas asignadas, puesto que no es lo mismo dirigir a 5 personas que a 15.

2.3. Establecimiento de la organización de obra.

A pesar del generalmente corto periodo de tiempo que suele durar una obra es conveniente establecer una organización jerarquizada para el desarrollo del proyecto. Las principales características de esta organización deben ser la sencillez y la concentración de autoridad y responsabilidad en la figura del jefe de obra.

La estructura de la organización es un factor propio de cada empresa y el esquema básico organizativo entre los distintos proyectos que se desarrollen puede ser común a pesar de la gran variedad de obras que pueden presentarse, teniendo en cuenta los aspectos singulares de cada una de ellas. Las estructuras abarcan desde una de tipo funcional hasta otra orientada a proyectos, con una variedad de estructuras matriciales entre estos dos tipos. A continuación se desarrollan brevemente las características de cada una de estas estructuras organizativas:

- **Organización Funcional.** Se establece una jerarquía donde cada empleado tiene un superior claramente definido. En el nivel superior, los miembros del personal están agrupados por especialidades, tales como: compras, estudios, producción, financiera, etc. Cada departamento de una organización funcional realizará el trabajo del proyecto de forma independiente de los demás proyectos.
- **Organización orientada a proyectos.** En este caso los miembros del equipo están agrupados alrededor de cada proyecto, por lo que los directores de cada uno de ellos tienen más autonomía y autoridad. Se trata de equipos interdisciplinarios que incluyen a técnicos de los distintos departamentos de la empresa, que dependen del director del proyecto.
- **Organización matricial.** Se trata de estructuras organizativas que mezclan características de los dos sistemas anteriores. El resultado puede variar en función de si tiene más factores en común con las funcionales o con las orientadas a proyecto, obteniéndose organizaciones matriciales débiles, equilibradas o fuertes. Las matriciales débiles mantienen muchas de las características de una organización funcional, y el rol del director de proyecto es más bien el de un coordinador de los distintos departamentos implicados. En contra, las matriciales fuertes tienen muchas de las características de la organización orientada a proyectos: pueden tener directores del proyecto dedicados a tiempo completo y gran autoridad, y personal administrativo asignado a tiempo completo.

Conviene diferenciar dos conceptos que aunque etimológicamente tienen coincidencias hacen referencia a dos aspectos claramente diferenciados. Cuando se habla de organización de la obra en planta, nos estamos refiriendo al estudio de las distintas posibilidades de distribución de los recursos materiales en el solar así como al planteamiento necesario para la ejecución ordenada de los trabajos. Esta organización es específica para cada tipo de obra aunque pueden aplicarse ciertos principios generales a todas.

Por el contrario la organización general presentará escasas diferencias entre las distintas tipologías y presenta una característica común: la acumulación de responsabilidad en el jefe de obra. Este deberá delegar el mínimo de autoridad, realizando comprobaciones personales de la ejecución de sus órdenes y en general del funcionamiento de todos los servicios y tajos de la obra. La delegación de funciones será mayor cuanto más confianza y conocimiento se tenga en el equipo asignado.

En este sentido si se trata de aprovechar las experiencias y resultados de la organización de organizaciones industriales de otros sectores, se puede observar que estos resultados no son en general aplicables, dada las características singulares que presenta el ámbito de la construcción. A diferencia del sector industrial las empresas constructoras (en contraposición de las promotoras) no tienen capacidad para determinar de forma unilateral las obras que van a realizar. Estas son determinadas por intereses ajenos a la empresa y ofrecidas a esta en competencia con otras empresas, por la iniciativa privada o de las administraciones públicas. Es decir, frente a una empresa de ámbito industrial que puede decidir por sí misma el lanzamiento de un nuevo producto y modificar su organización de acuerdo a los nuevos requerimientos, la empresa constructora está sujeta a las condiciones de mercado.

Un tipo de empresa que podría tener similitudes en este tipo de funcionamiento son aquellas que trabajan bajo pedido, pero aun en ese caso presentan una gran diferencia ya que generalmente las operaciones son realizadas en sus instalaciones mientras que en el caso de las empresas constructoras deben constituir un nuevo centro de trabajo para la realización de cada proyecto.

2.3.1. Estudio de la obra.

En este apartado se inicia el análisis de las tareas de planificación, estas tareas constituyen una fase intermedia entre el desarrollo del proyecto y el inicio de la ejecución, aunque puede iniciarse al mismo tiempo o incluso antes que el propio proyecto. Por lo tanto esta fase constituye un paso previo necesario para poder llevar a cabo el documento básico que nos va a permitir el desarrollo de la ejecución de la obra, nos referimos al Plan de obra.

Para poder realizar el estudio de forma adecuada es necesario disponer de una copia actualizada a su última versión de todos los documentos que conforman el proyecto de ejecución. Los principales documentos que forman un proyecto son:

- **Memoria.** Tanto descriptivas como de cálculo o justificativas de las soluciones adoptadas.
- **Planos.** Deben permitir una definición completa de todos los aspectos de la obra, desde el emplazamiento y sus condiciones, hasta la definición de todas las instalaciones.
- **Mediciones.** Relación de la descomposición del proyecto en sus unidades más simples. En ocasiones no se dispone de esta relación valorada, es decir, el presupuesto en cuyo caso no tenemos una referencia del importe disponible por el promotor para comparar con el estudio económico realizado. El principal factor que indican es la cantidad de obra a realizar, lo cual es determinante a la hora de establecer la organización de la obra.
- **Pliego de condiciones.** Donde se recogen las características tanto generales como particulares de todos los apartados que constituyen el proyecto.

Se debe indicar a priori la jerarquía de estos documentos, para que el caso de que haya diferencias entre ellos, se sepa que criterio es el que prevalece. En condiciones normales son los planos y los precios descompuestos de las mediciones los que deben un lugar más alto dentro del orden de prioridad, ya que la combinación de ambos documentos define completamente la unidad. El pliego de condiciones complementa a los anteriores, y es donde suele fijarse el plazo de ejecución y la forma de pago.

Una vez se disponga de todos los documentos se procederá al estudio exhaustivo de los mismos de manera que se tenga un conocimiento exacto de las intenciones de los autores del proyecto. De esta forma se puede fijar el coste estimado u objetivo que será determinante para la presentación de la propuesta económica de la empresa. Además el proyecto nos facilitará ciertos datos indispensables para el establecimiento del Plan de Obra. Entre estos cabe destacar:

- El emplazamiento de la obra y sus condiciones.
- La estimación del coste total del proyecto que nos orientará sobre la inversión y la disponibilidad de capital necesario para afrontar la realización de la obra.
- El plazo de ejecución disponible, que unido al dato anterior determinará la distribución temporal de la inversión total necesaria.
- Las necesidades de subcontratación, en función de la mayor o menor especialización del proyecto. Actualmente y debido a la forma más extendida de actuar, cada vez son mayores las unidades subcontratadas lo que obliga a contar con estas empresas para poder determinar a priori los precios y plazos.

2.3.2. El plan de obra.

2.3.2.1. Establecimiento del plan de obra.

Normalmente, el estudio completo del Proyecto no permite conocer todos los datos necesarios para establecer un Plan de Obra. Es indispensable una inspección ocular del emplazamiento y una visita a sus alrededores, para complementar los datos necesarios.

La inspección del emplazamiento nos permitirá conocer el estado de los accesos, la proximidad o lejanía de fuentes de aprovisionamiento y energía, la posibilidad de establecer almacenes en sus proximidades (incluso recurriendo al alquiler de instalaciones cercanas), el estado del emplazamiento que puede presentar algún tipo de ocupación no prevista, la posible presencia de redes eléctricas o de otro tipo que impidan los trabajos de construcción o dificulten los accesos de vehículos de gran tamaño. En este último caso los desplazamientos de las redes puede ser un proceso complicado que puede prolongarse en el tiempo por lo que será necesario iniciar los trámites lo antes posible.

Es conveniente antes de empezar la obra comprobar las dimensiones del emplazamiento para evitar errores que puedan llevar a pleitos con los propietarios con las fincas colindantes. En ocasiones es necesario llegar a un acuerdo con ellos para que nos permitan ocupar parcialmente sus parcelas y poder utilizarlas como lugar de almacenamiento de materiales o como accesos. También es necesario tener en cuenta las servidumbres que existan sobre el emplazamiento, ya que aunque en la redacción del proyecto se hayan tenido en cuenta, la existencia de carreteras o líneas férreas puede condicionar la distancia mínima a la que pueden ubicarse los almacenes o puntos de acopio, viéndose reducida la superficie disponible par este fin.

El análisis del entorno donde se ubica la ejecución del proyecto (municipio o comarca) nos facilitará datos necesarios sobre las vías de comunicación de acceso a la obra, los puntos de aprovisionamiento de materiales más convenientes e incluso sobre la disponibilidad de mano de obra. Los datos más importantes a tener en cuenta son:

- Emplazamiento de plantas de hormigón. Al tratarse de un material con un tiempo de puesta en obra limitado, cuanto más alejado se encuentre el punto de fabricación menos tiempo tendremos disponible para su manipulación en obra. Por lo tanto es conveniente analizar las distintas alternativas de forma que se convine distancia con precio.
- Emplazamiento de yacimientos de áridos y canteras. En las obras de edificación este apartado tiene menor importancia que en las grandes obras públicas ya que las cantidades a utilizar son más limitadas. No obstante es conveniente recoger muestras de los puntos disponibles para comprobar mediante análisis o con el visto bueno de la dirección Facultativa la idoneidad de los recursos disponibles. De esta forma, en caso de que sean apropiados, contamos con más tiempo para la búsqueda de fuentes alternativas.
- Proximidad de puntos de aprovisionamiento de materiales de construcción de uso general. Se establecerían los contactos previos con los proveedores, informándonos de su capacidad de producción, de su solvencia económica, del grado de cumplimiento de los compromisos establecidos, de los precios de los materiales y su calidad. En el caso de que en la organización exista un jefe de compras, la consulta de precios será a título informativo ya que en ese caso será este departamento el encargado de establecer las condiciones de compra más conveniente.
- Proximidad de empresas de alquiler de equipos de manutención y medios auxiliares. En estos casos el componente transporte puede ser importante por lo que habrá que analizar cuanto supone en el total del alquiler. De esta forma podemos determinar si es más económico aumentar el número de días de alquiler o ajustar la presencia en obra de los equipos a los días en los que son estrictamente necesarios.
- El clima y condiciones particulares de la zona (presencia de nieblas, etc.). Este es un aspecto que puede influir decisivamente en el desarrollo de la obra ya que la organización de los trabajos estará condicionada en gran medida por las condiciones meteorológicas. Evidentemente no se puede

acometer el movimiento de tierras con lluvias, no hormigonar en época de heladas sin tomar las debidas precauciones.

En todos los puntos anteriores hay que tener en cuenta también si la obra se ubica en casco urbano ya que en este caso en muchos de los puntos anteriormente descritos es necesario tener en cuenta nuevos condicionantes que pueden afectar de forma importante al flujo de suministros hasta la ubicación de la obra.

2.3.2.2. Desarrollo del plan de obra en planta.

Una vez se tienen la información suficiente tanto del proyecto como de las particularidades de la ubicación de la obra y su entorno, se puede entrar a definir y desarrollar el plan de obra en planta. Podemos afrontarlo desde dos puntos de vista, con un alcance distinto:

- **Plan de obra en planta próximo.** En este caso el estudio y distribución se circunscribirá a la parcela donde se implantará la obra. Para ello utilizando los datos del proyecto y realizando un estudio pormenorizado de todas las posibilidades, se determinará el número y emplazamiento de cada uno de los elementos auxiliares necesarios. Entre otros los posibles elementos a instalar son los siguientes: silos, almacenes, grúas, montacargas, tomas de energía, acometidas de las instalaciones que presenta el solar, accesos, etc.

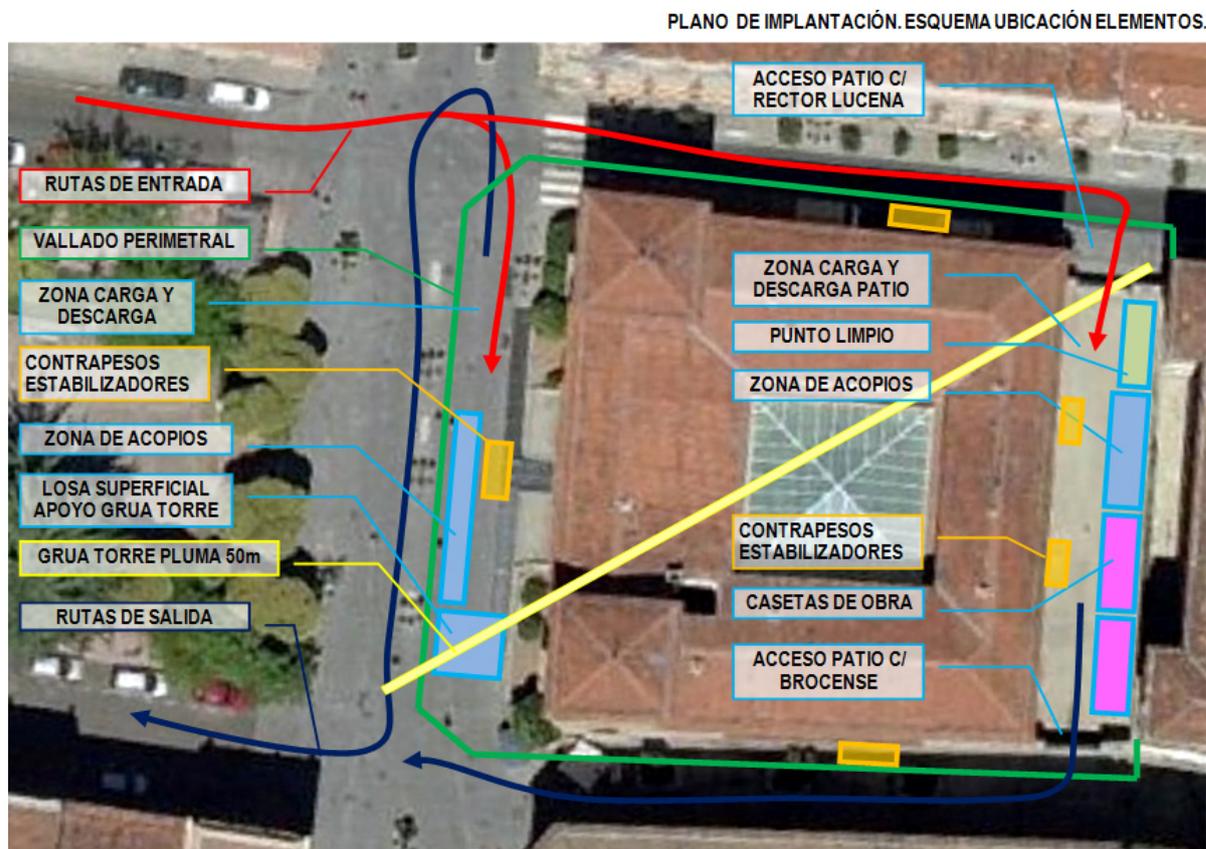


Figura 2. Plano de organización en planta. Fuente: Elaboración propia.

El tipo de ubicación y el espacio disponible va a determinar en gran medida la organización de la obra y por lo tanto los recursos y elementos de los que se puede disponer. De una correcta planificación previa va a depender en gran medida el correcto desarrollo posterior de los trabajos.

- **Plan de obra en planta ampliado.** Aquí se ampliaría la escala de actuación y se reflejarían los puntos de suministro y accesos hasta la parcela, incluyendo tanto las restricciones y limitaciones que puedan afectar a la zona. En este plan se reflejarían las plantas de hormigón disponibles en la zona, los accesos disponibles, la ubicación de los almacenes reguladores en el que caso de que sean necesarios, etc.



Figura 3. Plano de accesos a obra. Fuente: Elaboración propia.

En el esquema anterior se muestra un ejemplo de un caso particular del establecimiento de un plan de obra en el centro de Salamanca. En él, debido a las particularidades que presenta el acceso al caso histórico, se muestran de forma detallada las rutas de entrada y salida a la obra.

En este apartado conviene analizar todas las particularidades que presenten los accesos al lugar donde se van a desarrollar los trabajos ya que es necesario organizar bien las rutas con dos objetivos principales:

- Facilitar la llegada de materiales y suministros necesarios para la realización de las distintas unidades de obra de forma que no se vea alterado el normal desarrollo de los trabajos.
- Minimizar en la medida de lo posible las interferencias en el tráfico de la zona, que pueden repercutir negativamente en las relaciones con los responsables del tráfico.

En el caso de ubicaciones de obra en cascos históricos o en zonas con limitaciones de accesos y horarios es conveniente contar con el asesoramiento y la coordinación de la Policía Municipal para el estudio de las rutas de acceso y las implantaciones. Es necesario conocer a priori estas limitaciones para poder establecer el procedimiento a seguir y los costes (permisos) y condicionantes que pueden llevar asociados.

Las limitaciones pueden afectar al horario y/o al tamaño y peso de los vehículos a emplear, atendiendo a estas limitaciones se puede proceder de la siguiente forma:

- **Limitación horaria.** Se planificará la hora de llegada de los materiales necesarios, avisando con antelación a la empresa suministradora.
- **Limitación del tipo de vehículos.** En este caso pueden darse dos casos diferenciados: vehículo de gran tamaño transportando elementos fácilmente divisibles en cuyo caso se puede utilizar un almacén regulador desde el que se distribuirá posteriormente con vehículos de menor tamaño. O en segundo lugar que el tamaño del suministro no permita su división, en cuyo caso se pedirán permisos para el acceso puntual de estos elementos. Si no es posible será necesario buscar alternativas al tamaño del suministro.

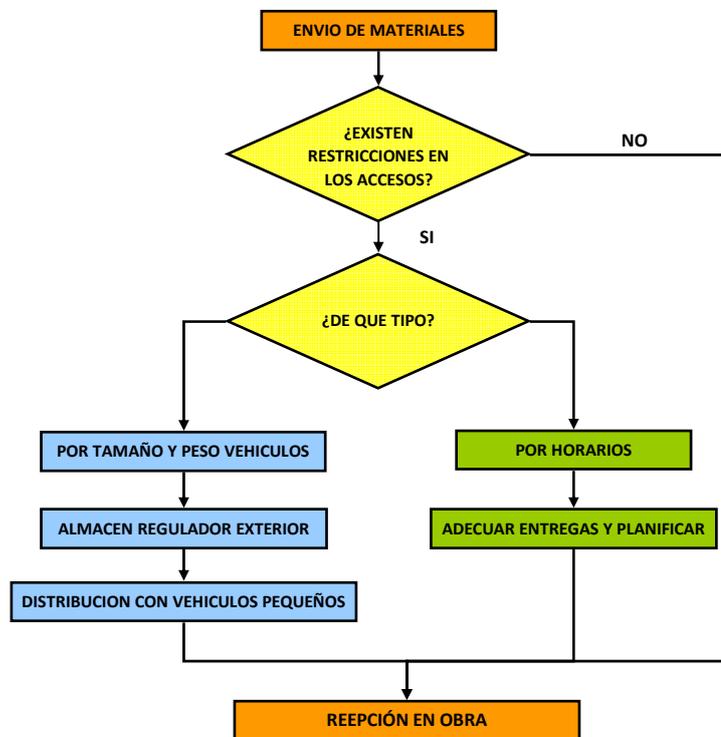


Figura 4. Flujograma envío de materiales. Fuente: Elaboración propia.

Contemplando estas medidas también se consigue minorar el impacto sobre el tráfico de la zona, por lo que además pueden considerarse medidas correctoras del impacto en el tráfico del casco urbano.

2.3.2.3. Estudio de interferencias y de afecciones al entorno.

Será necesario establecer en cada caso las características del proyecto en cuanto a situación, tipo de edificio, entorno, etc. que pueden hacer necesaria, antes de iniciar ninguna labor de obra, la planificación previa de todas las actuaciones que conlleven una alteración o afección del entorno donde se ubica. Se considera muy importante en este punto el análisis de todas las interferencias y afecciones que pueda ocasionar la ejecución de la obra durante todas las fases del proceso constructivo. A continuación se analiza en detalle los principales aspectos:

- **AFECCIONES A LAS INSTALACIONES.** Como punto fundamental en este apartado se considera la coordinación con las compañías suministradoras. Es una buena práctica antes de proceder a la implantación de obra solicitar a las compañías suministradoras, que nos indiquen si hubiera alguna conducción que pudiera interferir con las labores de la obra, así como solicitar los puntos de suministro propios de obra para la instalación de casetas, vallado, cuadros, punto limpio, etc.

En obras en caso urbano o en zonas con una especial atención (entornos de hospitales, colegios, etc.) puede ser necesario durante el transcurso de las obras, designar un retén de mantenimiento formado por un ingeniero técnico y oficiales. Este equipo estará en comunicación con el servicio de mantenimiento y con las compañías suministradoras, para actuar de la forma más eficaz ante cualquier tipo de emergencia.

En el caso de trabajos especialmente delicados como procesos de desmontaje y demolición, así como en las conexiones de las instalaciones propias de la obra, se estará en permanente contacto con las compañías en el momento de actuar sobre éstas. De esta forma, en caso de problemas en el desmontaje de equipos o la puesta a punto, las compañías podrán facilitarnos su ayuda. También se planificará con ellas la gestión de los cortes de suministro si fuesen precisos.

- **INTERFERENCIAS CON LOS PEATONES.** Especialmente en el caso de obras en casco urbano será necesario analizar el área en la que se ejecutarán las obras y las necesidades de acceso a las mismas para su ejecución. En este caso se puede realizar un estudio destinado a establecer medidas especiales para reducir las afecciones sobre la zona. Dicho estudio estará hecho con el objeto de ofrecer soluciones que establezcan la fluidez entre los distintos tránsitos sin menoscabar las condiciones ambientales y de seguridad necesarias basadas en las siguientes premisas:

- Necesidad de ocupación de parte de la vía pública.
- Protección mediante vallado de las zonas de paso de peatones.
- Diferenciación de accesos peatonales y de vehículos.
- Estudio de los movimientos de vehículos en el interior y hasta la llegada a la obra.
- Señalización y carteles indicadores de prohibiciones, peligros, obligaciones, etc.

También es preciso contar con un equipo de carga y descarga de materiales que faciliten los ritmos y la duración de recepción de los mismos, que además estudiará con detalle el flujo de suministros necesarios a fin de que no haya coincidencia en el tiempo de diferentes proveedores.

Todas estas medidas, en su estricto cumplimiento, minimizarán las posibles afecciones a los peatones, además de los accesos a la obra y sus necesidades de aprovisionamiento y evacuación.

- **INTERFERENCIAS CON EL TRÁFICO.** Como se detalló en el apartado de planificación de accesos a la obra es necesario analizar las distintas vías que llevan a la obra. De esta forma se pueden estudiar las medidas correctoras a aplicar para que el tráfico en la zona se vea afectado lo menos posible por el incremento de tránsito de vehículos debido a la ejecución de los trabajos. El aspecto fundamental en este apartado es la comunicación con la Policía Municipal (en el caso de obras en casco urbano) con el objetivo de adecuar las necesidades de obra a las ordenanzas municipales y a las características que afecten al tráfico en esta zona.

En este sentido será necesario analizar las calles del entorno de la obra (ancho y sentido del tráfico) y las ordenanzas municipales (restricciones de horarios y tonelaje, ocupación de vía pública, etc.) para poder establecer las medidas correctoras más adecuadas para minimizar las afecciones de tráfico. En el caso de restricciones de acceso en las que sea necesario utilizar un almacén de acopios externo el suministro se hará con vehículos ligeros adaptándose a los condicionantes de peso y tamaño. Desde esta base externa de acopios se pueden llevar los materiales a la obra en los horarios más favorables y con menor incidencia en el tráfico de la zona, no estando condicionados por los horarios de los envíos directos de los proveedores. Esto obliga a establecer una planificación previa de las necesidades en obra.

En el caso de obras fuera de entornos urbanos en el estudio de los accesos se estudiarán las vías que puedan verse afectadas (desde carreteras a caminos rurales y pistas forestales), solicitando información a la autoridad competente e informando de las actividades a realizar. De esta manera se tendrán en cuenta las posibles limitaciones existentes y por parte de las autoridades nos darán las recomendaciones precisas para el tráfico de vehículos durante la realización de los trabajos.

Un punto en común en los dos apartados anteriores de afecciones a peatones y tráfico, es el análisis del entorno en la que se ejecutará la obra y las necesidades de acceso a la misma para su ejecución. Por ello es necesario incluir en este punto las siguientes medidas:

- Acceso de vehículos y maquinaria.
- Acceso peatonal.
- Estudio de movimientos de vehículos en el interior y exterior de la obra.
- Señalización.



Figura 5. Señalización de obras. Fuente: Elaboración propia.

La señalización de obra informará de los peligros que pueden afectar al personal de obra, así como de los accesos y de la velocidad conveniente para circular por ellos con los vehículos y la maquinaria de obra, también se avisará de la realización de obras prohibiendo el acceso a toda persona ajena a la misma, e indicando el camino alternativo para mantener la operatividad del entorno.

En los momentos de mayor cantidad de movimientos se puede disponer de personal específico (equipo de señalistas) que, mediante la señalización adecuada y elementos de comunicación, agilicen las maniobras necesarias de los vehículos que asistan a la obra a la vez que entorpezcan lo menos posible la fluidez del tráfico. También puede ser preciso contar con una brigada de limpieza y mantenimiento que cuidará, en todo momento de la limpieza de las calzadas y aceras, manteniendo estas en adecuadas condiciones de circulación.

- **INTERFERENCIAS CON EL MEDIO AMBIENTE.** El desarrollo de las obras conllevará la generación de ciertos impactos medioambientales que pueden afectar al entorno circundante y a los propios trabajadores de la obra, como son la generación de ruidos y polvo. Para reducir estos impactos se tomarán, además de todas aquellas medidas recogidas en el Plan de Seguridad y Salud, las siguientes prevenciones:

| TIPO DE AFECCIÓN | MEDIDAS DE CONTROL |
|------------------------------|---|
| GENERACIÓN RESIDUOS | Todos los residuos y escombros procedentes de la obra se depositarán en contenedores separados para su posterior recogida por gestor autorizado y envío a vertedero o planta de reciclado. Especial atención merece el tratamiento de residuos de amianto. |
| AMBIENTAL (POLVO) | Durante la fase de demolición se realizarán mediciones de inmisiones y siempre se complementarán los trabajos con dispositivos de extracción de polvo y aspersores de agua pulverizada. |
| ACUSTICA (RUIDOS) | Aquellas actividades que produzcan ruido se realizarán en base a un plan de horarios que eviten molestias en el entorno, se usarán máquinas de baja emisión acústica siempre con marcado CE |
| LUMÍNICA (LUZ) | Se cuidará el tipo de iluminación de obra, con lámparas de bajo consumo y su direccionamiento para que, aquellos focos situados en el exterior y estén en funcionamiento durante el horario nocturno no perturben ni deslumbren a las viviendas cercanas. |
| TODAS LAS ACTIVIDADES | Durante todo el transcurso de la obra salvaguardaremos un consumo responsable del agua, energía, baterías, ...comprobando siempre el correcto seguimiento de las buenas prácticas ambientales recogido en nuestro "Plan de Control de Calidad y Medio Ambiente" |

Tabla 1. Cuadro medidas de control. Fuente: Elaboración propia.

- **Minimización de los ruidos generados.** Para ello se tomarán entre otras las siguientes medidas correctoras: la maquinaria a utilizar se revisará antes de su recepción en obra y durante la misma, se adecuará la potencia de la maquinaria al trabajo a realizar, se limitará la velocidad de los vehículos, la maquinaria será manipulada por personal especializado, se sustituirán siempre que sea posible los contenedores metálicos por otros de plástico o textiles y en el interior del edificio se sellarán los elementos de cerramiento de cada fase de obra.

Durante el desarrollo de los trabajos se analizarán los niveles sonoros y se aplicarán las medidas necesarias para tenerlos bajo control.

- **Minimización del polvo generado durante las obras.** En este aspecto se tomarán las siguientes medidas: se realizarán humectaciones controladas de los accesos y del interior de la parcela, las descargas de escombros se harán desde pequeña altura, se cubrirá la parte superior de los camiones durante el transporte y las descargas de áridos u otros materiales susceptibles de generar polvo y en el interior del edificio se sellarán los elementos de cerramiento de cada fase de obra. Como norma general se paralizarán los trabajos y se tomarán acciones correctoras pertinentes cuando los niveles de polvo generado superen los niveles admisibles.

2.3.2.4. Tramitación de acometidas de obra.

En el apartado anterior ya se ha hecho referencia a la gestión de las acometidas de obra así como su tramitación. Este aspecto tiene una amplia variedad de posibilidades, condicionadas en gran medida por la ubicación del solar donde se van a desarrollar los trabajos. En zonas urbanas es normal contar con todos los servicios urbanos al borde de la parcela, tales como agua, saneamiento, electricidad, gas y telecomunicaciones. Por el contrario en ubicaciones rurales o alejadas de entornos urbanos puede que estos servicios no se encuentren disponibles fácilmente.

En primer lugar la gestión a realizar es la solicitud de los servicios para la utilización durante los trabajos a las compañías suministradoras. Estas compañías, en muchos casos pueden poner muchas condiciones para efectuar la conexión a las instalaciones provisionales, siendo necesario en muchos casos la elaboración de proyectos técnicos específicos. Es importante tramitar esta documentación lo antes posible para poder valorar el coste inicial así como saber con que instalaciones se puede contar, para en caso contrario valorar y planificar una alternativa. Puede ser el caso del suministro eléctrico, si la compañía nos indica un punto de enganche muy alejado que suponga un tendido eléctrico costoso podemos valorar la alternativa de emplear grupos electrógenos con alimentación diesel. Cuanto antes se tenga esta información, antes se podrá valorar y elegir las posibles alternativas presentes.

Hay que tener en cuenta que en este sentido también hay que incluir las conexiones a la red definitivas del edificio a ejecutar. Por lo tanto la estimación del coste hay que realizarla teniendo en cuenta este factor, ya que en muchos casos ambos casos pueden estar duplicados. Con un correcto planteamiento y análisis solo es necesario actuar una vez, con el consiguiente ahorro de costes que se puede generar. Por ejemplo sería el caso de realizar en primer lugar la unidad de obra de conexión del saneamiento del edificio a la red y utilizar dicha conexión también para las instalaciones de la obra. De esta forma, con una planificación adecuada se evitan trabajos temporales innecesarios.

El punto determinante en este aspecto es la comunicación con las compañías instaladoras y el cumplimiento de las condiciones que nos indiquen, aunque en muchos casos ello implique fuertes desembolsos o gestiones prolongadas. En muchas ocasiones se solicitan el montaje de infraestructuras (como centros de transformación) cuyo uso no va a ser exclusivo de nuestro proyecto.

2.3.2.5. Determinación de las cantidades de materiales y ritmos de compras.

Partiendo de la medición de cada unidad, tanto de las incluidas en el presupuesto como de aquellas auxiliares que se determinen necesarias para el desarrollo de los trabajos, se determinarán las cantidades de los materiales necesarios para acometer cada unidad de obra. Se trataría de realizar la explotación de la lista de materiales, de forma que se pueda determinar su coste así como planificar su compra y conocer los plazos de entrega previstos para cada uno.

Con este listado, que puede obtenerse fácilmente de la documentación de proyecto (mediciones en formato digital), se pueden determinar las distintas necesidades y particularidades de cada uno de ellos. Con esta información también se pueden clasificar los materiales según su tipología.

En este apartado también se puede calcular el ritmo de suministros una vez que conocemos las cantidades totales y el espacio disponible para almacenaje así como el ritmo de ejecución previsto. A este cálculo es necesario hacer ciertas correcciones como son las cantidades de suministro mínimo o aquellos lotes que optimizan los costes de transporte. A estas necesidades, que se obtienen del cálculo, se les incrementa un porcentaje en concepto de margen de seguridad de forma que un problema en el suministro no interfiera en la ejecución de las unidades previstas.

2.3.2.6. Determinación de la cantidad de mano de obra necesaria.

Con el sistema de construcción más extendido actualmente, en el que se subcontrata la ejecución de la mayor parte de las unidades de obra, las necesidades de mano de obra se limitan al personal propio para tareas auxiliares. En este sentido excluyendo a encargados y capataces, la mano de obra a determinar será la necesaria para las tareas de apoyo al desarrollo de los trabajos, en este apartado se incluyen fundamentalmente gruietas, oficiales y peones. Debe tratarse de un personal versátil y polivalente que pueda servir de apoyo tanto a las tareas propias del encargado como a la realización de pequeñas unidades de obra que no se subcontraten. La presencia de este personal no debe condicionar a que las subcontratas realicen las actividades contratadas con ellas de forma íntegra, desde el suministro al puesto hasta la limpieza del tajo.

Las necesidades del personal de obra propio se determinará en función del tipo y tamaño de la obra, así como basándose en la experiencia previa y el personal disponible en la empresa en cada momento. Las funciones que realiza este personal también pueden subcontratarse, disponiendo en la obra de personal de empresas subcontratistas por horas de administración. En este caso es necesario un control estricto de las actividades realizadas y ajustar su presencia en obra a las necesidades reales.

En muchas obras es normal disponer de un equipo de repasos en lo que claramente representa la asunción de un problema que puede ser ajeno. Si cada subcontrata ejecuta su tarea asignada de forma completa y perfecta no es necesaria la utilización de nuevos recursos para la realización de trabajos ya delimitados. En este caso puede establecerse un paralelismo con las acciones utilizadas por los métodos Lean en los que el objetivo es trabajar con cero defectos o la obtención de la calidad a la primera estando en manos de los propios operarios la responsabilidad de su cumplimiento.

2.3.2.7. Determinación de las unidades a subcontratar.

Este apartado es complementario del anterior ya que el conjunto de las unidades de obra debe ser ejecutado con personal ya sea de uno u otro grupo. Aunque salvo casos excepcionales, como en empresas que cuentan con una plantilla especializada amplia (por ejemplo encofradores o ferrallistas) la mayor parte de las actividades será subcontratada, estando el reparto claramente desequilibrado hacia el lado de la externalización.

La elección de las subcontratistas en algunos casos está condicionada al visto bueno de la Dirección Facultativa o al grado de especialización de las partidas a realizar. Este es el caso de unidades de obra referidas a sistemas específicos concretos en los que la cantidad de empresas disponible es muy limitada. En cualquier caso es en esta fase de la gestión de la construcción del proyecto en la que hay que determinar las unidades a subcontratar así como la fijación de las fechas de entrada en obra, es decir, su programación. En este caso es necesario suministrar dos datos: fecha de inicio y fecha de determinación, por lo que será necesario ajustar la presencia de personal en obra para adaptarse al ritmo requerido.

La actuación de los subcontratistas empieza antes de su entrada en obra, realizando tareas preliminares en sus instalaciones tales como preparación de planos de obra para su aprobación, trabajos de taller, recepción de materiales, etc. También hay que tener en cuenta si las actividades a realizar por los subcontratistas requieren de un espacio para el almacenamiento de sus medios y recursos a emplear, en este caso hay que planificar su ubicación y puesta a disposición. Estos materiales son propiedad de la empresa

subcontratista hasta el momento en el que pasan a formar parte de la unidad contratada, por lo que debe quedar constancia que la guardia y custodia de estos materiales es su responsabilidad. No obstante es nuestra responsabilidad el controlar que el tipo y calidad de los materiales se ajusta a lo especificado tanto en el proyecto como en el contrato con la empresa externa.

Conviene en este apartado hacer alguna mención a las relaciones entre jefe de obra y empresas subcontratadas. El personal de estas no pertenece a la contrata principal por lo que no están encuadrados en la organización de esta. La solución más sencilla consiste en que cada subcontrata tenga en la obra un representante de categoría técnica y nivel jerárquico convenientemente capacitado para tomar decisiones de forma rápida. Todas las comunicaciones se harán a través de esta persona, ya que de esta manera se conserva el orden en la obra y se delimitan las responsabilidades.

2.3.2.8. Definición de las instalaciones provisionales de obra.

Es importante analizar la cantidad de las instalaciones provisionales necesarias ya que de su correcta previsión depende tanto la adecuada previsión de su coste como la correcta definición y distribución del espacio disponible para acopios y almacenaje. Parte de la información necesaria nos la suministra el plan de seguridad, ya que en función del número de trabajadores previstos calcula las superficies necesarias para comedores, vestuarios, aseos, etc.

El resto de instalaciones depende de los requerimientos propios de la obra y de la estructura organizativa que se haya decidido aplicar. En este apartado se incluye las oficinas de obra para el equipo asignado, que puede presentar despachos y sala de reuniones para la Dirección facultativa, y las instalaciones de almacenaje. Este último apartado está compuesto por las casetas cerradas (búnker) para la custodia de equipos auxiliares y maquinaria de cierto valor, y por las casetas para el almacenaje de productos que es necesario proteger de la intemperie.

Tan importante como la cantidad es la planificación de la distribución que puede estar muy condicionada por el espacio disponible. Hay que analizar bien todas las opciones disponibles para optimizar la ocupación de la parcela y poder contar con espacio suficiente tanto para acopios como para los movimientos de los equipos de manutención.

En la figura 6 anexa se muestra un ejemplo de casetas de obra colocadas en altura para optimizar el espacio disponible.



Figura 6. Casetas provisionales de obra. Fuente: Imagen propia.

Hay que tener en cuenta que las necesidades son cambiantes a lo largo de la duración de la obra, ya que tanto la cantidad de personal como de requerimientos de materiales son variables durante el proceso de ejecución. Por lo tanto es preciso hacer una planificación de la distribución a lo largo del tiempo y que la ubicación de los primeros elementos no condicione las modificaciones que haya que hacer con el avance de los trabajos. En este aspecto es importante ajustar la cantidad y tiempo de presencia en obra a lo estrictamente necesario.

2.3.2.9. Definición de la maquinaria y medios auxiliares necesarios.

Al igual que en los apartados anteriores el objetivo en este aspecto es determinar los tipos y cantidades de los diferentes medios auxiliares y equipos, así como su programación, que van a ser necesarios en el transcurso de la obra. Solo se incluyen aquí los recursos que no pueden ser asignados a una unidad de obra en concreto, sino los que van a ser utilizados de forma más amplia o para el apoyo y mantenimiento del conjunto de la obra. Por ejemplo nos referimos por tanto a los medios de manutención (grúas, carretillas, traspalés, etc.), maquinaria que se va a emplear para la ejecución de varias unidades de obra y que no es fácilmente repercutible a cada una de ellas (andamios, protecciones, etc.) o maquinaria que no puede asignarse a una partida específica (barredoras, excavadoras en adecuación de accesos, etc.).

Como en los casos anteriores en este apartado deben quedar definidas las necesidades y su distribución temporal para tener una previsión de coste y poder gestionar su adquisición o alquiler con la antelación necesaria.

2.3.3. Programación temporal de los trabajos.

Con todos los elementos previos definidos en el plan de obra, ya estamos en condiciones de acometer una de las principales tareas, junto con el estudio económico, de la fase previa al inicio de los trabajos. Se trata de establecer la planificación de las actividades, es decir, determinar la programación y la secuenciación de las tareas, asignándoles sus duraciones estimadas en función de los rendimientos y recursos previstos así como su distribución temporal según el orden correcto. En este punto conviene diferenciar entre dos conceptos, o formas de reflejar la información, relacionados entre sí:

- **La planificación temporal**, es aquella que permite definir los procesos necesarios para ejecutar la obra y situarlos en el tiempo para controlar la ejecución. Se realiza generalmente mediante un diagrama de barras y debe contener todos los componentes de alcance del proyecto, tengan o no coste asociado.
- **La planificación económica**, por el contrario contiene la información necesaria para describir el modelo de ingresos y costes de la obra, que determina los intercambios monetarios entre los distintos agentes que intervienen en el proyecto.

| | PLANIFICACIÓN TEMPORAL | PLANIFICACIÓN ECONÓMICA |
|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Objetivo | Tiempos y costes | Ingresos y costes |
| Resultado principal | Planificación y coste | Certificación y beneficio |
| Componentes principales | Actividades | Unidades de obra |
| Diferencia | Holgura | Beneficio |
| Unidad de tiempo | Días o semanas. | Meses o períodos de certificación |
| Énfasis | Uso de recursos laborales | Necesidades de fondos |
| Para ello tiene | Multitud de fechas | Multitud de precios |
| Los cálculos se basan en | Importes | Cantidades y precios unitarios |
| El avance se basa en | Porcentaje ejecutado | Cantidad ejecutada |
| Imputación de costes | Directa | Analítica, contable o financiera |
| Integración de obras | Para nivelar recursos | Para consolidar ingresos y costes |

Tabla 2. Diferencias de aspectos entre planificación temporal y económica. Fuente: elaboración propia.

En este apartado se va a desarrollar el primer concepto ya que aunque las dos planificaciones reflejan un mismo proyecto y ambas se apoyan la una en la otra, representan dos puntos de vista diferentes. La segunda visión se analizará en el apartado de gestión económica.

2.3.3.1. Conceptos previos.

La forma más extendida es la representación gráfica mediante la elaboración mediante diagramas de Gantt como se detalló en la introducción. Salvo en proyectos singulares o de ejecución compleja no suele ser habitual la elaboración de diagramas PERT, aunque actualmente su elaboración es sencilla con el empleo de herramientas informáticas como Microsoft Project por ejemplo. Con el uso de estos programas la introducción de datos es común, secuenciado las tareas, así como las relaciones entre ellas, y fijando fechas de inicio y fin. Posteriormente esta información puede ser mostrada en forma de diagramas de Gantt o PERT, pero los primeros ofrecen una información más fácilmente legible para todos los interesados. No obstante estos gráficos ofrecen una información muy importante: la definición del camino crítico que va a marcar la secuencia de actividades que determina la duración máxima del proyecto.

Con las tareas de planificación se realiza una modelización del futuro, basándose en los datos y en la experiencia de los que se dispone desde el punto de vista del momento presente en el que se realiza la estimación. En este sentido es necesario tener en cuenta que el modelo que se desarrolle estará sujeto a numerosas incertidumbres y además también depende de la actitud y posicionamiento de las personas que intervienen en la materialización de dicho futuro. Por lo tanto se puede deducir que el futuro que modelizamos, así mismo incidirá en el presente, sobre todo en la forma de actuar de los agentes que construyen la planificación. Esto es así ya que dichos agentes están vinculando sus tareas y responsabilidades a realizar con los objetivos previstos en ese documento que realizan denominado planificación.

La planificación de una obra es un conjunto de actividades de estudio y análisis que se materializan en una serie de documentos que reúnen las previsiones técnicas, económicas y cronológicas de una obra. Según la definición que proporciona el PMI (Project Management Institute): *“La Gestión del Tiempo del Proyecto incluye los procesos requeridos para administrar la finalización del proyecto a tiempo”*.

La realización de buena planificación previa de las actividades ofrece múltiples ventajas durante el desarrollo de la ejecución de los trabajos, se pueden destacar las siguientes:

- Al realizar una buena planificación previa en la fase de definición el proyectista necesita profundizar en los medios para realizar cada unidad con la consiguiente ventaja en cuanto a la precisión de los precios y los plazos reflejados en el presupuesto.
- Permite una definición más exacta de los pliegos de condiciones, sobre todo en lo que se refiere a la ejecución de unidades de obra. Al conocer con profundidad las unidades de obra, su ejecución y los recursos necesarios, se puede hacer una mejor definición de los pliegos, asignando responsabilidades claras y aportando una correcta definición de las características de equipos y sistemas.
- Con una planificación bien definida los presupuestos pueden ser más exactos por lo que estos presentan una menor posibilidad de variaciones posteriores. Al haberse analizado profundamente todo lo que incorpora cada una de las actividades, se identifica claramente la cantidad de recursos asignados y por lo tanto su coste. Esto conlleva la optimización de los dichos recursos por lo que aumenta la eficiencia de los recursos a implementar, disminuyendo de forma significativa los riesgos económicos.
- Permite una programación de actividades que evita descoordinaciones en la realización de la obra y evita lagunas en la identificación de actividades de tipo administrativo que están asociadas a las de construcción. Se aprovechan mejor los recursos (maquinaria, mano de obra, materiales e instalaciones) al distribuirlos más racionalmente en el tiempo. De ésta forma se evitan pagos adelantados y costes de movimientos innecesarios en cuanto al trasiego, almacenamiento y tareas de manutención del material en el tajo donde se va a utilizar.
- Una planificación correctamente realizada, da lugar a menos imprevistos, y en el caso de que estos se produzcan permiten revisar la planificación de los trabajos de una forma más sencilla. Gracias a este aspecto la realización del plan de contingencias va a ser más reducido y concreto, centrándose en aquellas actividades o situaciones que por sus características vayan a ser susceptibles de afección en riesgos.
- La planificación es el primer paso para un programa de control de costes o de control de calidad, que tiene que basarse necesariamente en la duración de actividades y en los recursos empleados en ellas.

El resultado de la planificación de una obra no es solo la elaboración de un diagrama, también hay que destacar que en función del tipo de obra, o de los planteamientos del equipo que lo realiza, el alcance puede ser más o menos extenso y detallado. Se denomina planificación al conjunto de la documentación que se requiere para reflejar todos y cada uno de los elementos que componen la información que va a permitir el seguimiento del modelo realizado. Por lo tanto si la documentación solo incluye un cronograma, se está proporcionando una parte importante de la planificación, pero no toda la información necesaria. Para poder justificar dicha planificación se deberá adjuntar toda la información utilizada de manera que se pueda desarrollar el cronograma con garantías, para ello hay también hay que adjuntar la siguiente documentación:

2.3.3.2. Definición de Actividades.

Se debe proporcionar un listado de Actividades a desarrollar, incluyendo el identificador de la actividad y la descripción del alcance del trabajo para cada actividad con el nivel de detalle necesario y suficiente para que los miembros del equipo de proyecto entiendan el trabajo a desarrollar. Una vez terminada la actividad se definirá la relación de atributos mediante la inclusión de actividades predecesoras y sucesoras, relaciones lógicas, adelantos y retrasos, requisitos de recursos, fechas impuestas, restricciones y supuestos. Estos atributos se utilizan para identificar la persona responsable de ejecutar el trabajo, la zona geográfica o lugar donde debe desarrollarse el trabajo y el tipo de actividad.

Otro elemento importante es la Lista de Hitos, entendiéndose como Hito un punto o evento significativo dentro del proyecto. La Lista de Hitos los identifica y clasifica, por ejemplo define si son obligatorios, como los exigidos contractualmente, u opcionales como los basados en la experiencia previa o requerimientos propios. En este sentido hay que tener en cuenta que tan importante como el plazo final son los cumplimientos de los plazos parciales, ya que estas fechas pueden figurar en contrato incluyendo penalizaciones por incumplimientos.

2.3.3.3. Secuenciación de las Actividades.

Es necesario realizar un estudio detallado contemplando las características particulares de la obra, estableciendo prioridades y ordenando temporalmente la ejecución de las diferentes actividades. Para ello se puede partir de un esquema general basado en capítulos y posteriormente ir bajando la clasificación a niveles inferiores como subcapítulos y partidas.

En este estudio se documentará la tipología de relaciones lógicas o dependencias, identificando el tipo de relación entre actividades. Los enlaces o dependencias entre actividades definen el proceso de ejecución y se determinan a partir de los conocimientos de construcción y de la experiencia. Los enlaces pueden ser de varios tipos, cada uno de los cuales admite un posible desfase o solape entre las dos actividades que relaciona.

- **Final – inicio.** La actividad sucesora solo comienza cuando ha terminado la antecesora. Este tipo de relación es poco habitual en construcción ya que las actividades suelen tener un cierto solape. Se excluyen las actividades de gestión, como por ejemplo la aprobación de la licencia o la firma de un contrato.
- **Inicio – inicio.** La actividad sucesora se inicia una vez iniciada la antecesora con el margen adecuado de diferencia entre tareas.
- **Final – final.** La sucesora no puede terminar hasta que haya acabado la antecesora, también con un solape para mantener la distancia entre ellas.
- **Inicio – final.** De carácter teórico, este caso es muy raro en construcción.
- **Doble.** Combinación de dos enlaces Inicio-inicio y Final-final con sus respectivos solapes.

El enlace doble es un potente mecanismo para relacionar actividades complejas que se solapan, sin necesidad de descomponerlas en pequeñas tareas. Un ejemplo es la apertura de rozas, que puede comenzar en cuanto han transcurrido algunos días desde que se inicia la tabiquería. Si la segunda actividad se realiza a mayor velocidad que la primera, el enlace final-final se encarga de retrasar su comienzo para que no la adelante. Un solo enlace doble resuelve una relación que en una planificación tradicional requiere descomponer las dos actividades en unidades menores (como viviendas o plantas) y realizar una gran cantidad de precedencias.

También habrá que relacionar cada actividad con la definición de dependencias, que podrán ser “dependencias obligatorias”, “dependencias discrecionales” o “dependencias externas”. Y por último se indicará si son de aplicación posibles “adelantos” o “retrasos”. Todo se documentará en el plan de proyecto.

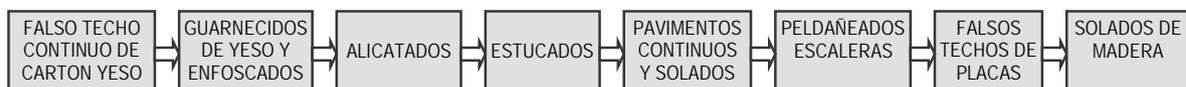


Figura 7. Esquema secuenciación de tareas en capítulo de revestimientos. Fuente: Elaboración propia.

En la documentación incluida en el contrato de obra con la propiedad suele estar contemplada una planificación de los trabajos que incluye, al menos, la fecha final y plazos parciales que son necesarios cumplir. Con esta programación tenemos la base sobre la que desarrollar la planificación real, ajustando la secuenciación de las actividades a la experiencia propia o a la disponibilidad de los recursos de forma que se obtenga la planificación que obtenga los mejores resultados tanto en plazo como en coste.

2.3.3.4. Estimación de los Recursos necesarios para la ejecución de las actividades.

En este punto se identifican los diferentes recursos necesarios y su cantidad, para ejecutar cada actividad de una partida o tarea. En este aspecto ya se ha realizado un estudio previo, como se ha detallado en los puntos correspondientes del plan de obra, por lo que los datos obtenidos se vuelcan en este apartado de forma que dicha información se utilice en la planificación de las actividades. Es decir, se trata de vincular las cantidades de los distintos tipos de recursos necesarios a la programación de la actividad en concreto.

| Código | NatC | Resumen | Grupo | ResumenGrupo | Obj | 1: Plan | 2: Plan | 3: Plan | 4: Plan | 5: Plan | 6: Plan | 7: Plan |
|--------|-----------|--|-------|----------------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | | | 2.058.797,... | 31-May-12 | 30-Jun-12 | 31-Jul-12 | 31-Ago-12 | 30-Sep-12 | 31-Oct-12 | 30-Nov-12 |
| 1 | E05HFS400 | Formación de hueco en forjado con zuncho | E05 | ESTRUCTURAS | 13.267,80 | | | 4.195,80 | 3.402,00 | 4.536,00 | 378,00 | 756,00 |
| 2 | E22NTC060 | Tubería de calefacción de cobre rígido de 3" | E22 | CALEFACCIÓN Y A.C.S. | 846,72 | | | | | | | |
| 3 | M01HE010 | Bomb.horm.estacionaria 10-25 m3/h. | E09 | CUBIERTAS | 874,70 | | | | | | | 21,16 |
| 4 | M02GT002 | Grúa pluma 30 m./0,75 t. | E05 | ESTRUCTURAS | 15.167,23 | | 3.971,82 | 4.122,55 | 4.072,39 | 3.000,47 | | |
| 5 | M02GT120 | Grúa torre automontante 20 t/m. | E04 | CIMENTACIONES | 736,07 | 439,52 | 296,55 | | | | | |
| 6 | M03HH020 | Hormigonera 200 l. gasolina | E07 | CERRAMIENTOS Y DIVISIONES | 74,13 | | | | | | | 22,97 |
| 7 | M03HH020 | Hormigonera 200 l. gasolina | E10 | AISLAMIENTO E IMPERMEABILIZACIÓN | 150,56 | | | | | | | |
| 8 | M03HH030 | Hormigonera 300 l. gasolina | E07 | CERRAMIENTOS Y DIVISIONES | 3,46 | | | | | | 3,46 | |
| 9 | M05EN030 | Excav.hidráulica neumáticos 100 CV | E02 | ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO | 6.391,86 | 6.391,86 | | | | | | |
| 10 | M05RN030 | Retrocargadora neumáticos 100 CV | E02 | ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO | 4.794,93 | 4.794,93 | | | | | | |
| 11 | M07CB030 | Camión basculante 6x4 20 t. | E02 | ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO | 15.496,71 | 15.496,71 | | | | | | |
| 12 | M07N060 | Canon de desbroce a vetedero | E02 | ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO | 13.531,47 | 13.531,47 | | | | | | |

Figura 8. Vista estimación recursos realizada con Presto. Fuente: Captura del programa.

La duración de cada tarea en concreto, está determinada por el plazo disponible para su ejecución y por lo tanto hay que ajustar la previsión de los recursos necesarios, tanto personales como materiales, al rendimiento previsto para el cumplimiento del plazo.

2.3.3.5. Estimación de la duración de las actividades.

Como se comentaba anteriormente la duración de las actividades viene determinada por los recursos asignados para su ejecución y el rendimiento estimado de estos recursos. Estos dos factores nos indicarán una duración prevista que será necesario ajustar al tiempo disponible para su realización, modificando si es necesario los recursos previstos inicialmente.

En la documentación incluida en la planificación se adjuntarán los cálculos estimados de la duración de las actividades. Son valoraciones cuantitativas de la cantidad probable de periodos de trabajo que se necesitarán para completar cada actividad. Estas estimaciones podrán incluir alguna indicación de rangos o márgenes de probabilidad y se realizarán tomando como base todos los puntos anteriormente vistos.

| | | | |
|--------------------------------|--|---------------------------------|---|
| Tarea: | Aplacado de piedra caliza de 3cm en fachadas | Tarea: | Cerramiento de ladrillo perf. de 1/2 pie de espesor |
| Cantidad de proyecto: | 200 m ² | Cantidad de proyecto: | 1.125,00 m ² |
| Rendimiento estimado: | 10 m ² / día por cuadrilla | Rendimiento estimado: | 20 m ² / día por cuadrilla |
| Tiempo disponible: | 22 días | Tiempo disponible: | 30 días |
| Duración est. con 1 cuadrilla: | 20 días | Duración est. con 1 cuadrilla: | 56,3 días |
| | | Duración est. con 2 cuadrillas: | 28,1 días |

Tabla 3. Esquema secuenciación de tareas en capítulo de revestimientos. Fuente: Elaboración propia.

En los ejemplos anteriores se puede ver como la estimación de la duración de las actividades y la estimación de los recursos previstos están íntimamente ligadas entre sí. Si la actividad que se está estudiando forma parte del camino crítico previsto, su duración condicionará el plazo total del proyecto, mientras que si no forma parte de dicha ruta crítica la diferencia entre tiempo disponible y duración real permite ciertas holguras que será necesario analizar. Dichas holguras indican el margen de maniobra para alterar la fecha o duración de las actividades.

Las actividades que no tienen holgura forman el camino crítico. Son las que hay que vigilar con más cuidado y las que hay que acortar si se quiere reducir la duración de la obra. Si la planificación se realiza con datos razonables y una metodología correcta, el resultado obtenido debe ser aceptado. El descrédito de los métodos de planificación se debe en parte a que los datos se manipulan hasta que el resultado se ajusta a otro plazo determinado de antemano.

2.3.3.6. Desarrollo del Cronograma.

Basándonos en toda la información recopilada en los documentos incluidos en los apartados anteriores, se procederá a asignar a cada tarea o paquete de trabajo una fecha de inicio y una fecha de finalización programada. El cronograma puede reflejarse bajo diversos formatos, no obstante deberá ante todo presentarse de forma clara en cualquiera de los formatos en el que se decida realizar: cronograma completo, resumido, por hitos, etc. Los cronogramas se pueden realizar mediante herramientas informáticas existentes: Primavera Project Planner, Microsoft Project, Open Work Bench, Ganttprojectt, Presto, etc., aprovechando las ventajas que estos sistemas ofrecen en cuanto al seguimiento o control y a la forma en la que muestran la información como diagramas de barras o nudos. En muchos casos la información mostrada vincula la programación temporal con la económica, con las ventajas que ello conlleva en cuanto al seguimiento integral del proyecto.

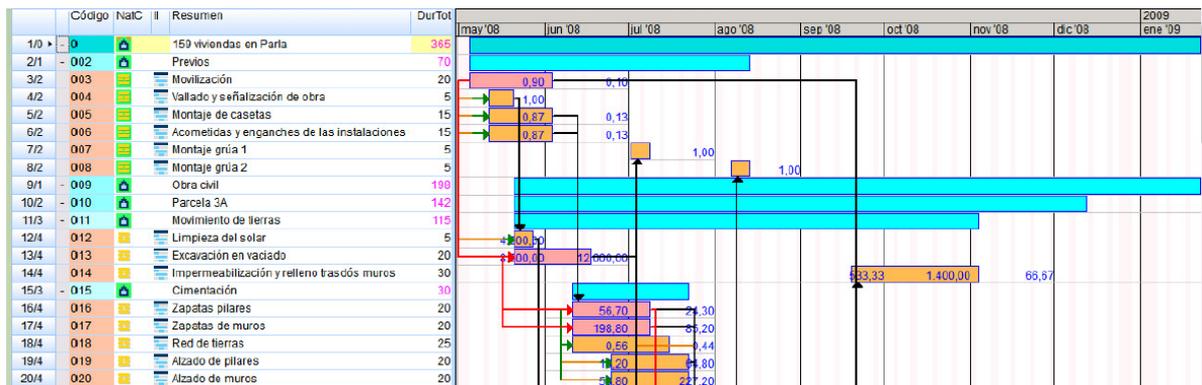


Figura 9. Cronograma realizado con Presto relacionando planificación temporal y económica. Fuente: Captura del programa.

Es importante reseñar que en el momento en el que se considere que el cronograma está totalmente desarrollado y tenga el visto bueno de los intervinientes en el proceso, se deberá realizar lo que se denomina la “Línea Base”. Esta Línea Base constituye una referencia que sirve para poder comparar las modificaciones y actualizaciones, y por tanto el seguimiento y control del cronograma, con lo que previsión inicialmente realizada.

Por lo tanto como se comentó al inicio de este apartado para complementar la información ofrecida por el cronograma la planificación deberá contener también el programa detallado del proceso de ejecución elegido y su coste, las necesidades de recursos y su ubicación en el tiempo y en el espacio, los rendimientos previstos, la justificación de las relaciones entre tareas, etc. Además también es conveniente hacer referencia a las relaciones con el plan de calidad a seguir, el plan de seguridad que se deberá cumplir y el plan de control de producción.

2.4. Estudio Económico.

El objetivo principal de este apartado, previo al inicio de los trabajos, es la determinación de los recursos económicos necesarios para el desarrollo del proyecto. Este estudio tiene dos componentes: por un lado la revisión de la valoración económica que sirvió como base de la contratación, obteniendo el presupuesto objetivo. Por otro lado la estimación del reparto temporal de las necesidades de capital, basadas en la previsión de ingresos y gastos a lo largo de la duración del proyecto.

A continuación se desarrollan ambos aspectos.

2.4.1. Elaboración y seguimiento del presupuesto del proyecto.

La gestión de los costos del proyecto incluye los procesos involucrados en estimar, presupuestar y controlar los costos de modo que se complete la ejecución del proyecto dentro del presupuesto previsto. En esta fase, por tanto los procesos que se llevan a cabo son los siguientes:

- **Estimación de costos.** En este proceso se desarrolla una estimación de los recursos financieros monetarios necesarios para realizar el conjunto de actividades que componen el proyecto. Consiste en una predicción basada en la información disponible en un momento dado.

La estimación de costos debe afinarse durante el transcurso del proyecto de forma que refleje los detalles adicionales a medida que se va disponiendo de una información más precisa de los costes reales. La exactitud de la estimación del costo de un proyecto aumenta a medida que avanza el ciclo de vida del proyecto. Por lo tanto la estimación de costos es un proceso iterativo y continuo que es necesario actualizar, teniendo siempre como referencia la estimación realizada en la fase inicial.

- **Determinar el presupuesto.** En este apartado se consideran de forma global los costos estimados de las actividades individuales o paquetes de trabajo, con el objetivo de establecer un presupuesto objetivo para el desarrollo del proyecto. Dicho en otras palabras el presupuesto del proyecto constituye los fondos autorizados para llevar a cabo dicho proyecto. Hay varias herramientas y técnicas disponibles para la determinación del presupuesto que pueden ser más o menos precisos en función de la experiencia previa de la organización. A su vez la elección de unos métodos u otros está condicionada por el tiempo y la información disponible para su elaboración. Estas herramientas y técnicas son:

- **Suma de costos.** Se estiman los costes parciales para cada unidad o paquete de trabajo. Posteriormente se agrupan según niveles superiores como capítulos hasta llegar al resultado que engloba todos los aspectos necesarios para la ejecución del proyecto conforme a los requisitos.
- **Análisis de reservas.** El análisis de reservas del presupuesto puede establecer tanto las reservas para contingencias como las reservas de gestión del proyecto. Las reservas para contingencias son asignaciones para cambios no planificados, pero potencialmente necesarios, que pueden presentarse de riesgos identificados previamente. Por el contrario las reservas de gestión son presupuestos reservados para cambios no planificados en el alcance y en el costo del proyecto.
- **Opiniones de expertos.** Se trata de opiniones que se ofrecen sobre la base de la experiencia en una área en concreto, por ejemplo en el caso de obras que presenten características singulares en cuanto a instalaciones, ubicación, proceso constructivo, etc. Estas opiniones pueden ser proporcionadas por diversas fuentes, con una experiencia y capacitación especializada, por ejemplo: personas de la propia empresa, consultores, asociaciones profesionales, etc.
- **Experiencia previa.** Se trata de obtener información de la experiencia previa en la realización de proyectos de características similares. Para ello se debe organizar la información obtenida del análisis de los proyectos realizados referenciándolos a unidades o ratios que sean utilizables para proyectos futuros. En este caso es muy habitual emplear referencias del tipo coste por metro cuadrado construido, que sirven como base para la determinación de presupuestos de proyectos de características similares.

- **Control de costos.** Proceso que consiste en el análisis del estado económico del proyecto en cualquier momento de su ejecución y que permite compararlo con el objetivo de costo previsto. El seguimiento y actualización del presupuesto implica el registro de los costos reales en los que se ha incurrido hasta la fecha del análisis de forma que se tenga conocimiento de las posibles desviaciones. Para la consecución de los objetivos de este proceso son diversas las técnicas y herramientas que se emplean, se detallan a continuación:

- **Gestión del valor ganado.** Es una técnica de gestión de proyectos que permite controlar la ejecución de un proyecto a través de su presupuesto y de su calendario de ejecución. Compara la cantidad de trabajo ya completada en un momento dado con la estimación realizada antes del comienzo del proyecto. De este modo, se tiene una medida de cuánto trabajo se ha realizado, cuanto queda para finalizar el proyecto y extrapolando a partir de los recursos invertidos en el proyecto, el jefe de proyecto puede estimar los recursos que se emplearán para finalizar el proyecto. Con esta metodología se puede estimar en cuanto tiempo se completaría el proyecto si se mantienen las condiciones con las que se elaboró el cronograma o considerando si se mantienen las condiciones que se presentaron durante el desarrollo del proyecto. También se puede utilizar para estimar el costo total del proyecto.

Es decir, el Método del Valor Ganado (EVM) es un sistema de gestión que integra el coste, el plazo y la eficiencia técnica. No obstante hay que tener en cuenta que no mide dicha eficiencia en la ejecución en unidades de tiempo, sino de coste, es decir, en dinero. En el siguiente gráfico se refleja el estado en un momento dado del desarrollo del proyecto así como la previsión de su evolución.

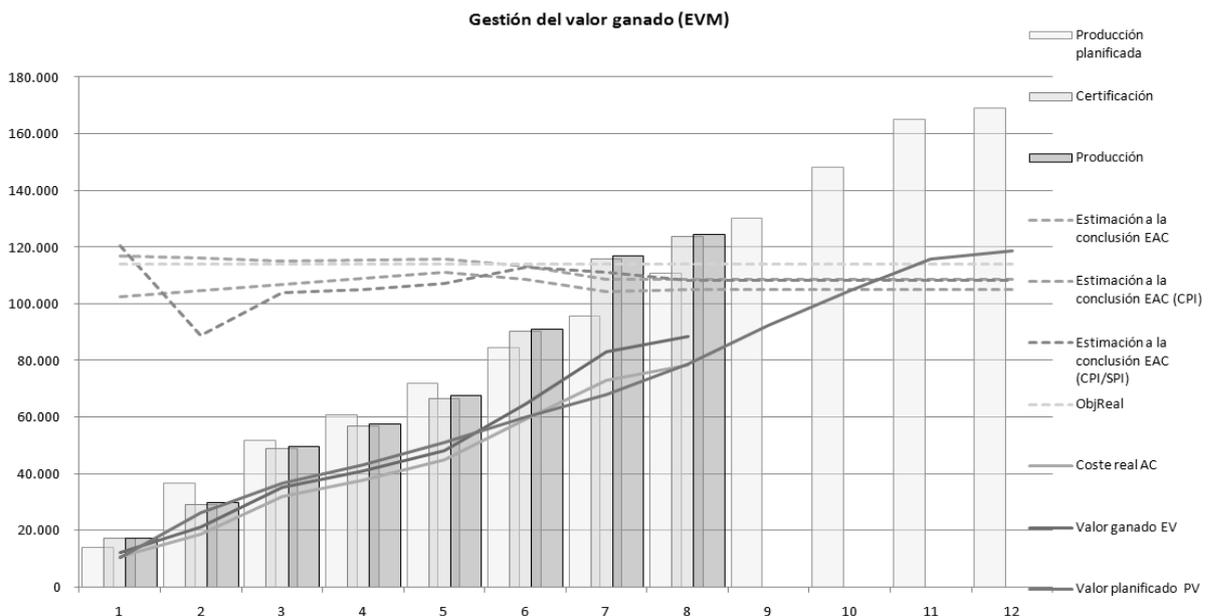


Figura 10. Diagrama de barras representando la gestión de EVM. Fuente: Captura del programa.

Los tres procesos anteriormente detallados, interactúan y se complementan entre sí. Además, para obtener la información necesaria necesitan de los recursos de otras áreas o departamentos de la empresa como por ejemplo los departamentos financieros y de contabilidad.

2.4.2. Análisis financiero y necesidades de capital.

La ejecución de una obra obliga a la empresa a la inversión de un capital, distribuido a lo largo de un determinado intervalo de tiempo. Este intervalo no coincide con el plazo de ejecución, sino que se inicia antes de la fecha de comienzo (estudio de obra, oferta, trabajos preliminares, etc.) y termina después de la fecha de terminación de los trabajos, ya que es necesario tener en cuenta la fecha de recepción definitiva, los plazos de garantía, los servicios postventa, etc.

La inversión de capital realizada por la empresa es recuperada por esta mediante la liquidación de las certificaciones de obra o cualquier otro método de pago acordado con el promotor. Pero como las certificaciones se realizan sobre obra ejecutada y además su confección y liquidación ocupan un determinado tiempo, existe un desfase entre la ejecución de las unidades de obra y su cobro por la empresa. Es decir: la empresa realiza unos determinados gastos de los que se resarce después de un tiempo determinado. Durante este tiempo, tiene un capital invertido, que no puede utilizar en sus fines propios y que resta de sus disponibilidades de capital. En esta situación se pueden dar dos casos:

- **1º.-** El capital disponible de la Empresa es suficientemente grande para que aun teniendo en cuenta el capital inmovilizado en la obra (o conjunto de obras) realizada y no cobrada, les reste capital para desenvolverse cómodamente. Entonces, hay que pensar que el tamaño de la empresa es excesivo para el grupo de obras que realiza y que el capital de la empresa no está correctamente invertido, ya que permanece inactivo en parte. Además los gastos fiscales son en parte función del capital de la empresa y al ser este mayor del necesario, se producen gastos fiscales excesivos.
- **2º.-** El capital disponible de la empresa es muy pequeño en relación con las inversiones que tiene que realizar, dependiendo para su desenvolvimiento, casi exclusivamente, del crédito. Esta situación es muy peligrosa pues cualquier contracción en el crédito puede producir la paralización de la empresa. Esta es la situación que se ha vivido en los últimos años, en los que hemos visto como la limitación del crédito disponible ha llevado a la desaparición de numerosas empresas del sector.

Entre estos dos casos extremos, se encuentra la posición correcta. El capital de la Empresa es suficiente para, con ayuda del crédito utilizable, realizar las inversiones necesarias manteniendo todo su capital en actividad. Ahora bien, para obtener el crédito necesario es indispensable conocer, de la forma más precisa posible, su cuantía y distribución temporal, aparte, naturalmente de reunir las condiciones necesarias en cuanto a confianza y solvencia frente a las posibles entidades dispuestas a conceder el crédito.

Para determinar la cuantía del crédito necesario así como su distribución temporal es imprescindible basarse en la programación de la planificación de obra. Sobre ella se reflejará de forma precisa y realista la previsión de ejecución de trabajos y obtener de ella las previsiones de tesorería. Actualmente está en vigor la ley antimorosidad para el caso de obras ejecutadas para la administración pública, por lo que los plazos tanto de cobro como de pagos están condicionados. Estos plazos obligatorios son los que hay que utilizar en la realización de los flujos de caja, con las correcciones que se crean oportunas, de forma que se conozca de forma lo más ajustada a la realidad posible la previsión de tesorería.

En este sentido en años anteriores a la aparición de la ley antimorosidad se han dado casos de abuso de posición por parte de las grandes empresas del sector. Actualmente una gran parte de las partidas que componen un proyecto es ejecutada por empresas subcontratas por lo que solo una parte pequeña de la inversión realizada no puede pagarse diferida en el tiempo (salarios, seguros sociales, etc.). El resto de pagos se diferían en el tiempo tanto como era posible, produciéndose antes el cobro de las certificaciones por parte del cliente, ya fuese público o privado. De esta forma se reducían las necesidades de capital para financiar el funcionamiento de la empresa, siendo posible llegar a trabajar en algunas ocasiones con un margen de maniobra negativo.

El análisis de las necesidades financieras totales se realiza en esta fase a partir de la planificación prevista para cada uno de los siguientes grupos de recursos:

- **Previsión de inversión en materiales.** Para poder realizar la previsión de la inversión de capital en materiales así como su distribución temporal, es necesario conocer las cantidades, tipos y calidades de los distintos materiales que van a emplearse en la obra. Este estudio que se ha realizado previamente en el estudio económico de la obra, se complementará con la programación de los trabajos y asignándole la previsión de la forma de pago se obtiene la distribución temporal de la inversión de este apartado. Hay que tener en cuenta que la inversión en materiales supone aproximadamente un tercio del gasto total en un proyecto tipo.
- **Previsión de inversión en mano de obra.** Actualmente la plantilla propia de las empresas asignadas para la realización de un proyecto es muy baja en comparación con el volumen total de mano de obra necesaria. Esto es así debido al alto grado de subcontratación al que se recurre en la ejecución de los trabajos, por lo que el cálculo de los costes de la mano de obra son sencillos de realizar y

representan un porcentaje muy pequeño respecto al conjunto de la obra. En una obra de tamaño medio (hasta 6 millones de euros) el equipo de obra propio de la empresa asignado puede estar formado por un jefe de obra, un encargado, un capataz, dos gruistas, dos oficiales y tres peones. También hay que tener en cuenta los miembros del equipo no adscritos exclusivamente a la obra como pueden ser el jefe de grupo, delegado o personal de calidad o seguridad siempre que no estén contemplados en los gastos generales de la empresa.

Con este esquema es sencillo realizar el reparto temporal del coste ya que una vez conocida la fecha de inicio y fin, así como el coste salarial de cada uno en la distribución solo hay que tener en cuenta los meses en los que interviene cada uno de los miembros del equipo.

- **Previsión de inversión en actividades subcontratadas.** En este aspecto
- **Previsión de inversión de maquinaria y medios auxiliares.** En este aspecto solo se tendrán en cuenta los medios auxiliares que dependan exclusivamente de las actividades a realizar por la empresa con su personal o como apoyo al resto de actividades, ya que se intentará que las unidades subcontratadas aporten todos los medios necesarios para ejecutar la tarea asignada. La grúa, la caseta, etc.

2.5. Tareas de gestión durante la fase de ejecución.

Una vez se ha realizado por parte de la empresa la contratación de una obra de construcción, se entrega al equipo responsable asignado a la gestión del proyecto en la fase de ejecución, toda la documentación mediante la cual se ha realizado la oferta, la cual finalmente ha resultado adjudicataria. Este expediente, además de la documentación de proyecto, debe incluir todos los estudios previos en los que se ha basado la empresa para la elaboración de su propuesta económica: revisión de mediciones, presupuesto objetivo, errores de proyecto detectados, ofertas en firme recibidas, etc.

En los siguientes apartados se van detallar las responsabilidades del equipo de obra. Serán las siguientes:

2.5.1. Análisis del presupuesto de contrata y realización de las previsiones reales de ejecución.

Debido al posible tiempo transcurrido desde la fecha de elaboración de la propuesta económica y la fecha de inicio de los trabajos, es necesario que el equipo asignado, que tiene como responsable directo al jefe de obra, realice un nuevo estudio y aseguramiento de previsiones para la ejecución de las diferentes unidades y el cumplimiento de las condiciones contractuales. De esta forma se revisa el estudio previo que sirvió como base para la elaboración de la propuesta económica, actualizándose a las condiciones actuales y reales de ejecución de los trabajos. El objetivo es corregir las posibles desviaciones (en un sentido u otro) que hayan podido producirse debido a los cambios en las condiciones previstas, de esta forma desde el mismo comienzo de los trabajos se conoce el punto de divergencia entre ambos estudios.

Para la realización del presupuesto objetivo o estudio inicial, es necesario realizar una comprobación exhaustiva de los documentos en los que se basó la oferta. Este trabajo incluye una revisión tanto a nivel documental como a nivel de aseguramiento y compromiso de los suministradores y proveedores de los precios indicados previamente para la realización de la oferta base. También es conveniente buscar nuevas alternativas de ofertas que puedan mejorar las previstas, así como un análisis pormenorizado de las condiciones particulares que presente la obra en cuestión una vez se ha producido la implantación.

- Los documentos requeridos para el inicio de las obras:
 - Documento de cierre de la oferta con la documentación utilizada para la realización de la misma.
 - Contrato de obra firmado entre las partes, incluyendo cualquier anexo que se cite en el mismo.

- Presupuesto de contrata con relación del desglose de la medición y de los precios, además si existiese algún descompuesto mencionado expresamente en la oferta.
 - Proyecto básico y de ejecución firmado por los técnicos y por la Propiedad como documento de inicio.
 - Proyecto de instalaciones eléctricas y de fontanería firmado por los técnicos autores y por la propiedad.
 - Proyectos de calefacción, aire acondicionado e instalaciones especiales de captación de energía solar, térmica y eléctrica.
 - Proyecto de Telecomunicaciones firmado por el técnico autor y por la propiedad.
 - Plan de Control de Calidad firmado por la Dirección facultativa.
 - Estudio de seguridad y salud, firmado y visado por técnico competente y por la propiedad.
 - Planificación y organigrama de las fases de construcción.
 - Licencia de obras y condicionantes que la rigen.
 - Aviso previo de comunicación de apertura de trabajo a la autoridad laboral.
 - Cualquier disposición adicional exigida por el ayuntamiento o consejería en caso de VPO.
 - Memoria técnica de calidades firmada por la propiedad y por la Dirección Facultativa.
- Instrumentos necesarios para el control y seguimiento de la obra:
 - Estudio real efectuado con los contratos cerrados con los proveedores del proyecto.
 - Análisis de los medios auxiliares a utilizar de acuerdo con los criterios del jefe de obra.
 - Libro de control a empresas de mano de obra.
 - Libro de control a suministradores.
 - Libro de control de costes indirectos.
 - Planning de la obra de control de producción.
 - Regularización y producción mensuales.
 - Libro de control de cambios y gestión documental.

2.5.2. Gestión documental de los procesos de construcción.

Este aspecto está condicionado por las condiciones particulares del funcionamiento interno de la empresa ya que para realizar la gestión documental se establecerán previamente las reglas que regirán las comunicaciones y la gestión documental. Estas reglas de funcionamiento estarán claramente definidas si la empresa tiene implantado unas normas de calidad como las ISO:9001, o en el caso de que no cuente con ellas se basará en la experiencia previa de su funcionamiento habitual. En cualquier caso es necesario establecer unos criterios de comunicación, tanto a nivel del tipo de información, tipo de documento, forma de comunicar la información o de transmitir el documento, destinatarios y responsables de su emisión. De esta forma se determinan las necesidades de información y comunicación de los interesados en el proyecto y además deberán especificar quién necesita cada tipo de información, cuándo la necesitará, cómo le será suministrada y por quién.

Como se comentaba anteriormente, este aspecto está estrechamente vinculado a los factores ambientales de la empresa y por tanto a la estructura de la organización, que tendrá un efecto importante sobre los requisitos de comunicaciones de proyecto.

- Este plan deberá contener:
 - Requisitos de comunicaciones de los interesados.
 - Información que debe ser comunicada, incluidos formato, contenido y nivel de detalle.

- Persona responsable de comunicar la información.
- Personas o grupos que recibirán la información.
- Métodos o tecnologías usadas para transmitir la información: memorandos, correo electrónico, comunicados de prensa, plantillas,...
- Frecuencia de comunicación.
- Proceso de escalamiento, identificando los plazos y la cadena de mando.
- Método para actualizar y refinar el plan de gestión.
- Glosario de terminología común.
- Listado de plantillas, formularios o documentos prediseñados aplicables al proyecto.

2.5.3. Gestión de contratos, suministros y proveedores.

Este aspecto está condicionado por la estructura interna de la empresa ya que es un factor determinante en la forma de gestionar este apartado si la empresa cuenta con un departamento de compras o es el propio equipo de obra el que debe asumir estas responsabilidades. No obstante el éxito en la gestión de los contratos debe basarse en la colaboración entre el equipo responsable de obra y el departamento de compras en el caso de que este exista. Desde la propia obra se pueden dar los pasos previos en la búsqueda de las ofertas de los proveedores más adecuados (en cercanía) para posteriormente cerrar los aspectos contractuales definitivos por parte del equipo de compras.

Para la gestión adecuada de contratos, hay que tener totalmente definidas las tareas y responsabilidades asignadas al contrato, o en su caso, cada uno de los materiales a suministrar, y a qué unidad de obra van a ir destinados. Con ello tendremos claro, en primer lugar el precio de adquisición previsto en el estudio inicial previo a la contratación de la obra, y en segundo lugar cual va a ser el precio definitivo, y si éste va a sufrir modificaciones a lo largo del proceso de suministro. También se deberán establecer las condiciones del suministro, la forma de pago, el plan de calidad propio del suministro, las objeciones al contrato, las variaciones en el mismo, el lucro cesante, etc., en definitiva todas las cláusulas y apartados definitivos en el contrato tipo que considere la empresa.

Los contratos se deben controlar mediante el uso de herramientas de gestión adecuadas que hoy en día existen, no obstante, se puede efectuar el mencionado trabajo mediante una simple hoja de cálculo, donde se incluyen todos los datos sensibles necesarios para poder efectuar el seguimiento.

2.5.4. Gestión de la administración de los recursos.

Los diferentes recursos a administrar serán distribuidos a lo largo del programa de obra dependiendo de las necesidades de puesta en obra de los mismos. Una buena práctica de administración de recursos es la utilización de programas de gestión de proyectos, MS Project, Primavera Project Planner, Ganttproject, etc., ya que estos programas permiten de forma sencilla la actualización y revisión de las condiciones inicialmente previstas, adecuándolas al desarrollo real de los trabajos.

La administración de los recursos está íntimamente relacionada con gestión económica de la obra, ya que una mala gestión de recursos va a incidir directamente en un incremento de los costes.

2.5.5. Gestión de los cambios del proyecto.

En este sentido por cambios de proyecto hacemos referencia a aquellas modificaciones que afectan a la definición de las partidas o de los materiales y que tienen una repercusión económica. Se puede determinar que existen dos tipos de cambios en los proyectos: los que nos llegan por circunstancias externas a nuestra empresa, que les vamos a denominar "cambios sobrevenidos", y los cambios que se buscan para mejorar los resultados de la obra que podemos denominar como "cambios propuestos".

En el caso de los **cambios sobrevenidos** el origen puede ser muy diverso y estar debidos a problemas de diseño, a cambios de criterio de la propiedad o Dirección Facultativa, a desconocimiento de la existencia de soluciones diferentes a las proyectadas, a sistemas constructivos inadecuados para las situaciones reales de obra, etc. Estos cambios a propuesta de la Dirección Facultativa o Propiedad deben ser valorados por la empresa constructora según los criterios fijados en el contrato. Pueden representar una modificación importante del presupuesto y el objetivo para la empresa será siempre mejorar el margen previsto para la partida o unidad afectada, independientemente de que el precio pactado sea inferior o superior al previsto.

Cuando los cambios son sobrevenidos es necesario identificar el problema que puede originar el cambio, acotarlo e informar a la Dirección Facultativa de la necesidad de realizarlo, así como el problema económico que se genera con él. Los cambios sobrevenidos pueden ser debidos a factores diversos, pero siempre serán externos a nuestra organización y con ello no previstos en el contrato, con lo cual se nos garantizará la percepción del incremento en coste. Puede ser por ejemplo la aparición de un terreno diferente al previsto y que haga alterar las condiciones previstas para la cimentación. En este caso será preciso modificar las unidades recogidas en el proyecto sustituyéndolas por aquellas que sean necesarias, valorándolas de forma que se alcance un acuerdo en el nuevo precio.

Por el contrario, la gestión de los **cambios propuestos** corresponde a la empresa constructora, concretamente al equipo de obra. Este debe identificar todas las unidades susceptibles de ser modificadas con dos premisas: que se mantengan o mejoren los criterios de calidad y que representen un mejor resultado económico para la organización. En muchos casos no será necesario alterar el precio previsto, si no que la gestión del cambio consistirá en la utilización de materiales o soluciones que resulten más ventajosos que los previstos, siempre que no representen una disminución de la calidad contemplada en el proyecto original.

Un ejemplo de este último caso puede ser la propuesta de modificar la solución prevista para el tratamiento y aislamiento de las cámaras de los cerramientos en viviendas. Para esta solución se puede emplear un proyectado de mortero hidrófugo de altas prestaciones sobre el que se adhiere un aislamiento de lana de roca, frente a la solución prevista de proyectado de espuma de poliuretano sobre un enfoscado basto de mortero. La primera solución representa una opción que ofrece mejores prestaciones a un precio menor pero menos conocida, por lo que la gestión del jefe de obra debe ser identificar la oportunidad de cambio y ofrecerla a la consideración de la Dirección Facultativa. En este caso al mismo precio se ofrece una solución mejor para el proyecto que no representa un incremento de coste para la propiedad y que mejora las previsiones de la empresa constructora. La gestión de este tipo de cambios es muy diferente en función del tipo de contrato pactado con la propiedad. Pueden variar desde obras contratadas a precio cerrado o a riesgo, en los que las modificaciones se asumen por la propia empresa, o en las obras realizadas para la Administración en las que este tipo de situaciones esta protocolizado de acuerdo a la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.

Es labor del jefe de obra el proceso de optimización de los cambios en el proyecto. Para ello lo primero que el jefe de obra debe identificar es, si existe por parte de la Dirección Facultativa, la voluntad de acceder a cambios en las soluciones previstas. Siempre se debe pensar que la solución propuesta deberá generar una mayor eficiencia en coste que la solución inicial. Es ahí donde entra en juego la pericia técnica del jefe de obra, sus conocimientos técnicos y de soluciones innovadoras que van a producir un mejor uso del capital a invertir.

Independientemente del tipo, todos los cambios en un proyecto deben estar documentados, utilizando para ello la documentación y procedimientos previstos por la organización. En esta documentación se indicará cual es la causa del cambio, quién lo propone, a quienes afecta, quien lo aprueba, que coste representa, la afectación del plazo si procede, etc. Sin un adecuado control de cambios se puede perder la referencia de lo que representan dichas modificaciones en el conjunto del presupuesto, mientras que con un control exhaustivo conoceremos como van afectando los cambios al presupuesto y si la gestión está siendo efectiva.

La gestión correcta de este apartado puede aportar una mejora del resultado del proyecto, siempre que desde la empresa constructora se haga de forma responsable teniendo como objetivo la optimización de materiales y procesos y no solo el interés económico propio. A todos los efectos tiene un gran paralelismo con las herramientas de análisis de valor realizados en otros ámbitos productivos. Es decir, el objetivo es eliminar o mejorar todos los aspectos que no aportan valor al proyecto, obteniendo al mismo precio para el promotor un producto final de una calidad superior y que se adapta mejor a lo que realmente se demanda.

2.5.6. Gestión económica de la obra.

La gestión económica se realiza mediante el control de los flujos de recursos y los procesos de transformación o conversión. A través de la gestión de albaranes, se identifican cada uno de los materiales que los diferentes proveedores van suministrando. Es una acción bastante habitual el asignar a cada uno de los diferentes materiales el código de unidad de obra a la que va destinado, con dos objetivos: imputar su coste a la unidad correspondiente y para saber el punto en el que se encuentra el suministro. De esta manera se puede conocer si va a ser necesario ampliar el mismo, o cerrar el contrato en caso de haberse completado la cantidad necesaria de elementos adquiridos.

También a través de los diferentes modelos de partes de obra se van a poder controlar las diferentes cuadrillas, y en el caso de personal propio las horas trabajadas y en qué unidad de obra han desarrollado sus labores del día. De ésta forma se conoce en cada momento si la cantidad de horas de trabajo o si el total de trabajo previsto se ha cumplido y en que punto se encuentra. En el control de instaladores, además de controlar el trabajo realizado, también es conveniente controlar el material suministrado para comprobar que el mismo cumple las especificaciones previstas en el plan de calidad establecido para sus unidades de obra.

En este apartado, una de las labores importantes del Jefe de Obra en el proceso de gestión económica de la misma es la de realizar las diferentes certificaciones de obra, liquidaciones, precios adicionales o contradictorios, modificados y demás gestiones relacionadas en esta aspecto. A continuación se refleja brevemente en que consiste cada una de estas gestiones:

- **a) Certificaciones y liquidaciones.** Las certificaciones son las relaciones valoradas a origen de los trabajos efectuados en obra y sobre el presupuesto de contrata, obteniéndose el importe global de la obra ejecutada hasta ese momento. Para calcular lo que se ha ejecutado durante el mes correspondiente hay que deducir del importe total de la certificación, lo certificado durante el mes anterior, de forma que el resultado es el importe líquido del mes.

La liquidación es la última certificación realizada en una obra, mediante la cual se finaliza la relación contractual. Puede corresponder a la última certificación ordinaria, en el caso que no existen reclamaciones pendientes de pagos fuera de contrato, o por el contrario puede corresponder a la relación valorada correspondiente a precios no previstos en presupuesto de contrata y sobre los que existían diferencias de criterio. Como se comentaba anteriormente en el aspecto de gestión de cambios, depende del tipo de contrato la gestión de los aspectos a recoger en la liquidación. En el caso de un contrato a precio cerrado o a riesgo, las diferencias de medición son asumidas por la constructora mientras que el caso de contratos abiertos en esta última certificación se incluirán tanto las diferencias de cantidades como las unidades nuevas que hayan podido surgir.

- **b) Modificados de obra.** Los modificados de obra son anejos al proyecto inicial que se realizan debidos, o bien a errores en la redacción del proyecto de ejecución que ha servido de base para el contrato, o bien debidos a cambios en el objetivo, calidades o criterios por parte de la propiedad en cuanto al proyecto inicialmente contratado. Como consecuencia de dichos cambios es necesario realizar nuevas mediciones de las unidades de obra modificadas y que deben ser nuevamente valoradas, con lo cual se modifica el presupuesto global del proyecto.

- **c) Precios adicionales o contradictorios.** Los precios adicionales, son relaciones valoradas de unidades de obra que no se habían previsto realizar inicialmente en los proyectos constructivos, y que, lógicamente no se hallan incluidos en la relación documental contractual. Se generan por una necesidad manifiesta de su realización, y deben ser consensuados por las partes con la aprobación definitiva de la propiedad.

Para poder identificar y relacionar las inversiones realizadas en la obra, además de los gastos propios de las diferentes operaciones rutinarias y además de saber lo que llevamos gastado o invertido en la obra, es importante saber si se corresponde con lo que está previsto gastar, o si existe mayor inversión que certificación, o mayor inversión que producción, o mayor certificación que producción, etc.

Para poder saber cómo y en qué estado se encuentra la compensación de saldos se realiza lo que se denomina regularización de saldos, tanto a la inversión, como a la producción. Pero para ello a continuación se explica dos conceptos básicos:

- **Concepto de producción.** La producción en una obra de construcción es la relación valorada de todos los trabajos efectuados, a los que se le debe de añadir los trabajos parcialmente efectuados, los acopios necesarios para los trabajos a iniciarse inmediatamente, etc. No todo el importe de la relación valorada en el concepto de producción se puede traducir al concepto de certificación, por ello aparece el concepto de regularización.
- **Concepto de regularización.** La regularización es la acción de prorratear costos ocasionados en la obra en un periodo no determinado a lo largo de toda la obra. Por ejemplo, la instalación de una grúa torre, cuyo costo se ocasiona al inicio de la obra y su coste de desmontaje, se deberán prorratear a lo largo de toda la obra. Lo mismo ocurrirá con el coste del montaje de andamiajes etc. Que se deberán prorratear a lo largo de la duración de las tareas a las cuales se les afecta. También existe la regularización a la producción en cuanto a acopios abonados y no certificados, por ejemplo. La regularización se divide en dos aspectos o afecciones, la que incide en la producción, y la que incide en la inversión, o sea los gastos que tenemos previstos que se produzcan al final de obra y que deberán ser prorrateados a lo largo de la misma, y los que ya se han producido y se deberán computar con posterioridad.

2.5.7. Gestión de la calidad requerida.

La gestión de la calidad engloba no solo el control de la unidades ejecutadas, sino entres sus funciones está también controlar la calidad en los procesos. Para ello hay que saber si la organización está sujeta a actuaciones bajo la marca ISO 9001. Si es así entonces se debe actuar en todos y cada uno de los procesos administrativos bajo unas formas de actuación claramente establecidas en los documentos de calidad y procedimiento específicos de la organización.

Las funciones del jefe de obra en este apartado además del cumplimiento de los aspectos contenidos en el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa y los procedimientos que esta contiene, incluyen el seguimiento de los puntos recogidos en el Plan de Control de Calidad establecido en el proyecto. Entre ambos pueden existir vacíos importantes en gestión de calidad como son el control de los procedimientos habituales de obra. Es decir que hay que tener en cuenta que la gestión de este aspecto no solo consiste en controlar la calidad de los materiales aplicados en obra, el marcaje de los productos, la idoneidad de los productos a aplicar con el medio donde se vayan a emplear, etc. sino que es un concepto más amplio que afecta a todos los procesos recogidos en la documentación que afecta a la obra.

Para poder tener claro que se puede realizar una gestión de la calidad de un cierto nivel, se debe redactar el plan de calidad, dentro del cual quedarán englobados, tanto las especificaciones del Control de Calidad del proyecto, la ISO 9001 de la organización, y todas las métricas y parámetros de control a aplicar en los diferentes procesos rutinarios de la obra.

2.5.8. Gestión del medio ambiente.

La gestión del medio ambiente cada vez está tomando un cariz más importante en la gestión de proyectos de edificación, y por ello, lógicamente, tiene una importancia significativa en los procesos de construcción. El jefe de obra, como responsable máximo del centro de producción que es una obra de construcción, debe tener presente la preservación del medio ambiente como uno de los valores de mayor importancia en el presente y futuro. La mayor parte de las organizaciones tienen implantado un Sistema de Gestión Medioambiental que como mínimo implica el cumplimiento de la normativa en vigor por lo que la gestión de este aspecto está debidamente procedimentada y registrada.

En la gestión de este aspecto se deberá cumplir con todas y cada una de las prescripciones que así se indiquen en los proyectos técnicos que sirvan de base para la construcción del proyecto encargado. Así pues deberá cumplir las disposiciones aplicables del CTE DB-HE, los RD sobre Gestión de Residuos en Construcción, Disposiciones sobre tratamiento de residuos peligrosos, etc.

2.5.9. Gestión de la prevención, seguridad y salud en el trabajo.

Junto con el apartado anterior este aspecto representa un factor muy importante en la gestión de la obra. De hecho en muchas organizaciones junto con el Sistema de Gestión de calidad, constituyen el Sistema de gestión integrada que engloba los aspectos de los tres requerimientos. La normativa en este caso es muy precisa respecto a los pasos a dar en cada momento y está basada en la realización de un plan de seguridad y salud, que realizará el constructor de acuerdo con las bases establecidas en los RD. 1627/1997, Ley 31/1995, y otras disposiciones adicionales.

Será el jefe de obra el que normalmente va a coordinar o facilitar toda la información necesaria para la redacción del plan de seguridad y salud. También va a ser el máximo responsable en ésta materia por parte de la constructora, por lo que hay que evidenciar su significativa presencia en cada decisión que se tome en estos temas. Otra función asignada al jefe de obra será indicar a cada uno de los recursos preventivos asignados su labor y su gestión y recibirá información por parte de estos, quedándose todo perfectamente documentado, siempre a través de los sistemas de gestión documental anteriormente indicados.

3. Herramientas lean y su aplicación a la gestión de proyectos de edificación.

En este capítulo se va a realizar una descripción de las herramientas utilizadas en la filosofía de trabajo Lean. Paralelamente a su presentación se va a realizar una propuesta de aplicación en el ámbito de la gestión de proyectos de construcción, analizando las posibilidades y conveniencia de su implantación.

3.1. Conceptos previos.

Como técnica de referencia para el análisis de mejora de los procesos utilizados en la gestión de proyectos de edificación se ha utilizado la filosofía de trabajo Lean. Se trata de un modelo de gestión enfocado a la optimización del flujo de materiales y su información asociada, con el objetivo de entregar productos con el máximo valor para los clientes, utilizando para ello los mínimos recursos necesarios, es decir, ajustados (lean en inglés). El objetivo de este método de trabajo, por tanto, consiste en la detección y eliminación de todos los procesos que no aportan valor al producto como resultado de las operaciones.

Esta metodología de mejora de la eficiencia en la producción fue concebida en Japón por Taiichi Ohno, director y consultor de la empresa Toyota. Ohno desarrolló su carrera profesional en la industria de la automoción desde 1937 y observó que antes de la guerra, la productividad japonesa era muy inferior a la estadounidense. Gracias a los acuerdos de cooperación entre Japón y Estados Unidos como consecuencia de la derrota japonesa en la II Guerra Mundial, Ohno visitó Estados Unidos, donde estudió a los principales pioneros de la productividad y la organización industrial como Frederick Taylor y Henry Ford. Ohno se mostró impresionado por el enfoque excesivo que la industria estadounidense ponía en la producción en masa de grandes volúmenes en perjuicio de la variedad, y el nivel de desperdicio que generaban las industrias en el país más rico de la posguerra. Cuando visitó los supermercados tuvo un efecto inspirador inmediato; Ohno encontró en ellos un ejemplo perfecto de su idea de manejar inventarios reducidos, eliminar pasos innecesarios y controlar las actividades primarias y dar control al que hace el trabajo (en este caso el cliente) como apoyo a la cadena de valor. En este contexto de análisis, las ineficiencias asociadas a los procesos y la forma de eliminarlas, surge la palabra japonesa muda que significa 'desperdicio' y se refiere específicamente, a cualquier actividad humana que consume recursos y no crea valor.

De vuelta a Japón, Ohno desarrolló estas técnicas en la empresa Toyota obteniendo como resultado el TPS (Toyota Production System) que empleaba técnicas como el Just In Time. Estos procedimientos fueron la base de los métodos Lean cuyo origen se atribuye al equipo de JP Womack, y Daniel Jones, actualmente en la Lean Global Network. Estos investigadores no fueron los únicos pioneros en la materia, pero sí los que consiguieron hacer llegar la filosofía lean a través de dos libros: "La máquina que cambió el mundo" y "Lean Thinking". Hoy clásicos de referencia.

El objetivo del método Lean es encontrar herramientas que ayuden a eliminar todos los desperdicios y todas las operaciones que no le agregan valor al producto o a los procesos, aumentando el valor de cada actividad realizada y eliminando aquello que no se requiere. Este sistema de producción está relacionado con la utilización del activity-based costing (generación de costos basado en la actividad) el cual, de acuerdo a su versión original, busca relacionar los costos con todos los valores que el cliente percibe en el producto. Por otro lado, sirve para implantar una filosofía de mejora continua que le permita a las compañías reducir sus costos, mejorar los procesos y eliminar los desperdicios para aumentar la satisfacción de los clientes y mantener el margen de utilidad. El propósito de la manufactura ajustada es serle útil a la comunidad lo cual implica estar en busca de la mejora continua.

Como se ha descrito, estas técnicas tuvieron su origen en la industria de la automoción y se han ido extendiendo progresivamente al resto de los sectores industriales y de servicios. También se han desarrollado métodos específicos basados en esta filosofía para su aplicación en los proyectos de construcción, se trata del Lean Construction o Construcción sin pérdidas. Estas técnicas muy específicas y de escasa difusión en nuestro país se desarrollarán en el Capítulo 5º, mientras que en este se va a tratar de hacer una transposición directa de herramientas y prácticas concretas.

3.1.1. Tipos de despilfarros.

En este proceso de mejora se analiza el flujo tanto de materiales como de información, tratando de identificar los aspectos denominados desperdicios o despilfarros (muda en japonés) que se pueden agrupar en ocho grupos en el caso de productos manufacturados. Son los siguientes:

- **SOBREPRODUCCIÓN.** Consiste en producir más cantidad de la que realmente se necesita o antes de lo necesario. Este factor es el que más afecta a una industria, se genera al seguir trabajando cuando las operaciones se debían haber detenido o cuando se hacen productos antes de que el cliente los pida. Puede ser producto de una mala previsión de ventas, una mala programación o basado en la idea errónea de maximizar la producción con el objetivo de alcanzar economías de escala. Normalmente su origen es la suma de los factores anteriores y el coste total para la empresa es superior a los costos que en principio logran reducirse en el sector de operaciones. El riesgo de obsolescencia de la sobreproducción es elevado en las condiciones actuales de mercado, ya que los clientes demandan una gran tipología de productos y con requerimientos cambiantes.

La sobreproducción lleva asociado otro tipo de costes como los correspondientes al almacenamiento del exceso de stock, ya que supone una ocupación de espacio físico, tareas de manipulación, controles, etc. También hay que tener en cuenta los costes financieros debidos al coste del capital invertido y los costes de oportunidad.

Constituye uno de los desperdicios más relevantes por lo que se debe prestar especial atención a que el flujo de producción (cantidad, tipo, características, tiempo, etc.) se lleve a cabo bajo un control estricto y según las indicaciones de la información en un proceso de arrastre (pull). Es decir, que las necesidades de producción están determinadas en función de la información del requerimiento del cliente. En ámbitos industriales para controlar estos procesos se emplean el sistema Kanban, en el que la información de la cantidad a producir se transmite a través de tarjetas que reflejan las necesidades de material en el momento y lugar requerido en las condiciones y características indicadas.

EJEMPLO EN CONSTRUCCIÓN. En el ámbito de la construcción este aspecto también está muy presente, por ejemplo con un fenómeno que podemos ver actualmente: la construcción de viviendas por encima de la demanda lo que ha llevado a un gran stock de vivienda terminada sin salida que ha paralizado al sector. A menor escala en los procesos de construcción también puede identificarse con la fabricación de mayor cantidad de productos auxiliares que lo estrictamente necesario, por ejemplo hormigón o mortero que además no puede acopiarse. Otra forma de sobreproducción se produce cuando se ejecuta más cantidad de la programada de alguna unidad de obra y esta no puede ser abonada por el promotor debido a las asignaciones previstas. En este caso en lugar de adelantar producción se puede producir un problema de descuadre de los flujos de caja previstos ocasionando un grave problema ya que se produce el gasto pero no el ingreso que lleva asociado.

- **TIEMPO DE ESPERA.** Término aplicado a los períodos de inactividad de un proceso ya que esta acción no agrega valor, son los tiempos muertos que se producen cuando dos variables independientes del proceso no están completamente sincronizadas. Están causados fundamentalmente por los tiempos de preparación, los tiempos en los que una pieza debe esperar a otra para continuar el procesamiento de ensamble, el tiempo de cola de espera para su procesamiento, tiempos por reparaciones o mantenimientos, espera de materias primas que se deben añadir, retrasos por aspectos administrativos o falta de decisión, etc.

EJEMPLO EN CONSTRUCCIÓN. En la gestión de proyectos de construcción estas esperas surgen como consecuencia de una deficiente planificación de las operaciones. Todos aquellos procesos en los que interviene más de un agente pueden ocasionar pérdidas de tiempo si estos no están debidamente coordinados. Por ejemplo en el caso de ejecución de un forjado, si no se produce la visita de la dirección facultativa o la empresa externa de control de calidad en el momento adecuado, es necesario esperar para proceder al hormigonado a tener el visto bueno previo. Otro aspecto a tener en cuenta puede ser la programación de la elección de materiales por la dirección facultativa, ya que estos deben tener un fecha límite para que teniendo en cuenta los plazos de entrega necesarios puedan llegar en el momento adecuado.

- **TRANSPORTE.** Se refiere al movimiento innecesario de materiales de una operación a otra sin ser requeridos o necesarios. Son pérdidas por excesos en el transporte interno, relacionados con inadecuadas ubicaciones de equipo y/o la maquinaria del proceso. Conllevan una disminución de productividad por exceso de manipulación y una sobre utilización de mano de obra, equipos, energía y espacios para los movimientos. Suele ser mayor cuanto mayor es la obra en curso y cuanto peor es el flujo a través de la propia empresa y de la cadena logística en su conjunto.

EJEMPLO EN CONSTRUCCIÓN. En una obra de construcción estos desperdicios pueden deberse a una mala ubicación de los almacenes o zonas de acopio que obliguen a una manipulación incorrecta de los materiales. También pueden ocasionarse por una mala planificación ya que hay ciertos elementos que si se manipulan en el momento adecuado pueden emplearse medios mecánicos y posteriormente solo pueden manipularse manualmente. Por ejemplo es el caso de aljibes o depósitos que pueden introducirse con traspalés antes de ejecutar la tabiquería pero que posteriormente deben moverse a mano.

- **EXCESO DE PROCESAMIENTO.** Se refiere a operaciones extras tales como retrabajos, reprocesos, manejos de materiales innecesarios y almacenamiento debido a algún defecto, sobreproducción o inventario insuficiente. Son esfuerzos que no agregan nada al criterio de valor del cliente con los que se obtienen mejoras no visibles para este.

EJEMPLO EN CONSTRUCCIÓN. En el ámbito constructivo puede ser el caso de dar acabados excesivos a revestimientos o superficies que no lo necesitan, como por ejemplo un pulido fino en solados de trasteros o zonas industriales. También el empleo de hormigón con acabado visto en la cara inferior de losas que van a quedar tapadas con otro elemento. En general ocurre por realizar más de las operaciones necesarias en la ejecución de alguna partida o por la incorrecta realización de las mismas. Hay que tener en cuenta que generar una calidad superior a la requerida puede ser también un despilfarro. Es el caso por ejemplo, en el montaje de estructuras metálicas de ejecutar los trabajos con un grado de precisión mayor al exigido por el cliente si así lo refleja el sistema de calidad de la empresa o utilizar los criterios más restrictivos de las normas si no se especifica cual utilizar.

- **INVENTARIO.** Está formado por cualquier suministro que excede los requerimientos del proceso para producir bienes o servicios. Es aplicable a insumos, repuestos, productos en proceso o inventario de productos terminados. Normalmente se generan al querer asegurar en exceso la cantidad de materias primas y repuestos en previsión de posibles problemas de suministro. También surgen con los productos en proceso al formar stocks superiores a los necesarios para garantizar la continuidad de tareas ante posibles problemas en los equipos, en los tiempos de producción o problemas de calidad que pudieran surgir.

Como consecuencia de la sobreproducción se genera un volumen de existencias que no tienen salida inmediata y es necesario almacenar, lo que conlleva más necesidad de recursos y espacio para transportar y almacenar el exceso de inventario. Ocasionan una baja rotación del inventario y retrasan la recuperación de la inversión, con el riesgo añadido de la obsolescencia del inventario, tanto de materias primas como de producto terminado.

EJEMPLO APLICACIÓN EN CONSTRUCCIÓN. En las obras de construcción este caso se puede presentar, por ejemplo, al acopiar innecesariamente sacos de cemento o yeso, ya que estos materiales en presencia de humedad pueden fraguar antes de su puesta en obra quedando inservibles. También puede surgir fruto de una mala planificación al pedir más cantidad de la que va a ser necesaria (ladrillos, bovedillas...) por lo que luego es necesario devolver al proveedor con los gastos de transporte y riesgo de deterioros que conlleva. Puede llevar incluso asociado un incremento de los riegos laborales, al reducir el espacio disponible para los movimientos de equipos y personas dificultando el conjunto de las operaciones.

- **MOVIMIENTOS.** El desperdicio de movimiento tiene dos elementos, el movimiento humano y el movimiento de las máquinas que no contribuyen a otorgar valor, dichos movimientos están relacionados con la ergonomía del lugar donde se trabaja, afectando así a la calidad y la seguridad. Ocasiona una menor producción por unidad de tiempo y además provoca cansancio, fatigas musculares o frustraciones que originan bajos niveles de productividad y posibles errores en las tareas realizadas.

EJEMPLO EN CONSTRUCCIÓN. En una obra de edificación puede ser el caso de emplear unos andamios inadecuados, que no presenten plataformas de trabajo y/o acopio a la altura correcta y que obligue a los operarios a trabajar en posiciones forzadas o incorrectas. Este caso puede ocasionar incluso con riesgo de caídas o daños para su propia salud. También puede ser el caso de emplear equipos de trabajo incorrectos, por ejemplo utilizar un pisón manual para trabajos que podría realizar una apisonadora de mayor tamaño en menor tiempo y con una mejor optimización de los recursos disponibles.

- **DEFECTOS.** Se relaciona con la necesidad de corregir productos en proceso o terminados defectuosos. Se compone de todos los materiales, tiempo y energía involucrados en reparar los defectos. También hay que tener en cuenta las pérdidas ocasionadas por gastos de garantías, servicios técnicos, recambios de productos y sobre todo la posible pérdida de clientes y ventas creando una mala imagen a la organización.

EJEMPLO EN CONSTRUCCIÓN. Este es uno de los aspectos que mayor coste imprevisto representa en las obras de construcción. En muchas ocasiones debido a la celeridad con la que se ejecutan los trabajos o a la falta de control se deja para el departamento post-venta la subsanación de todos los defectos que debieran estar resueltos antes de la entrega de la obra al cliente. El objetivo principal debería ser la construcción sin fallos y el caso de que estos se produzcan debería resolverse antes de la entrega al cliente, ya que la pérdida de imagen que puede ocasionarse a la empresa puede ser muy importante.

- **POTENCIAL HUMANO SUBUTILIZADO.** Este aspecto no se tenía en cuenta inicialmente entre los desperdicios pero en los últimos tiempos se está incluyendo en este apartado ya que se ha empezado a considerar que puede ser una fuente importante de pérdida de potencial. Se genera principalmente al emplear personas con una mayor capacitación o cualidades para tareas de menor nivel o al no tener en cuenta sus apreciaciones sobre los procesos donde intervienen. El personal directamente implicado en la producción puede ser una fuente de ideas sobre la mejora de los procesos y el no tener en cuenta las aportaciones que puedan hacer sobre la mejora continúa de las actividades donde intervienen puede conllevar un pérdida de productividad. Se trata por tanto de no utilizar el conocimiento de los empleados en la medida que podría utilizarse para mejorar el conjunto de los procesos productivos.

Cada uno de estos tipos de Mudas pueden estar presentes en mayor o menor medida en función de la actividad de la empresa. Como hemos podido ver, en el ámbito de la construcción los desperdicios que predominan sobre los demás son los tiempos de espera, los inventarios y en mayor medida la sobreproducción y los defectos. A modo de resumen podemos concluir que los principales factores que contribuyen a la generación de desperdicios son los siguientes:

- **Desequilibrios.** Debidos a fluctuaciones en la producción o en las tareas del operador.
- **Sobrecapacidad.** Pedirle a una máquina o a un operador que produzca más de los que es capaz de hacer sin que sea requerido por el cliente.
- **Métodos del proceso actual.** Continuar haciendo algo de cierta forma porque “siempre se ha hecho así” en vez de probar a hacerlo de una nueva forma más efectiva.
- **Suboptimización.** Optimizar uno o más elementos de un proceso a expensas o en detrimento de los restantes que puedan afectar al camino crítico o a un cuello de botella. De esta forma se está descuidando el sistema global por tratar de optimizar solo una parte o área.
- **Realización de actividades en serie.** En lugar de probar a realizarlas en paralelo o previamente de forma externa para optimizar tiempos.
- **Interrupciones constantes del proceso.** Debidas a erróneas o mal entendidas políticas de tiempo de procesamiento, como puede ser parar o no optimizar el tiempo de funcionamiento de una máquina o actividad que es cuello de botella.

El principio fundamental de los métodos de trabajo Lean es considerar que eliminando el despilfarro, se consigue una mejora de la calidad y se reducen el tiempo de producción y el costo. Las herramientas lean incluyen procesos continuos de análisis (llamadas kaizen en japonés), sistemas de producción "Pull" en el sentido de que es la demanda la que tira del proceso de fabricación, y la utilización de elementos y procesos "a prueba de fallos" (poka yoke, en japonés). Por tanto, los principios clave del lean manufacturing son:

- El cliente en general lo que adquiere no es un producto o servicio, sino una solución.
- Calidad perfecta a la primera: búsqueda de cero defectos, detección y solución de los problemas en su origen. Se busca la detección y solución de problemas desde su origen eliminando defectos (buscando la perfección) de manera que satisfaga las necesidades del cliente por su alta calidad.
- Minimización del despilfarro: eliminación de todas las actividades que no son de valor añadido y redes de seguridad, optimización del uso de los recursos escasos (capital, gente y espacio).
- Mejora continua como principio de que «todo puede mejorar» en cada uno de los pasos del proceso como en la producción en sí, representa un avance consistente y gradual que beneficia a todos, en donde se dinamizan los esfuerzos del equipo para mejorar a un mínimo costo conservando el margen de utilidad y con un precio competitivo cumpliendo con las especificaciones de entregar en el tiempo y en el lugar exacto así como de la entregar en cantidad y calidad sin excederse.
- Procesos "Pull": los productos son tirados (en el sentido de solicitados) por el cliente final, no empujados por las necesidades del sistema de producción. Se trata de producir solo lo necesario en base a que los productos son solicitados o tirados por la demanda prevista.
- Flexibilidad: producir rápidamente diferentes mezclas de gran variedad de productos, sin sacrificar la eficiencia debido a volúmenes menores de producción. Cuando los volúmenes de producción sean menores, desarrollar la capacidad de ser flexibles para poder producir ágilmente diferentes misceláneas de gran diversidad de productos.
- Construcción y mantenimiento de una relación a largo plazo con los proveedores tomando acuerdos para compartir el riesgo, los costes y la información.
- El flujo en los pasos del proceso debe ser lo más uniforme por lo tanto debe ser continuo optimizando recursos y eliminando lo que no es de valor añadido (espacio, capital y gente): minimización del despilfarro.

Se puede considerar que Lean es básicamente todo lo concerniente a obtener los productos correctas en el lugar correcto, en el momento correcto, en la cantidad correcta, minimizando el despilfarro, siendo flexible y estando abierto al cambio.

Un aspecto crucial de esta filosofía de trabajo es que la mayoría de los costes se calculan en la etapa de diseño del producto, siguiendo los procedimientos de la ingeniería concurrente. Según este sistema se vierten sobre la fase de diseño toda la información que se genera a lo largo del ciclo de vida del producto, tendido en cuenta en el desarrollo las aportaciones que puedan hacer los departamentos de producción, ventas, postventa e incluso incluyendo la obsolescencia y retirada del mercado del producto.

Los objetivos específicos que persigue la filosofía Lean son los siguientes:

- Reducción de stocks (tanto de materias prima, como de producto terminado y/o inventario en curso).
- Reducción de periodos de maduración o tiempos de respuesta.
- Reducción de espacios ocupados y recorridos.
- Simplificación de la programación de la producción.
- Reducción de lotes de fabricación (aumento de flexibilidad)
- Reducción de lotes de transferencia.
- Aumento de rotaciones de inventario
- Aumento de productividad.

3.1.2. Herramientas Lean.

En este apartado se van a analizar las herramientas clásicas del modelo de gestión Lean y las posibilidades de adaptación a los procesos realizados en el ámbito de la gestión logística de proyectos de edificación. Con la aplicación progresiva de estas herramientas, en el orden determinado, se busca la detección y eliminación de ineficiencias o desperdicios (Muda en la versión original japonesa). Eliminando las ineficiencias, la calidad mejora y se reduce el tiempo de producción y el costo. Las herramientas “Lean” incluyen procesos continuos de análisis (Kaizen), sistemas de producción “Pull” en los que es la demanda la que tira y activa el proceso productivo, y elementos y procesos “a prueba de fallos” (poka yoke) entre otros. Este conjunto de herramientas que persiguen la integración de la filosofía Lean dentro en las actividades de la empresa suele representarse con un esquema con forma de casa, refiriéndose a él como la Casa del Lean.

En este esquema los cimientos están constituidos por las herramientas de acceso cuya implantación debe suponer la base para poder desarrollar las herramientas sucesivas más complejas. Los cimientos dan la estabilidad a partir de una cultura de empresa orientada al largo plazo, de una gestión que permite que todos los implicados tengan la información adecuada, de unos procesos capaces y realizados según el mejor estándar conocido, y de una carga de trabajo nivelada. Sobre esta base se asientan los pilares fundamentales que soportan el edificio y que están constituidos por el Just In Time y el Jidoka. En la parte superior del esquema, que se equipararía con la cubierta, se ubican los resultados que se obtienen de la sólida edificación del sistema: calidad, costes, plazo de entrega y seguridad. Como elemento organizador, en el centro del esquema de la casa se ubica el motor del sistema que está constituido por las personas y los equipos autogestionados, orientados a la mejora continua a través de la reducción del despilfarro.

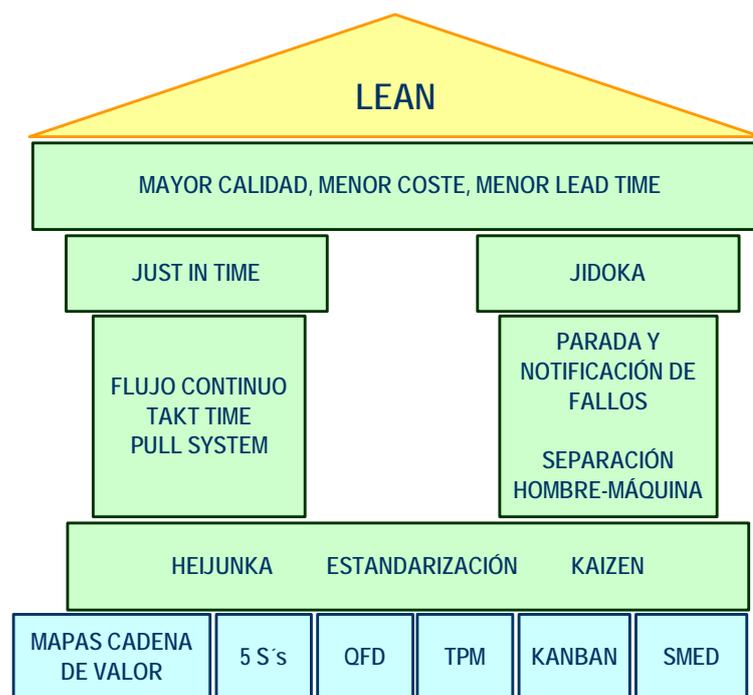


Figura 11. Esquema, casa del Lean. Fuente: Elaboración propia.

A través de la analogía con la casa, se puede ver por qué hay empresas que no son capaces de construirla. Algunas empiezan por los resultados y otras, hacen sus primeros intentos a través de las herramientas, que sería como intentar construir el tejado o los pilares de una casa sin haber hecho los cimientos. Hay que tener en cuenta, como se comentaba en la introducción, que utilizar herramientas Lean no conlleva la implantación de la filosofía Lean en la empresa. Esta implantación es un proceso más amplio y complicado, ya que no solo supone la adopción de una serie de herramientas que se apliquen en el apartado productivo sino en el conjunto de las actividades de la empresa. Lean es más que un conjunto de herramientas, es una filosofía, una cultura o modelo de empresa que se caracteriza por un proyecto a largo plazo y por una responsabilidad ética de todos los agentes de dicha empresa.

En este proyecto se van a analizar las técnicas iniciales que forman la base del sistema, ya que son las que presentan una adaptación más sencilla a un sector productivo tan diferente del industrial como es el de la construcción. Afrontar la implantación de la filosofía Lean al completo ya ha sido abordado con técnicas específicas por diversos autores, como se analizará en el capítulo 5º, dando como resultado completos sistemas de gestión. El objetivo de este capítulo es el análisis de estas herramientas de forma que se valore su posible inclusión en el proceso constructivo complementando a los sistemas convencionales. Aunque, hay que tener en cuenta que se trata de técnicas relacionadas entre sí, y que en muchos casos las propuestas realizadas para su implantación no pueden separarse para determinar a que herramienta pertenecen.

A continuación **se describen** resumidamente **las herramientas más importantes**, son las siguientes:

- **MAPAS DE CADENA DE VALOR (VSM).** Es la técnica de acceso al conjunto del esquema de las herramientas. Mediante la representación gráfica de las operaciones de la empresa trata de identificar los puntos de desperdicios presentes en el proceso. Posteriormente, utilizando el mismo esquema gráfico se representa como sería el estado futuro propuesto de la sucesión de actividades.

La elaboración de estos esquemas se realiza mediante un proceso iterativo que permite conocer como se realizan las actividades en el estado actual a la vez que surgen ideas de mejora para el estado futuro. La técnica se complementa con un plan de actuación para la implantación de las modificaciones al proceso propuestas. Es la herramienta básica en esta fase, ya que es la encargada de detectar los desperdicios presentes en el proceso, y que posteriormente serán corregidos con el resto de técnicas.

- **5 S's.** Es un método que surge inicialmente como técnica para la mejora de la calidad en los procesos productivos. Su objetivo principal era eliminar los obstáculos que impidiesen una producción eficiente, lo que trajo también asociado una mejora apreciable de la higiene y seguridad durante los procesos productivos. La base del método está en la aplicación de cinco acciones o herramientas de calidad que permiten desarrollar ambientes de trabajo más eficientes y agradables, mejorando también las condiciones de seguridad e higiene.
- **KANBAN.** El kanban es un sistema de transmisión de la información mediante tarjetas, o elementos similares, que describen el origen, destino, identidad y cantidad requeridas de una pieza en cuestión. Sirven para poner en comunicación las necesidades de producción (tanto en momento como en cantidad) entre los distintos centros de trabajo. Se trata de un sistema de control de producción de tipo "Pull" con las siguientes características: facilitan el control visual, evitan la acumulación de inventarios, facilitan la localización de problemas, posibilitan la regulación del nivel de inventarios y simplifican las tareas administrativas mediante tarjetas.
- **QFD.** (Quality Function Deployment) Se traduce como despliegue de la función de calidad y se trata de un sistema que busca focalizar el diseño de los productos y servicios en dar respuesta a las necesidades de los clientes. Esto significa alinear lo que el cliente requiere con lo que la organización produce. Es un modelo de gestión de calidad basado en transformar las demandas del usuario en la calidad del diseño, en implementar las funciones que aporten más calidad y en implementar métodos para lograr calidad del diseño en subsistemas y componentes y en última instancia a los elementos específicos del proceso de fabricación.

En definitiva, es un método estructurado para traducir los requisitos del cliente en los principios técnicos apropiados para cada etapa del desarrollo de producto y de producción. Es una manera de desarrollar un diseño satisfaciendo al consumidor y traduciendo las demandas de los clientes a objetivos de diseño.

- **TPM.** (Total Productive Maintenance) Mantenimiento productivo total, es un técnica de trabajo dirigida a la eliminación de pérdidas asociadas con paros, calidad y costes en los procesos de producción industrial. Busca la mejora de la eficiencia de los sistemas productivos. En contra del enfoque tradicional del mantenimiento, en el que unas personas se encargan de producir y otras de reparar cuando hay averías, el TPM busca la implicación continua de toda la plantilla en el cuidado, limpieza y mantenimiento preventivo. De esta forma se consigue que no se lleguen a producir averías, accidentes o defectos.

Por lo tanto más que un tipo de mantenimiento, es una filosofía, que gestiona los temas relacionados con el cuidado de los equipos productivos de manera integral, a diferencia del enfoque tradicional que dejaba toda la responsabilidad de esta labor al personal de mantenimiento.

- **SMED.** (Single Minute Exchange of Die). Cambio de utillaje en menos de diez minutos. Se refiere a un conjunto de conceptos y técnicas que pretenden reducir los tiempos de preparación hasta poderlos expresar en minutos utilizando un solo dígito, es decir, en menos de 10 minutos. El método tradicional de fabricación en grandes lotes oculta las ineficiencias originadas por los tiempos excesivamente largos de preparación de la maquinaria para fabricar un nuevo producto. Para minimizar el impacto causado en los cambios, se obliga a producir grandes series de productos para repartir estas ineficiencias, disminuyendo así el coste medio y el tiempo de fabricación unitario.

Sin embargo, con esta forma de actuar, se lucha una vez más contra los efectos y no contra las causas de los problemas, ya que la verdadera razón de los grandes reagrupamientos es la propia necesidad de hacer largas preparaciones para pasar a la fabricación de una nueva serie de productos. Al cambiar de enfoque y luchar contra la raíz de los problemas, se crea un sistema de cambios rápidos, el SMED, que al reducir drásticamente los tiempos de preparación elimina la necesidad de trabajar con grandes lotes de producción.

- **KAIZEN.** Proceso de mejora continua implantado como una estrategia o metodología de calidad en la empresa y en el trabajo, tanto individual como colectivo. La mejora continua se logra a través de todas las acciones diarias, por pequeñas que éstas sean, que permiten que los procesos y la empresa sean más competitivas en la satisfacción del cliente. La velocidad del cambio dependerá del número de acciones de mejoramiento que se realicen día a día y de la efectividad con que éstas se realicen. Es importante que el mejoramiento continuo sea una idea asumida por completo en la conducta de todos los miembros de la organización, convirtiéndose en una filosofía de trabajo y de vida.
- **HEIJUNKA.** Con esta palabra japonesa se designa el proceso de regularización de la producción, tanto por el volumen como por el mix de productos fabricados durante un tiempo dado. Permite amortiguar las variaciones de la demanda comercial produciendo, por pequeños lotes, varios modelos diferentes en la misma línea de producción. Trata de conseguir que la producción y, por lo tanto, los recursos que ésta emplea, se distribuyan de la forma más uniforme posible a lo largo del tiempo. Además, pretende que una línea de producción no fabrique un único producto en grandes series, sino que produzca muchas variedades diarias como respuesta a la demanda cambiante de los consumidores.

El nivelado de la producción se realiza en dos fases: en la primera de ellas se lleva a cabo la nivelación de la cantidad a producir durante el período de planificación. Mientras que en la segunda fase se lleva a cabo la nivelación de la producción de cada modelo (mix de productos) para conseguir un consumo de recursos lo más homogéneo posible.

- **ESTANDARIZACIÓN.** La estandarización de operaciones consiste, principalmente, en determinar el orden secuencial de las mismas que ha de ejecutar un operario polivalente al manejar distintas máquinas, de forma que se obtengan los siguientes objetivos: equilibrar todos los procesos en términos de tiempos de producción, conseguir una alta productividad por utilizar el mínimo de trabajadores posible y eliminar todas las tareas o movimientos inútiles y por último reducir los costes de fabricación.

El objetivo de esta herramienta es conseguir los medios por los cuales, las operaciones de fabricación se realicen siempre de una misma forma. Crear procesos estándar, consistentes y predecibles es un factor que propiciará el control y posterior mejora de los procesos. Los primeros intentos por estandarizar las operaciones de manufactura, provienen de la utilización de instrucciones de trabajo. Con el paso del tiempo se han incorporado nuevos elementos que hacen posible lograr una estandarización eficaz. Estos elementos son: secuencia de operaciones estándar, inventario en proceso y Takt Time.

A partir de estas herramientas que constituyen la base del edificio del Lean se apoyan **los dos pilares del sistema** que están formado por las técnicas Just In Time y Jidoka.

- **JUST IN TIME.** Surge como un nuevo enfoque en la dirección de operaciones que pretende que los clientes sean servidos justo en el momento preciso, exactamente en la cantidad requerida, con productos de máxima calidad y mediante un proceso de producción que utilice el mínimo inventario posible y que se encuentre libre de cualquier tipo de despilfarro o coste innecesario. Es decir, en lugar de maximizar la producción se trata de hacer sólo lo que se necesita, en la cantidad que se necesita y con la calidad requerida. Para ello se establecen tres principios básicos: flujo continuo, sistemas de producción “Pull” y nivelación de la producción (o Takt Time). La demanda es la que activa el proceso productivo y este el abastecimiento de materia primas.

La producción JIT es un método de adaptación a las modificaciones y cambios de la demanda, es decir, en un sistema JIT un centro de trabajo sólo produce en el caso de que el proceso siguiente le comunique la necesidad de piezas. Este sistema, en el que el flujo de material se considera en sentido inverso al tradicional (sistema “Push” o de empuje) se conoce como “Pull” o de arrastre, y son las necesidades de montaje final las que van arrastrando a los materiales. Con ello se consigue un flujo continuo, normalmente de una sola pieza, en la que se evita la fabricación por lotes y las esperas que llevan asociadas. Las principales ventajas que aporta el flujo continuo son la reducción de inventario en proceso, el tiempo de entrega, ahorro de espacio y mejora de la comunicación.

Por Takt Time se entiende la cadencia a la cual un producto debe ser fabricado para satisfacer la demanda del cliente. El departamento de planificación o control de producción realiza la nivelación de los pedidos de manera que en fábrica durante un periodo determinado (un turno, una semana, un trimestre...) se trabaja a un ritmo nivelado o promediado de las demandas del cliente.

Si tenemos un puesto o una línea o un taller... que produce a un ritmo inferior al del cliente, es decir que el tiempo de ciclo es superior al takt time, necesitaremos horas extras, turnos adicionales... para poder conseguir la producción que el cliente nos pide. Si por el contrario producimos a un ritmo superior al del cliente, es decir que el tiempo ciclo es inferior al takt time tendremos tiempos de espera, o tendremos que desplazar a los operarios a otros puestos y estaremos generando producción en más.

- **JIDOKA.** Se trata de un conjunto de técnicas para detectar y corregir defectos de la producción utilizando mecanismos y procedimientos que avisan de cualquier anomalía en el funcionamiento. Se trata de evitar que cualquier pieza o producto defectuoso avance en un proceso productivo, no dejando pasar ningún defecto de la fase en la que se produce. Algunas herramientas son los sistemas anti-error (poka yoke), las señales visuales (andon), el autocontrol en el propio puesto y máquinas con parada automática ante defectos.

Por lo tanto, el control automático de defectos consiste en la utilización de equipos productivos con mecanismos automáticos de retroalimentación que detectan los defectos de los elementos fabricados. Cuando esto sucede, la línea (o la máquina implicada) se detiene automáticamente o con ayuda de los operarios. Para que el control automático de defectos pueda realizarse es fundamental que cada operario se responsabilice de la calidad de los trabajos que realice y que se encuentre capacitado y estimulado para la detección inmediata de los defectos. La implantación del Jidoka puede aportar las siguientes ventajas:

- Garantizar la calidad de los elementos fabricados a través de una inspección del 100%.
- Reducir los costes y ciclos de fabricación al no ser necesarios los tiempos de transporte para llevar las piezas a un centro de verificación.
- Pueden suprimirse los inventarios de seguridad destinados a solventar problemas de calidad.

A continuación, en los siguientes apartados, se van a analizar las **posibilidades de implantación** de estas herramientas en los procesos de **gestión logística de las obras de edificación**. El análisis se va a realizar inicialmente de forma aislada para cada herramienta, aunque se tratará de vincular los resultados de las distintas técnicas estudiadas.

3.2. Mapas de Cadena de Valor.

El trazado de mapas de cadena de valor o Value Stream Map en inglés, es la herramienta de acceso a los métodos Lean y es básica para obtener la información necesaria que va a permitir el análisis del estado actual del proceso. Es, por lo tanto, la técnica inicial con la que realizar la propuesta de aplicación de las distintas herramientas disponibles.

3.2.1. Introducción.

En primer lugar es necesario definir cadena de valor como el conjunto de acciones (tanto de aquellas de valor agregado como de las que no agregan valor) que se necesitan para mover un producto a través de los flujos de producción y de diseño. De igual manera también se utiliza esta nomenclatura para las empresas de servicios en las que la cadena de valor está constituida por los procesos y actividades necesarias para prestar un servicio. Adoptar una perspectiva de cadena de valor significa trabajar sobre el conjunto de los procesos y no solo sobre los procesos individuales, consiguiendo de esta forma mejorar el todo y no solo optimizar las partes. El mapa de la cadena de valor (VSM por sus siglas en inglés) es una técnica utilizada para representar gráficamente las operaciones de una empresa. Se representan los procesos necesarios para la transformación de materias primas en producto terminado (flujo de materiales) y el modo en que se transmite la información entre estos procesos para indicar qué cantidad de producto se debe producir o suministrar y cuándo debe empezar a fabricarse o solicitarse a los proveedores internos o externos (flujo de información).

Como se indicaba anteriormente, algunos de estos procesos aportan valor añadido mientras que otros no. El mapa de la cadena de valor nos muestra la proporción de unos y de otros y las relaciones en el conjunto de las operaciones. También nos proporciona datos de los indicadores clave de cada proceso. De este modo, el mapa de la cadena de valor puede utilizarse como una herramienta de planificación y control de la empresa, o como una herramienta de diagnóstico, o de comunicación que facilita la gestión del cambio en la empresa a través de estrategias de mejora continua. La realización de mapas de cadena de valor constituye una herramienta básica en la aplicación de los métodos Lean en las empresas ya que van a suministrar información sobre el estado actual en el que se desarrollan sus actividades. Sobre este primer esquema del estado actual, se van a plasmar las diferentes actuaciones que pueden llevarse a cabo de forma que tengamos, sobre el papel, los flujos en el estado futuro. La cartografía de la cadena de valor es una herramienta esencial por los siguientes motivos:

- Ayuda a visualizar más allá del proceso de un solo nivel, es decir, permite visualizar el flujo completo del proceso de producción.
- Ayuda a ver algo más que las pérdidas o desperdicios, ya que con su uso se pueden identificar las fuentes que producen dichas pérdidas en la cadena de valor.
- Vincula los conceptos y las técnicas Lean, lo que ayuda a evitar la selección aleatoria de estas técnicas.
- Forma la base del plan de ejecución. Al ayudar a diseñar como debería funcionar el flujo completo, los mapas de la cadena de valor se convierten en planos para la implementación del método Lean.
- Muestra el enlace entre el flujo de información y el de material.
- Es una herramienta cualitativa por medio de la cual se describe detalladamente como debería funcionar la organización para crear el flujo en condiciones óptimas. Es decir, frente a los métodos cuantitativos sirve para describir las actuaciones a llevar a cabo para actuar sobre los datos que reflejan la producción del sistema.

Dentro del flujo de producción, el flujo en el que se piensa habitualmente es el movimiento de materiales a través de las instalaciones. Pero hay otro flujo que indica a cada proceso lo que debe producir o hacer en el siguiente paso, se trata del flujo de información. Ambos flujos están íntimamente relacionados y dependen el uno del otro, por este motivo deben trazarse los mapas de ambos apartados de forma conjunta y vinculada.



Como se comentaba anteriormente, es conveniente aplicar esta herramienta sobre familias de productos o actividades dentro de la empresa, lo que se conoce como puerta a puerta. No está concebida inicialmente para el análisis de cada uno de los productos o servicios que se puedan ofrecer a los clientes. La cartografía de la cadena de valor puede ser una herramienta de comunicación, de planificación comercial y también puede servir para gestionar el proceso de cambio en la implantación de los métodos Lean.

El primer paso consiste en trazar el estado actual, para lo que es necesario recopilar toda la información de los procesos que integran la actividad a estudiar. Para dibujar el estado actual (diagnóstico de cómo estamos fabricando), deberíamos basarnos en la información que se recoge directamente en planta. Aunque la empresa disponga de datos almacenados relacionados con lo que nos interesa analizar, es recomendable recoger los datos directamente y contrastarlos con la información almacenada.

Para simplificar la recogida de información, una vez seleccionada la familia de productos, se puede elegir una pieza de control representativa de dicha familia de productos. La pieza de control recomendada es aquel componente del producto final que pase por el mayor número de operaciones que constituyen el proceso de fabricación del producto final.

A medida que se plasman sobre el papel los procesos del estado actual empiezan a surgir las ideas de lo que puede ser el estado futuro. El trazado de este estado futuro propuesto supone el objetivo de la herramienta. No obstante ambos diagramas están relacionados, ya que al dibujar los procesos del estado futuro nos podemos dar cuenta de actividades del estado actual que habían pasado inadvertidas.

El paso final consiste en preparar y comenzar a implantar un plan de ejecución que describa los pasos a realizar para alcanzar el estado futuro analizado.

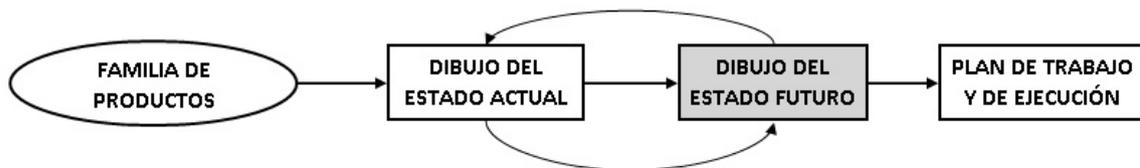
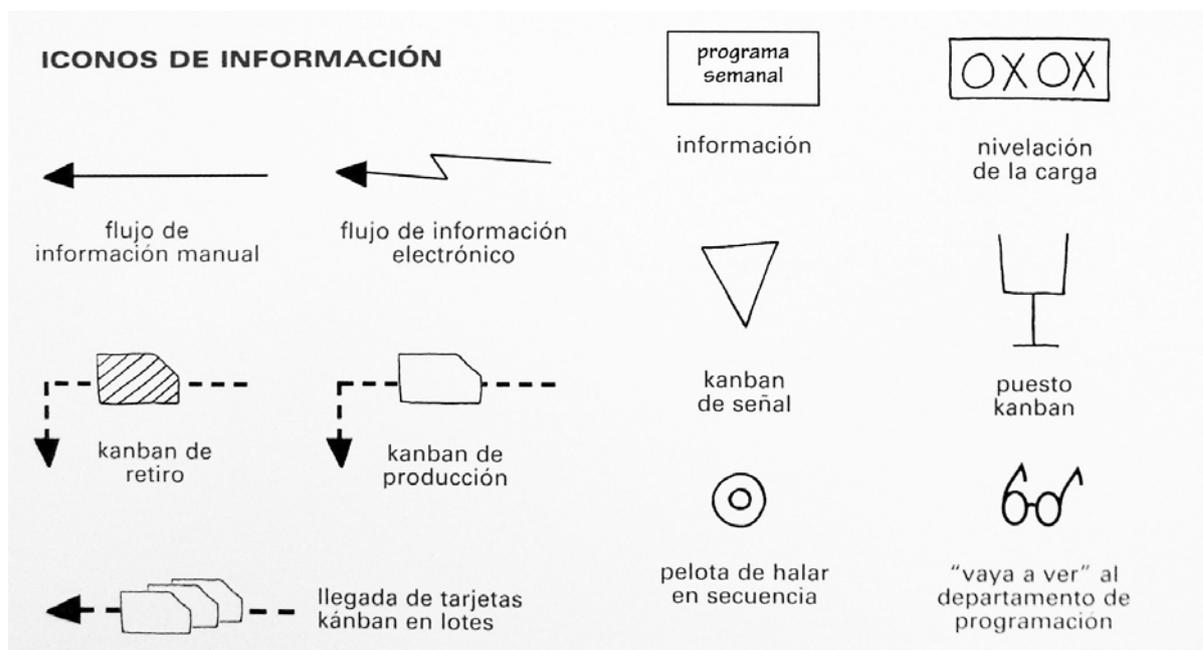


Figura 12. Diagrama de flujo trazar mapas de cadena de valor. Fuente: Elaboración propia.

Para el trazado se emplea una simbología específica de forma que el resultado sea entendible para todos los agentes intervinientes en el proceso y que estén familiarizados con la herramienta, se muestra a continuación en la figura 13.



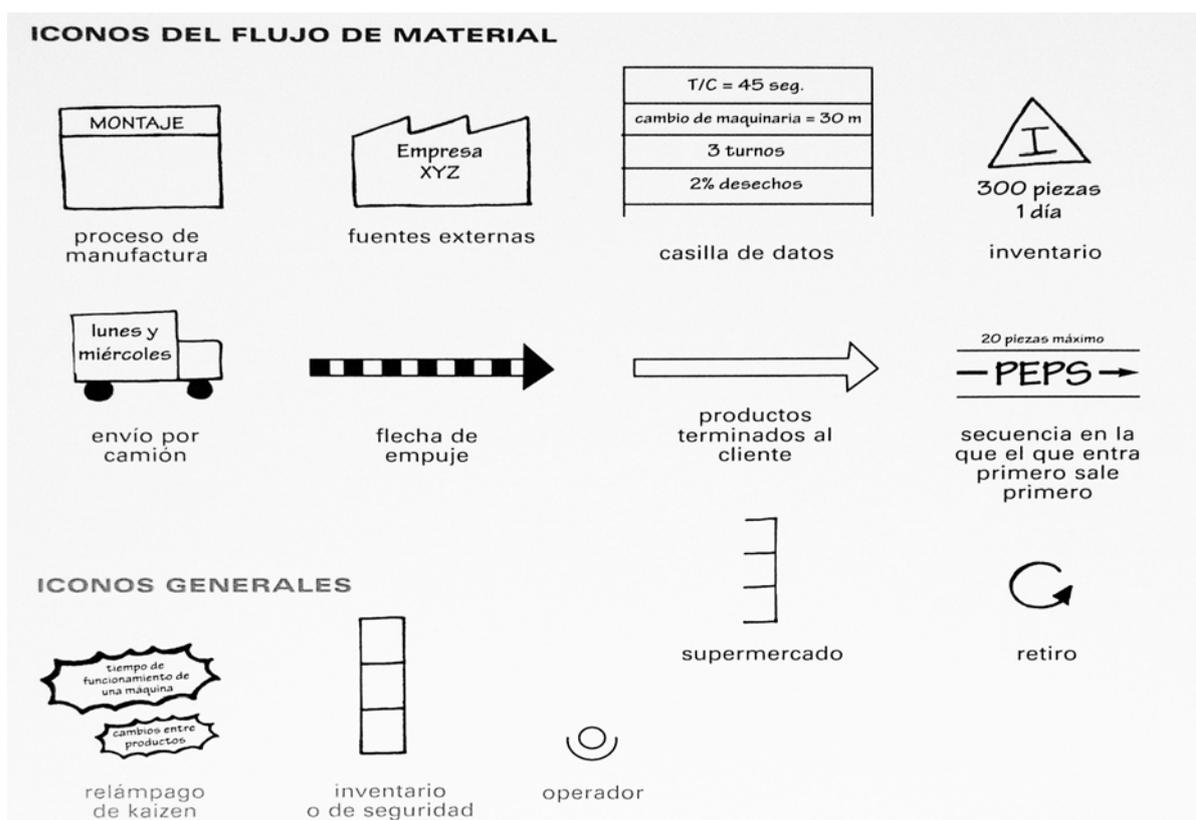


Figura 13. Simbología mapas de cadena de valor. Fuente: Observar para crear valor. Mike Rother, John Shook.

3.2.2. Aplicación práctica. Trazado del mapa de cadena de valor de la gestión logística en obras de edificación.

Como se ha explicado en el apartado anterior la elaboración de los mapas de cadena de valor, constituye una de las herramientas de acceso al método de gestión lean que nos van a facilitar información sobre como se están desarrollando las operaciones para la obtención de los productos. En este caso, en primer lugar, se va a analizar la gestión logística de los materiales necesarios en obras de edificación. Se trata de proceso complejo que abarca una gran cantidad de actividades durante un periodo de tiempo prolongado.

Las actividades relacionadas con la gestión logística arrancan en la fase de estudio con la elaboración de ofertas para licitaciones y termina con las tareas de la logística inversa relativa a la gestión del retorno de embalajes y materiales. Como fase previa, donde se sintetiza el conjunto de los procesos que componen el procedimiento de gestión, se van a desarrollar los diagrama de flujo que reflejan la sucesión de las actividades necesarias. Se trata de ordenar secuencialmente y de forma gráfica las tareas detalladas en el capítulo 2, relativo a la organización de las obras de edificación. De esta forma se puede tener la información disponible en esquemas que permitan su consulta de forma rápida y sencilla.

En principio el análisis del procedimiento no pretende ser exhaustivo, sino que se trata de un resumen del conjunto del proceso que facilite información de los puntos que puedan ser una fuente de ineficiencias. Posteriormente se puede analizar con más detalle los procesos concretos en los que intervienen en cada una de las actividades identificadas. También hay que destacar que se trata de un modelo genérico, ya que el procedimiento en cada empresa presentará variaciones en su forma de realizar esta actividad. Una fuente para la obtención de la información necesaria son los procedimientos incluidos en los sistema de gestión de calidad tipo ISO:9001 o EMAS que gran parte de las empresas del sector tienen implantados. Estos procedimientos nos darán una primera información acerca de la forma de proceder en la empresa que deberá complementarse con la información que se recabe de forma propia en la organización, o a través de nuestra propia experiencia.

Como se puede ver a la vista del flujograma hasta que un material se incorpora al proceso productivo ha pasado por un largo proceso, que en ocasiones ha comenzado hasta con más de un año de anterioridad en la fase de estudio de la oferta. El proceso a su vez está condicionado por varios agentes externos, que son los decisores en muchas fases de la actividad como en la elección de materiales por parte de la dirección facultativa, lo que nos quita control sobre el proceso. A continuación, en la figura 14, se muestra el flujograma a nivel general del proceso, en el que se ha diferenciado por colores las distintas fases de la vida del proyecto: estudio, planificación y ejecución.

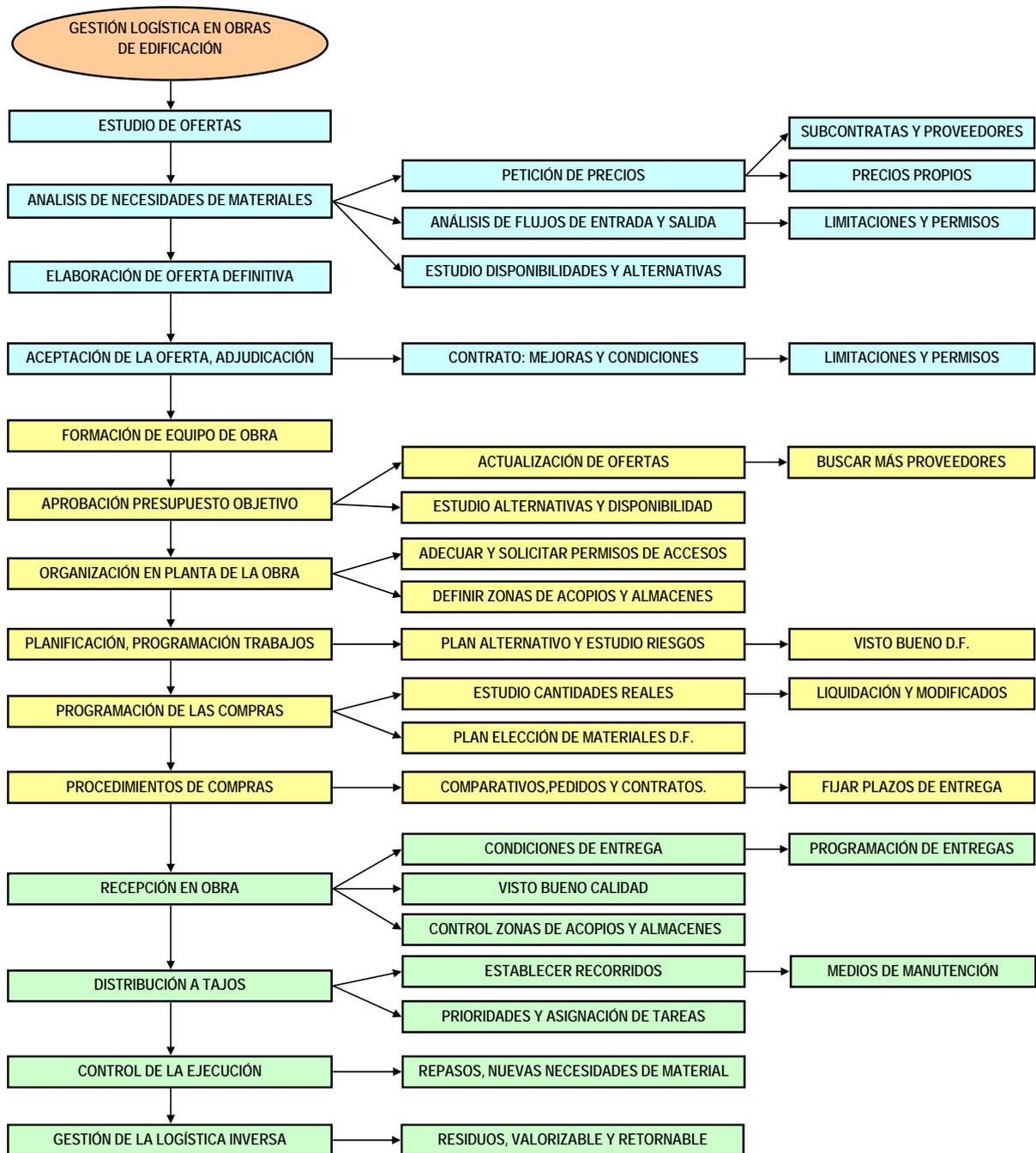


Figura 14. Diagrama de flujo gestión logística en obras de edificación. Fuente: Elaboración propia.

En la página siguiente, en la figura 15, se muestra el mapa de la cadena de valor trazado para el estado actual. El desarrollo del mapa se va ha centrado en la gestión realizada en obra, ya que tratar de abarcar una información tan amplia como la contenida en el flujograma anterior haría que no fuese viable su trazado. De esta forma se aplica el principio de aplicación puerta a puerta descrito en las recomendaciones de desarrollo de la herramienta, es decir, de las actividades realizadas en el centro productivo.

MAPA DE LA CADENA DE VALOR DE LA GESTIÓN LOGÍSTICA EN OBRAS DE EDIFICACIÓN. ESTADO ACTUAL.

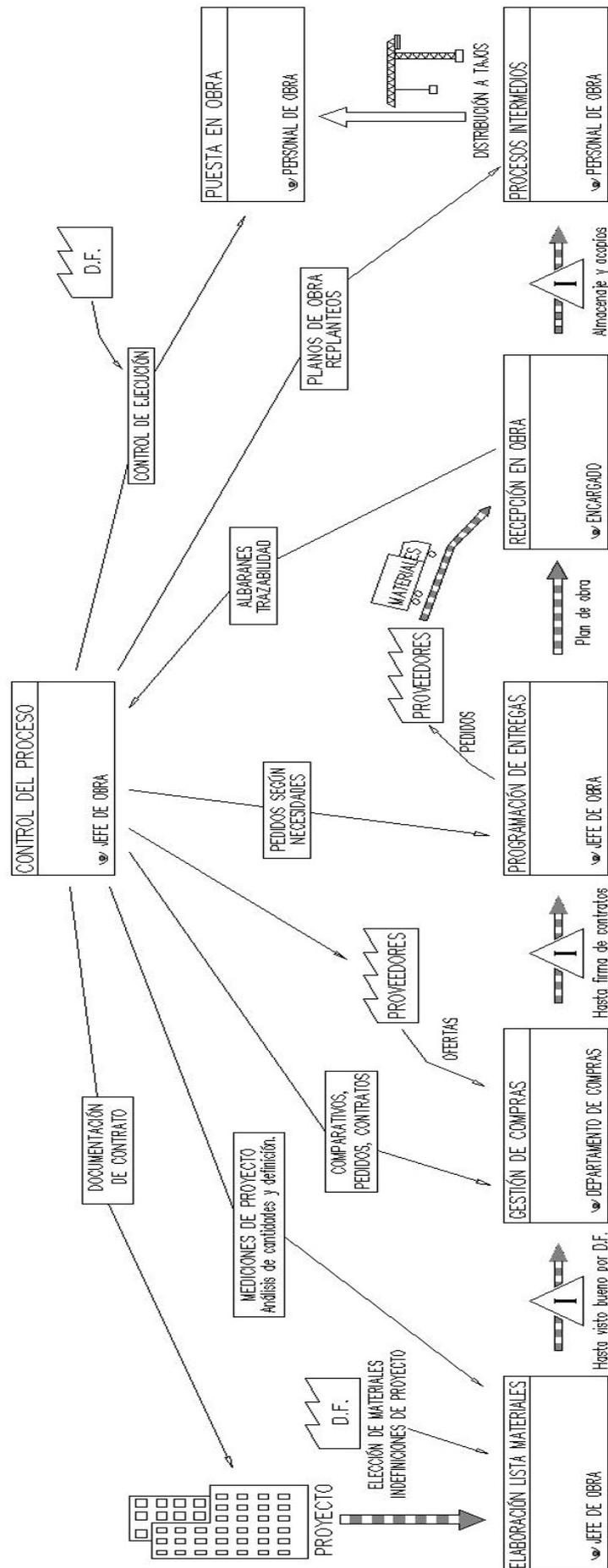


Figura 15. Mapa de cadena de valor, estado actual. Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Análisis del estado actual del mapa de cadena de valor trazado.

Una de las principales ventajas de la herramienta de trazado de mapas de valor es que solo con el hecho de plantearse el funcionamiento del proceso ya se pueden identificar puntos de ineficiencias o mudas. El trazado posterior solo es una forma de reflejar la información analizada conforme a un estándar que la hace entendible por más agentes. La recopilación de información y su tratamiento en este tipo de planos nos permiten analizar fases de un procedimiento, llegando a un nivel de detalle que de otra forma no sería posible identificar. El hecho de llevar mucho tiempo realizando un proceso de una forma determinada no nos garantiza que lo conozcamos en detalle y mucho menos que se esté haciendo correctamente. Puede ser el caso en concreto de este procedimiento que a pesar de haberlo seguido durante años durante mi experiencia profesional, hasta el momento de plantearme su desarrollo de esta forma no me he dado cuenta de la cantidad de ineficiencias que puede llegar a contener.

El esquema del estado actual representado tiene además una peculiaridad. Esta es que normalmente no se sigue para el conjunto de los materiales que intervienen en el proyecto sino que se repite para cada uno de los capítulos, lo que hace que se acumulen los tiempos parciales de espera entre procesos. Si a priori parece un procedimiento claramente mejorable, hay que tener en cuenta que es iterativo por lo que su desarrollo comienza de nuevo con cada capítulo en los que se divide la obra.

Una de las primeras acciones a tomar sería que el esquema representado supusiese el desarrollo completo de la gestión de los materiales empleados en la totalidad de la obra. Por ejemplo es habitual que aquellos materiales que deban ser elegidos por la dirección facultativa (solados, azulejos, colores de carpinterías, etc.) se vayan eligiendo a medida que se van necesitando lo que imposibilita tener una planificación completa de la gestión de las compras de los materiales. Por este motivo es necesario repetir el proceso para cada uno de los materiales acumulándose tiempos de espera que en ocasiones afectan a la duración total del proyecto. Solo tomando esa medida ya se simplificaría la gestión del conjunto de los materiales.

A continuación se detallan otros puntos identificados cuyo tratamiento supondría una mejora del funcionamiento del procedimiento. El análisis se ha realizado teniendo en cuenta los ocho tipos en los que pueden agruparse los desperdicios.

3.2.3.1. Sobreproducción.

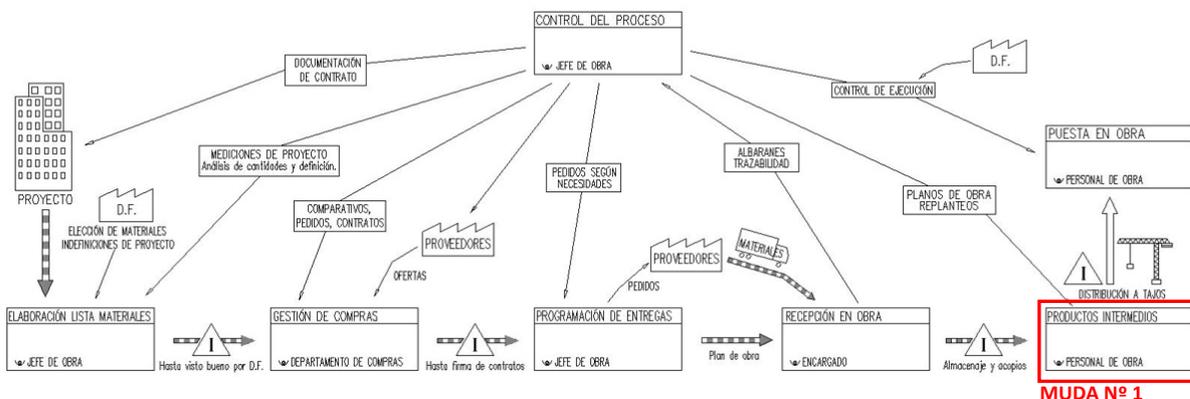
En el caso del tipo de producción por proyectos es difícil que se produzcan mudas en este apartado en el sentido más estricto del término, es decir, fabricación de cantidades superiores a las demandadas de producto terminado y que por lo tanto es necesario almacenar. Pero el concepto de sobreproducción es más amplio, en definitiva, es hacer más de la cuenta o demasiado pronto de cualquier tipo de producto o elemento.

Conforme a la primera acepción, las cantidades a ejecutar están limitadas en muchos casos por el espacio físico que las contiene por lo que no se puede producir más cantidad para almacenar. A pesar de esta limitación si que puede manifestarse la sobreproducción en determinados casos, como por ejemplo al aplicar espesores superiores a los definidos en proyecto en los enfoscados o en elementos de hormigón. Puede ser el caso de la ejecución de una losa de hormigón de un espesor determinado que forme la estructura de una planta. Si tiene una superficie de 1.000m^2 , un espesor adicional de 1cm suponen 10m^3 de hormigón adicional. Si estimamos un coste de 120€/m^3 incluyendo el material, la mano de obra y los medios auxiliares necesarios, el sobrecoste puede alcanzar los 1.200€. Por lo tanto el análisis de este tipo de muda debe hacerse partida a partida, analizando la diferencia entre el coste de la utilización de elementos de control frente al de la sobreproducción generada. En el ejemplo anterior de la losa de hormigón el control del espesor puede hacerse mediante la utilización de técnicas de topografía que tendrían un coste muy inferior al del sobrecoste generado.

Muy diferente es el caso de la producción de los productos intermedios, donde se debe garantizar que su fabricación se corresponde con su demanda interna. En este caso si que es posible que se produzca una sobreproducción al realizar la producción por lotes, por ejemplo, en la fabricación de mortero por cubetas completas, en el corte de ladrillos con formatos especiales por palés o en la fabricación de mallazos de armado con el máximo de la superficie que puede transportarse.

• **MUDA DETECTADA N°1. Sobreproducción de productos intermedios.**

En el mapa de cadena de valor trazado este desperdicio se manifiesta en la fabricación de productos intermedios, por ejemplo, en la producción de mortero amasado para servir a las unidades de obra que lo necesiten. En el procedimiento no hay ningún elemento para controlar la fabricación de estas cantidades, solo la estimación de las necesidades por parte del encargado, o las comunicaciones verbales entre operarios. Se suele fabricar por unidades completas, que en este caso está definida por la cubeta que lo contiene, lo que genera una gran cantidad de desperdicios durante su utilización.



SOLUCIÓN PROPUESTA 1. Para minimizar el desperdicio de mortero, se podría implantar un sistema de notificación mediante tarjetas kanban que informe de las necesidades a producir. No es necesario que sea un sistema complejo, si se emplean dos cubetas por tajo, cuando se termina el material contenido en la primera se manda la señal al operario que se ocupa de la fabricación que es necesario producir otra amasada. La labor de comunicación entre punto de consumo y producción puede ser llevada a cabo por el operador de la grúa, ya que el será el encargado del transporte. Sería una forma básica de aplicar un sistema de doble cajón, en el que son los propios operarios los que se ocupan de la gestión del sistema a partir de las necesidades de producción. El objetivo sería impedir la fabricación innecesaria de mortero, ajustando la producción a las necesidades reales, y suministrando las cantidades necesarias además en el momento preciso, evitando esperas. Habría que prestar especial atención a las cantidades necesarias en el último suministro para cada tajo, sobre todo en los últimos trabajos de la jornada de mañana y tarde.

Como contrapartida con la implantación de este método se corre el riesgo de saturar la ocupación de la grúa o los medios de manutención empleados con el transporte pequeñas cantidades, por lo que será necesario definir previamente el tamaño de los lotes a transportar. El coste de implantación de la medida puede suponer que el operador de la grúa torre dedique media hora por jornada a realizar este control visual.

CUANTIFICACIÓN DEL AHORRO. En la siguiente tabla se recoge una estimación del coste que podría suponer la implantación de esta propuesta en una obra tipo de un presupuesto de unos 2 millones de euros.

| CONCEPTO | CANTIDAD |
|---|----------------|
| Capacidad cubeta mortero amasado en obra (m ³) | 0,40 |
| Puntos de consumo simultáneo | 8 |
| Desperdicio generado (m ³) (Estimando el 50% de la última cubeta) | 3,20 |
| Precio del material (€/m ³) | 60,00 |
| Tiempo por cubeta retirada (Horas) | 0,15 |
| Precio de la mano de obra (€/H) | 25,00 |
| Importe total desperdicio diario (€) | 80,55 |
| Número de días previsto utilización silos de mortero | 45 |
| Total coste estimado en desperdicios de mortero | 3.625 € |
| Total coste implantación medida (0,5h de gruísta a 28€ al día) | 630 |
| Total coste estimado implantación medida | 2.995 € |

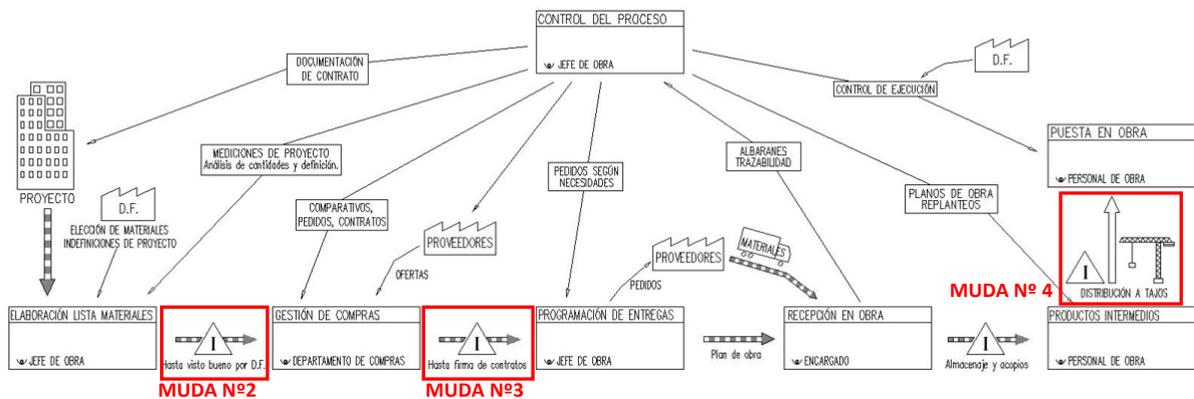
Tabla 4. Estimación del ahorro generado con la implantación de tarjetas Kanban. Fuente: Elaboración propia.

Se ha estimado que debido a los problemas de comunicación entre los puntos de consumo de mortero y la producción desde los silos, diariamente se puede tirar hasta el 50% del mortero de la última cubeta suministrada para cada tajo. Si hay 8 puntos de consumo simultáneo durante los 45 días en los que está prevista esta actividad el importe del material desperdiciado puede alcanzar casi los 3.000€.

Este es el ahorro que puede producirse solo en la fabricación de este producto, por lo que el importe podría ser mayor si se aplica un sistema similar al conjunto de las operaciones de elaboración de productos intermedios. Este mismo esquema se puede utilizar para los elementos que utilizan este procedimiento, en el que hay una demanda interna y una producción por parte de otro tajo. Por ejemplo corte de ladrillos, preparación de ferralla, etc. En el apartado 5.1.2. se detallará la estimación del ahorro total que puede producirse disminuyendo los desperdicios de los materiales empleados, ya que esto también es una forma de sobreproducción al emplear más recursos de los necesarios para producir los elementos asociados a ellos. Es decir, se realiza una sobreproducción al desperdiciar productos intermedios pero también al utilizar una mayor cantidad de materiales o de los componentes necesarios al ejecutar una unidad de obra.

3.2.3.2. Tiempos de espera.

Este tipo de muda se manifiesta en varias fases del procedimiento y constituye la fuente de mayores ineficiencias en el transcurso de las operaciones, así como un elevado coste asociado. Impide el flujo continuo de las operaciones y ocasiona retrasos que dificultan el cumplimiento de la planificación prevista.



Dentro de este grupo de mudas formado por los distintos tiempos de espera se han identificado tres puntos de espera entre procesos, son los siguientes:

- **MUDA DETECTADA Nº 2.** *Espera hasta tener el visto bueno de la Dirección Facultativa (D.F.) a la elección de materiales y a la resolución de indefiniciones de proyecto.*

En este caso se depende de un agente externo que es el decisor, por lo que las gestiones que se pueden hacer por nuestra parte son las relativas a la comunicación, lo antes posible, de los asuntos sobre los que tiene que decidir. De esta manera anticipamos la solución del problema, conociendo de antemano el margen con el que se cuenta para la obtención de una respuesta.

- **SOLUCIÓN PROPUESTA 2.** Debido a la forma en la que se desarrollan los trabajos por el sistema tradicional en el que la fase de proyecto no está relacionada con la fase de ejecución, la documentación contractual no presenta todas las características necesarias para la ejecución completa de los trabajos. Por este motivo, es necesario la presencia de la D.F. de forma que dé soluciones a las indefiniciones de proyecto y realice la elección de los materiales que no se han definido de forma completa (por ejemplo, color de solados, pinturas, carpinterías de aluminio, etc).

En el caso de la elección de materiales, es habitual presentar las propuestas a medida que es necesaria su definición según el desarrollo de los trabajos. Esto obliga a definir la fecha concreta en la que se realiza la presentación de cada propuesta. Lo ideal sería hacer un listado con aquellos materiales que son susceptibles de elección y plantear un calendario con las fechas límites para las respuestas. No es viable ni necesario que la D.F. elija todos los materiales a la vez, pero si que está en nuestra mano conocer cuales van a ser estos productos y planificar con tiempo la obtención de muestras sobre las que basar la decisión.

Al igual que existe la figura del B.O.M. (Bill of Materials) en el ámbito industrial, en el sector de la construcción se puede extraer la información de proyecto del B.O.Q (Bill of Quantities, utilizando la misma terminología) o mediciones. Con los programas de mediciones utilizados habitualmente es sencillo obtener un listado de todos los materiales necesarios, así como sus cantidades. Basándonos en este listado se puede hacer una clasificación en función de aquellos productos que necesiten el visto bueno o elección por parte de la Dirección Facultativa. De esta manera podemos recuperar parte del control sobre el proceso, aunque se siga estando en manos de un agente externo.

En la imagen 16 se muestra una captura de Presto del listado de materiales empleados. Es posible filtrar los materiales previstos en el proyecto, de forma que a partir del listado inicial se clasifiquen en función de los requerimientos específicos de cada uno. Sería el equivalente a la explosión de materiales realizada en un sistema MRP. Con esta información se elaboran las listas de materiales que constituye el primer paso de la gestión logística para el suministro.

| | | | | | | | |
|-----|-----------|----|---|-----|--|--------|--------|
| 595 | P01AA020 | ██ | | m3 | Arena de río 0/6 mm. | 15,01 | 15,01 |
| 596 | P01AE100 | ██ | | t. | Piedra en rama < 25 kg | 8,04 | 8,04 |
| 597 | P01AL025 | ██ | | m3 | Arcilla exp. Arlita F-3 (3-8 mm) bomb. | 49,49 | 49,49 |
| 598 | P01DS170 | ██ | | ud | Bomba impulsión fecales 0,75 kW | 371,13 | 371,13 |
| 599 | P01DW090 | ██ | S | Ud. | Pequeño material | 3,42 | 3,42 |
| 600 | P01HD600 | ██ | | m3 | Horm.H-200 ár.rodado 8 mm. cent. | 86,46 | 86,46 |
| 601 | P01LG160 | ██ | | ud | Rasillón cerámico m-h 100x25x4 | 0,76 | 0,76 |
| 602 | P01MC020 | ██ | | m3 | Mortero 1/4 de central (M-80) | 51,06 | 51,06 |
| 603 | P02EDS010 | ██ | | ud | Sum.sif./rej. PVC L=200 s.vert. D=80-110 | 9,53 | 9,53 |
| 604 | P03AG100 | ██ | | ud | Gavión (5x7-13)2,0 mm | 25,47 | 25,47 |
| 605 | P04PT049 | ██ | | m2 | Placa Cartón yeso lana de roca 40 mm | 20,17 | 20,17 |
| 606 | P04PT051 | ██ | | m2 | Placa Cartón yeso term-n-xpe 53 mm | 13,87 | 13,87 |
| 607 | P04RW070 | ██ | | m2 | Malla fibra vidrio 3x3 mm. | 3,59 | 3,59 |
| 608 | P06SL060 | ██ | | m2 | Lám.PVC-gofrada | 12,91 | 12,91 |
| 609 | P07TE040 | ██ | S | m3 | Poliest.exp.t. IV 20 kg/m3 nor. | 52,36 | 52,36 |

Figura 16. Listado de materiales (Bill of Quantities). Fuente: Captura de programa, elaboración propia.

• **MUDA DETECTADA Nº 3. Espera la formalización de los contratos.**

Es habitual que se produzcan esperas desde que se decide la compra de un material hasta que este puede pedirse debido a esperas en la formalización de los contratos. En los procedimientos del sistema de gestión de la calidad, debe aparecer cual es el criterio a seguir en cuanto a la elaboración de pedidos y contratos, así como las cantidades para las que son válidas cada uno de ellos.

SOLUCIÓN PROPUESTA 3. Esta espera no tiene consecuencias si ese tiempo lógico de gestión de la documentación es previa a la necesidad de disponer de los materiales en obra. Por lo tanto hay que tener en cuenta el tiempo necesario en la gestión de los contratos a la hora de planificar las compras. Si existe un departamento de compras, a este se le debe mandar toda la documentación necesaria con la antelación suficiente, y marcarle con claridad cual es la fecha límite para que la firma de un contrato no conlleve retrasos en obra. Por lo tanto como en el caso anterior la solución al problema viene de la correcta planificación y anticipación de los trabajos. La mejor forma de plantear estas soluciones es mediante soluciones del tipo MRP de planificación de la producción como se detallarán en el apartado 3.4.1. Una acción que puede contribuir a la corrección de esta ineficiencia, es la inclusión en la programación de obra de líneas de actividades de gestión junto con las de ejecución. De esta forma se reflejan las fechas límites para la definición de los elementos necesarios, trasladando el calendario propuesto en el apartado anterior a una representación más visual. Estas actividades de gestión estarían vinculadas al resto de forma que se manifiesten los retrasos que puede ocasionar su no seguimiento. A continuación, en la imagen 17, se muestra un ejemplo:

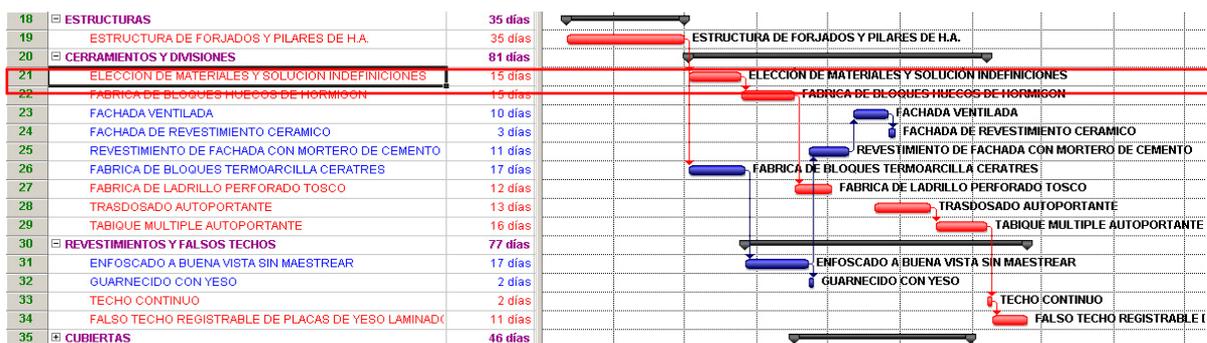


Figura 17. Planificación incluyendo líneas de gestión. Fuente: Captura de programa, elaboración propia.

Tanto en el problema detectado número 2 como en el número 3 la solución pasa por identificar las fechas límites en la que hay que realizar las acciones previas, de forma que el material esté disponible para su puesta en obra en la fecha prevista. Para ello es necesario proceder al cálculo de fechas de forma inversa al transcurso natural. Para disponer el material en una fecha concreta se debe estimar el tiempo necesario de preparación en obra, el de transporte, el de fabricación y el de preparación del suministro; con la suma de estos tiempos tendremos la fecha límite para lanzar el pedido. Anteriormente hay que asignar un tiempo a la búsqueda de ofertas y a la formalización de los contratos, este tiempo nos marca la fecha límite para la toma de decisiones. Expresado de forma gráfica sería de la siguiente manera:



Figura 18. Esquema de la sucesión de las operaciones de determinación de fechas límite. Fuente: Elaboración propia.

- **MUDA DETECTADA Nº 4. Esperas en la distribución de materiales a los tajos.**

Las esperas se producen desde que un material o producto intermedio está listo para ser servido al tajo, hasta que la entrega se realiza realmente. En muchas ocasiones las demoras están generadas debido a los escasos medios de manutención presentes en las obras y por tanto a la sobrecarga de trabajo a los que se les somete. El medio de manutención más habitual es la grúa torre, que presenta una alta maniobrabilidad pero no es un sistema especialmente rápido, requiriendo además de personal de apoyo que ayude tanto en la carga como en la descarga. En muchas ocasiones solo se cuenta con una grúa para el conjunto de las operaciones de manutención por lo que es necesario programar bien los trabajos a realizar de forma que no se produzcan esperas, dando prioridad en cualquier caso a los trabajos productivos frente al resto.

- **SOLUCIÓN PROPUESTA 4.** Todas estas consideraciones deben plantearse durante la planificación previa de la obra, considerando los costes necesarios y habilitando las partidas necesarias que contemplen el coste de los medios de manutención. En el día a día es el encargado el que dirigirá los trabajos dando prioridad a los tajos que se consideren críticos para el cumplimiento de los plazos de ejecución previstos. Se trata de acciones del tipo JIT con el objetivo de buscar el flujo continuo.

CUANTIFICACIÓN DEL AHORRO. En una obra tipo de 2 millones de euros, como la se está tomando de referencia para la cuantificación del ahorro, el plazo de ejecución suele ser de unos 18 meses. La reducción de este plazo afecta a los costes indirectos y a los gastos generales asociados a la obra, no así al coste directo. Como se detallará en el punto 5.1.2., los costes indirectos de este tipo de obra pueden alcanzar los 30.000€ mensuales, por lo que aunque solo se logre reducir un mes el plazo total de obra el ahorro puede ser significativo. La combinación de las tres propuestas anteriores puede suponer la eliminación del principal cuello de botella que presenta el flujo de materiales, por lo que no parece exagerado que puede alcanzarse la reducción en un mes del plazo de ejecución.

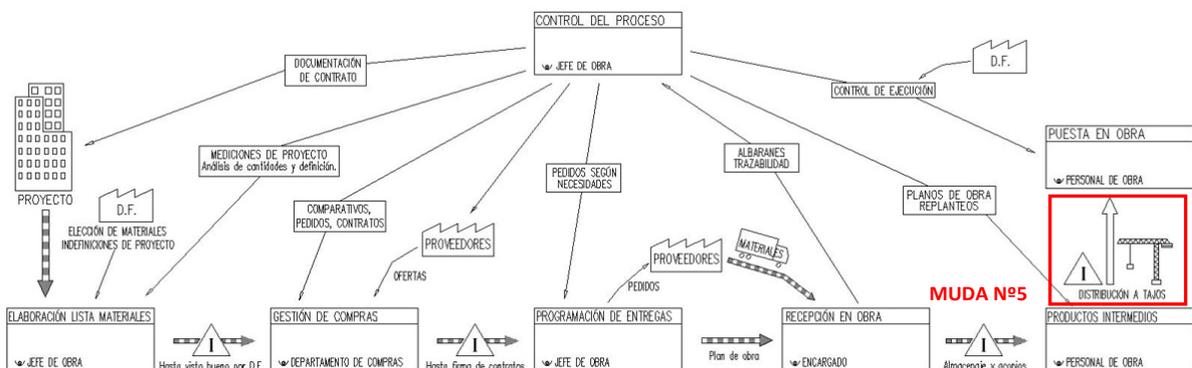
Por el lado contrario, la realización de estas tareas de gestión ya están incluidas en la responsabilidad del equipo de obra; lo que aquí se ha propuesto es realizar estas tareas de forma planificada y organizada por lo que no deben representar un incremento de coste apreciable. Como propone la filosofía Lean, la implantación de las propuestas no debe llevar un coste importante asociado, sino que se trata en muchos casos de un cambio de mentalidad en la forma de realizar las tareas. En este caso en concreto, en lugar de realizar de forma inconexa las gestiones para cada material a elegir y posteriormente a comprar, se propone realizar la gestión de forma planificada lo que reducirá la carga de trabajo durante el transcurso de la ejecución de la obra. El trabajo de gestión se concentra en la fase inicial, en la que además se dispone de mayor tiempo para realizar este tipo de labores. Esta propuesta además va encaminada en lo que propone otra herramienta Lean: la estandarización de los trabajos. Si se definen los pasos a realizar en la gestión de estos aspectos, será más fácil desempeñar estas tareas no solo por el jefe de obra, sino por otros miembros del equipo de obra. Deja de ser un trabajo personal para convertirse en una tarea procedimentada.

3.2.3.3. Transporte.

Aunque no se ve reflejado expresamente en el mapa de valor del estado actual trazado, este tipo de desperdicio puede manifestarse al producirse movimientos innecesarios de materiales por varios motivos. Las causas que originan este tipo de muda tienen su origen en la ausencia de la planificación de los recorridos y de la organización interior de los flujos de materiales. Pueden deberse, por ejemplo, a una incorrecta planificación de la recepción de obra de los materiales que obligue a una reorganización de las zonas de acopios. También un cálculo incorrecto de las cantidades necesarias a servir puede hacer que se suministre una cantidad mayor que la necesaria al tajo, obligando a un transporte de vuelta a la zona de acopio o a otro punto de consumo diferente.

- **MUDA DETECTADA Nº 5. Esperas en la distribución de materiales a los puntos de consumo.**

En el mapa se puede reflejar en esperas en la distribución a los tajos ya que al no estar los recorridos optimizados requiere de un uso durante mayor tiempo de los medios de manutención. Este problema está vinculado por tanto a la muda nº4, ya que el uso inadecuado de los medios auxiliares disponibles puede originar retrasos en los suministros a los distintos puntos de producción.



- **SOLUCIÓN PROPUESTA 5.** Un aspecto que puede contribuir a la mejora en este apartado sería la definición de las rutas a seguir para el suministro de materiales a los distintos tajos. Para ello se puede realizar un análisis de los trazados con la herramienta Spaghetti flow o diagramas de recorrido. Mediante la aplicación de este método se determinan a priori las rutas a seguir en el transporte de materiales en las distintas fases de obra, optimizando los tiempos a la vez que se mejoran las condiciones de seguridad en la obra al evitarse cruces innecesarios.

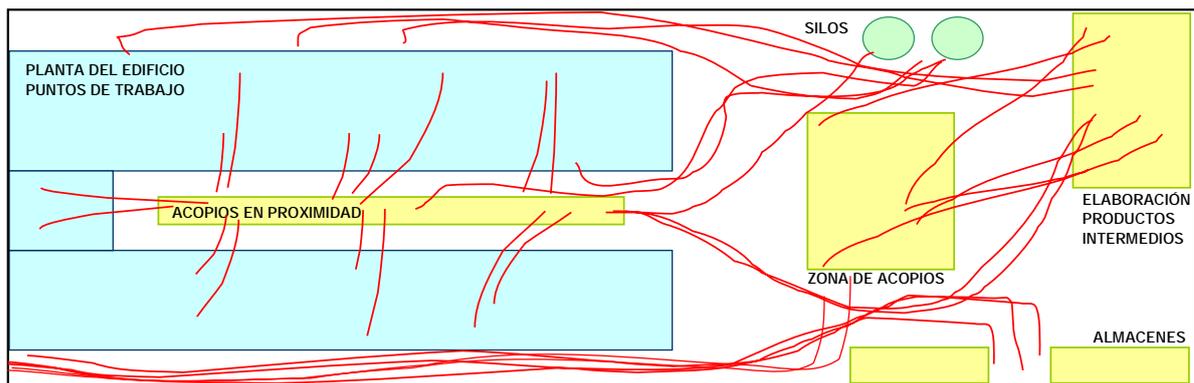


Figura 19. Diagrama de espagueti de los recorridos de suministros internos. Fuente: Elaboración propia.

Los diagramas de espaguetis son una forma de ver el flujo de material en un proceso e indican las ineficiencias en los transportes y movimientos que pueden ser eliminados para conseguir una producción optimizada. En una obra de edificación donde la mayoría de los puntos de producción son dinámicos y tienen una duración determinada, es difícil analizar los flujos para todas las actividades. La primera tarea consistiría en determinar las actividades a analizar de entre aquellas que se van a realizar durante un periodo mayor de tiempo. Los pasos a dar sería los siguientes:

- Seleccionar el proceso asignado. En general, es bueno comenzar con los procesos de trabajo que se ejecutan en varias ocasiones y con frecuencia. Estos procesos dan los mejores resultados respecto al tiempo invertido.
- Reflejar el recorrido de una persona o medio de manutención a través del proceso de estado de trabajo actual. Se puede hacer de forma manual dibujando el trazado sobre un plano a mano alzada, en él se dibuja el movimiento de la persona o equipo y no se debe levantar el lápiz del papel de forma que se obtenga una línea continua (de ahí viene el nombre de espaguetti flow, o diagrama de espaguetti). También se pueden analizar los aspectos de seguridad y de ergonomía, mientras se realizan las observaciones. En la imagen 19 se ha mostrado un esquema de este trabajo inicial, que constituye la base para el desarrollo del trabajo.
- Estudiar el estado actual. En esta fase se analiza la distancia total recorrida y se plantean las alternativas en las que podría ser reducido el movimiento de los equipos, por ejemplo: disponiendo los materiales más cerca del punto de consumo, utilizando recorridos más cortos, eliminando los pasos intermedios (rupturas de carga) o cambiando el orden de los pasos.
- Dibujar un mapa de futuro y ponerlo en práctica. Se trata de dibujar un mapa en el que se anticipa el estado futuro del flujo de trabajo basado en las ideas aportadas. Para ello es necesario desarrollar un plan de acción para la implementación del estado futuro.
- Verificar el estado futuro siguiendo a una persona o equipo a través de él. De esta forma se verifica que el flujo en el estado futuro funciona como se había planificado. Sobre esta base se pueden hacer las correcciones precisas en caso necesario.
- Comunicar y formar a los usuarios en el nuevo proceso. Para ello se muestra a los operarios y manipuladores de los medios de manutención el estado actual y los mapas futuros de los flujos. Para conseguir la mejora continua el sistema se retroalimenta con la información aportada por los usuarios.

CUANTIFICACIÓN DEL AHORRO. La forma de cuantificar el ahorro en este apartado es refiriéndolo al coste de la utilización de horas de máquina con sus operadores asociados. Para obtener un importe del ahorro, se ha supuesto que con las medidas propuestas se consigue reducir en quince minutos diarios la utilización de los medios de manutención presentes en la obra: la grúa torre y el manipulador telescópico. El coste diario del alquiler de los mismos no varía, pero si el consumo de combustible y las horas de operador por lo que el importe del ahorro estimado puede rondar los 6.000€. El tiempo que se libera tanto de equipos como de operadores puede dedicarse a la ejecución de otras tareas por lo que también se produce un incremento de la productividad, que puede revertir en la reducción de los plazos de ejecución.

| CONCEPTO | CANTIDAD |
|--|----------------|
| Consumo eléctrico grúa torre (€/H) | 4,50 |
| Coste operador grúa torre (€/H) | 28,00 |
| Consumo combustible manipulador telescópico (€/H) | 6,00 |
| Coste operador manipulador telescópico (€/H) | 25,00 |
| Tiempo ahorrado al día con la aplicación de la propuesta (H) | 0,25 |
| Ahorro diario producido | 15,88 |
| Número de días de utilización de los equipos | 396 |
| Total ahorro estimado en reducción de movimientos | 6.287 € |

Tabla 5. Estimación del ahorro generado con la propuesta de reducción de transportes. Fuente: Elaboración propia.

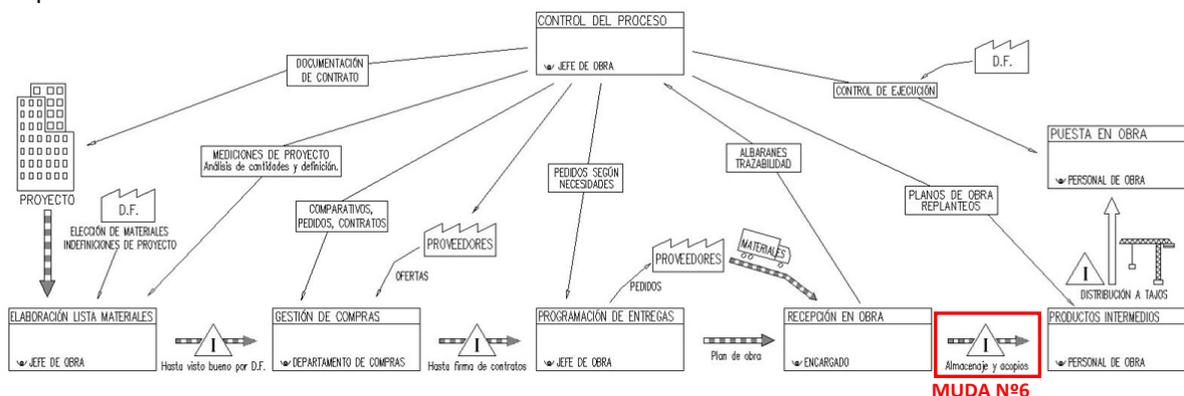
Hay que destacar que solo se ha analizado los transportes internos ya que el estudio de la logística externa depende de factores externos, propios de los proveedores. La aplicación de criterios de optimización podría aportar nuevas fuentes de ahorro también en este aspecto.

3.2.3.4. Exceso de procesamiento.

En el caso concreto de un diagrama de un procedimiento general como este no se aprecian mudas en este sentido. Sería necesario aplicar la herramienta VSM al proceso de producción de una unidad en concreto para analizar si se manifiestan.

3.2.3.5. Inventario.

Este grupo de mudas, formado por los suministros que exceden de lo estrictamente necesario en el proceso de fabricación, se presenta en el procedimiento analizado en el almacenaje y acopios de materiales y de productos intermedios.



- **MUDA DETECTADA Nº 6. Presencia de inventarios y almacenajes innecesarios.**

Como en cualquier proceso productivo es necesario contar con una cantidad determinada de materiales acopiados, listos para incorporar a los distintos puestos de trabajo, de forma que se garantice la continuidad de las operaciones. En el caso particular de las obras de construcción estas cantidades, con una función reguladora, están condicionadas por el espacio disponible y por los lotes mínimos a pedir. En el suministro de muchos materiales el tamaño del lote mínimo está constituido por un trailer completo, especialmente en aquellos elementos de gran volumen o peso y escaso valor en los que el coste del transporte representa un porcentaje alto de su precio de venta. Es el caso por ejemplo de los ladrillos para revestir o de bovedillas para forjados.

- **SOLUCIÓN PROPUESTA 6.** Las técnicas que pueden utilizarse para reducir el nivel de los inventarios son las propuestas por el **Just In Time** de forma que se produzca un flujo continuo. El problema es que en muchos casos el escaso valor de los materiales a suministrar, en relación con el coste del transporte, impide implantar acciones como la secuenciación de entregas. Esto obliga a realizar suministros por lotes y al establecimiento de almacenes. En aquellas obras en las que debido a su ubicación carecen de espacio disponible para realizar acopios, si se emplean estas técnicas pasando los materiales del medio de transporte al punto de producción directamente pero el coste que generan es muy alto. A continuación se detallan algunas acciones a desarrollar para conseguir el flujo continuo, y acercarse al JIT en la medida de lo posible.

- **Evitar las rupturas de carga.** En la medida de lo posible se tratará de programar las entregas de forma que pasen desde el medio de transporte al que llegan, a una zona próxima a la que van a ser necesarios. Sería el equivalente al establecimiento de áreas planas en instalaciones industriales, donde se depositan materiales con el objeto de reducir la distancia entre el punto de almacenaje y la zona de producción. Por ejemplo en la fase de estructuras, durante el montaje de los forjados, los palés de bovedillas se pueden descargar directamente en la zona donde se esté trabajando evitando el paso intermedio del almacén. Para garantizar la continuidad de los trabajos se puede contar con una cantidad mínima almacenada, constituyendo un stock de seguridad, de por ejemplo el consumo previsto de un día. Con esta medida también se mejora en la reducción de movimientos innecesarios.
- **Suministro directo de productos intermedios.** En muchos casos se subcontratan actividades a empresas externas que almacenan materiales sobre los que es necesario realizar operaciones intermedias en obra, para obtener el producto que se incorpora al tajo. De esta forma se reduce el espacio ocupado en obra y los daños o deterioros que pudieran sufrir los materiales.

Por ejemplo, es habitual el suministro de ferralla en barras para elaborar las armaduras en el mismo centro de trabajo. Esta práctica requiere el establecimiento de zonas de almacenaje de materia prima, de elaboración y de acopio de material elaborado, que pueden llegar a ocupar una superficie extensa. La alternativa es la fabricación en el taller del proveedor y el suministro del material elaborado bajo demanda y siguiendo una programación.

Tiene en contra el incremento de los transportes a realizar ya que el volumen por unidad de peso de las armaduras es mayor, pero se ve compensado por el mayor rendimiento que se puede obtener al realizar el trabajo en mejores condiciones e instalaciones. La calidad del producto terminado será mayor y además esta medida se puede combinar con la anterior, sirviendo el material del camión al tajo evitando las rupturas de cargas.

- **Suministro Just in Time.** Son pocos los productos que se pueden incorporar al proceso productivo siguiendo este método. El ejemplo típico es el del hormigón, que debido al corto periodo de puesta en obra es imposible su acopio. Se fabrica en plantas especializadas y se sirve en la cantidad especificada directamente al elemento constructivo, sin pasar siquiera por una zona plana anexa. Otros elementos a los que puede darse un tratamiento similar son los elementos de carpintería de aluminio. Una vez definidas sus dimensiones y fabricadas en el taller del proveedor, el suministro a obra se hace siguiendo una secuencia establecida por el jefe de obra. El proveedor solo transportará aquellas unidades que prevé que va a colocar en la jornada de trabajo, pasando del medio de transporte empleado al hueco donde se va a colocar. De esta forma se evitan los daños que pudieran producirse en los almacenajes intermedios. En este caso el éxito del sistema está en la planificación previa de las entregas, de manera que no haya desfases entre el orden de fabricación y las necesidades en obra.
- **Establecimiento de almacenes externos.** Es habitual habilitar almacenes exteriores en los casos en los que la limitación de espacio condiciona el establecimiento de zonas de acopios en la obra. En estos almacenes cumplen la función de regulación de las entradas de materiales y en ellos se realizan los trabajos necesarios para servir a obra en condiciones similares a las de secuenciación de una cadena de montaje. Establecer este tipo de medidas tiene un coste alto ya que obliga a tener personal y equipos desplazados para realizar esta función, pero en muchos casos es la única alternativa. No obstante es una opción económicamente más interesante que recibir a diario los materiales directamente de los proveedores, ya que un fallo en las entregas produciría una ruptura en la cadencia de los trabajos.

CUANTIFICACIÓN DEL AHORRO. El ahorro producido con las propuestas realizadas, en este caso se manifiesta al igual que en el caso de los transportes, en la reducción de la utilización de los equipos de mantenimiento. Al primar el flujo directo de materiales se evitan movimientos innecesarios hacia las zonas de acopios para trasladarlos posteriormente a los puntos de consumo. Pero en este caso además se reduce también el coste del personal que ayuda en la carga y descarga (aunque no se ha cuantificado), ya que en este caso se eliminan movimientos mientras que en el anterior se reducen los recorridos.

El posible ahorro que pueda producirse dependerá en gran medida del tipo de obra, ya que en aquellas con poco espacio para acopios no queda otra alternativa que desarrollar las tareas con estas técnicas. Para mostrar un indicador del posible ahorro se ha cuantificado la repercusión de una reducción de unos 20 minutos diarios aunque sobre una cantidad de días menor que el caso anterior. Se ha tomado esta decisión ya que todos los días se producen movimientos pero no todos los días se reciben materiales. También se reduce el importe que se destina a la adecuación de las zonas de acopios y almacenes, tales como explanación, iluminación, seguridad, alquileres, etc. Realizar esta gestión logística específica se ha estimado que puede suponer 15 minutos diarios de un miembro del equipo de obra. El ahorro sobre la obra de referencia que se está considerando, sin unos requerimiento específicos en cuanto a espacio disponible, rondaría los 8.000€.

| CONCEPTO | CANTIDAD |
|--|----------------|
| Consumo eléctrico grúa torre (€/H) | 4,50 |
| Coste operador grúa torre (€/H) | 28,00 |
| Consumo combustible manipulador telescópico (€/H) | 6,00 |
| Coste operador manipulador telescópico (€/H) | 25,00 |
| Tiempo ahorrado al día con la aplicación de las propuestas (H) | 0,40 |
| Ahorro diario producido | 25,40 |
| Número de días de utilización de los equipos | 198 |
| Adecuación de zonas de acopios (€) | 4.500 |
| Coste gestión logística JIT (0,25h/día a 36€/h) | 1.620 |
| Total ahorro estimado en reducción de inventarios | 7.909 € |

Tabla 6. Estimación del ahorro generado con las propuestas de reducción de inventarios. Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.6. Movimientos.

Aunque este tipo de muda no se manifiesta directamente en el mapa de valor, a continuación se muestra un ejemplo de lo que podría ser una acción de mejora en este ámbito. En este aspecto se engloban dos elementos diferentes: el movimiento humano y el movimiento de las máquinas que no contribuyen a otorgar valor, dichos movimientos están relacionados con la ergonomía del lugar donde se trabaja, afectando así a la calidad y la seguridad.

- **Movimiento humano.** En la construcción de obras de edificación estos aspectos están recogidos en el plan de seguridad y salud. Por lo tanto es necesario vigilar que el uso de las herramientas y los medios auxiliares, así como el desarrollo de los trabajos, se ajusta a lo indicado en dicho plan. Además de los controles internos que se puedan realizar por el personal de la empresa, existe una figura que se ocupa de la vigilancia en este sentido: es el coordinador de seguridad y salud.
- **Movimiento de las máquinas.** No son muchos los medios auxiliares de los que se dispone en obra que sean susceptibles de generar este tipo de mudas. Aunque hay uno de ellos que es crítico en alguno de los procesos como hemos visto anteriormente, se trata de la grúa torre. Debemos asegurarnos que los movimientos que se realizan con la grúa sean lo más sencillos y directos posible, ya que así se reduce su carga de trabajo estando disponible para realizar más tareas. Son múltiples los posibles caminos a seguir para llevar una carga desde el punto A al B, y debemos asegurarnos de que se sigue el más corto posible teniendo en cuenta siempre las normas de seguridad (como no portar cargas suspendidas por encima de puestos de trabajo). Por ejemplo se debe usar en la rotación el sentido que presente un ángulo menor desde el punto de carga al de descarga.
- **MUDA DETECTADA Nº 7. Movimientos innecesarios.**

La generación de estos despilfarros afecta fundamentalmente al ritmo de producción por lo que para analizar su corrección sería necesario realizar el mapa de cadena de valor de cada unidad productiva. Un caso en el que es conveniente analizar los movimientos de los equipos de obra es el reflejado en el siguiente esquema: se trata de la planificación de los movimientos de los medios de excavación en los trabajos de cimentación. Si no se realiza un análisis previo que sincronice los movimientos y el orden de actuación de los equipos implicados, estos pueden quedar aislados y necesitar de equipos externos para completar los trabajos, incrementándose el coste y el tiempo empleado.

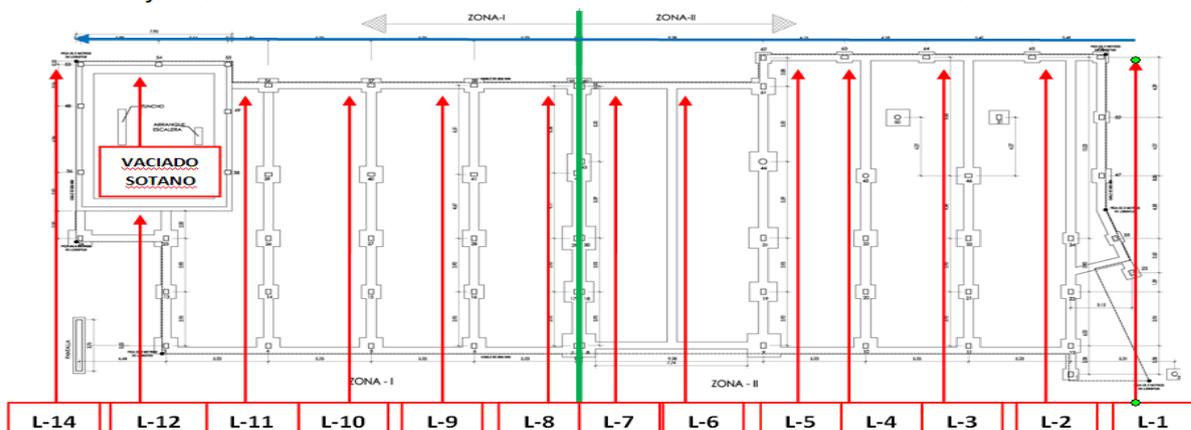


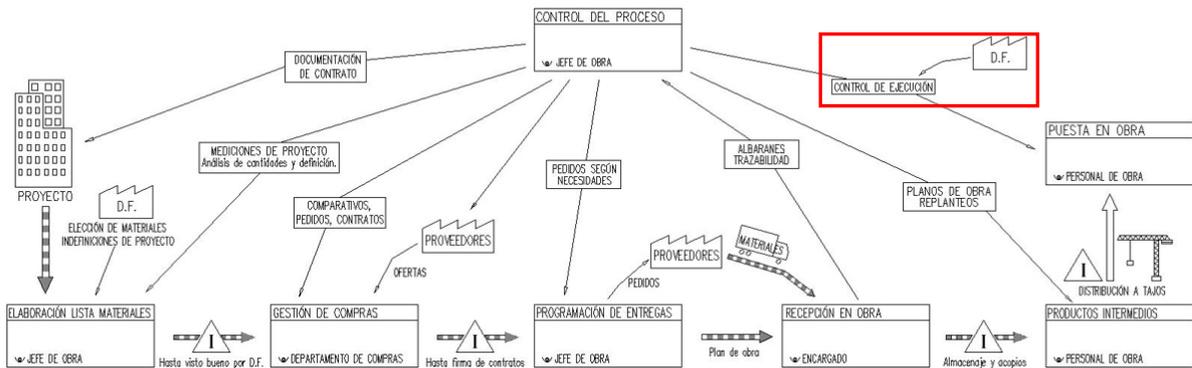
Figura 20. Diagramas de movimientos en excavación de cimentación. Fuente: Elaboración propia.

- **SOLUCIÓN PROPUESTA 7.** La solución en este caso pasa por establecer el orden de los movimientos a realizar estudiando las condiciones tanto del solar como de los equipos: radios de giro, dimensiones, capacidades, etc. Con esta planificación previa se busca optimizar los movimientos internos, evitando que los equipos queden aislados entre elementos ya excavados y mejorar la accesibilidad a todos los puntos. De esta forma se puede evitar que para el hormigonado posterior se utilicen equipos de bombeo de hormigón, realizando el vertido directamente desde las cubas autopropulsadas. Por lo tanto el objetivo es definir el orden de trabajo que permita combinar la apertura de las zanjas con el vertido del hormigón directamente desde los equipos que lo transportan.

El posible ahorro generado depende de la solución concreta que se dé a cada caso en particular.

3.2.3.7. Defectos.

En el mapa trazado no se reflejan directamente los procesos asociados a estas operaciones pero en el conjunto de los trabajos en una obra de construcción, quizás sea la fuente de ineficiencias que representa un mayor coste. La reparación de los daños tiene varios componentes directos, todos con un coste asociado: los materiales, el tiempo de mano de obra y la energía necesarios hasta obtener los productos conforme a las tolerancias previstas. Aunque quizás sea más importante el coste indirecto ligado a esta muda, como puede ser la pérdida de imagen de la empresa que origine pérdida de clientes o ventas. El objetivo sería trabajar con la finalidad de cero defectos, estando en manos del equipo que está realizando los trabajos el primer punto de control de calidad de los mismos. Si se es conocedor de la presencia de un error no se debería dejar pasar ni en el tiempo ni en el espacio, ya que cuanto antes se rectifique menor será su coste de reparación.



En el mapa de cadena de valor el proceso que detecta la presencia de errores es tanto interno, por parte del equipo de obra, como externo, llevado a cabo por la dirección facultativa. La herramienta a utilizar para minimizar la presencia de defectos es Jidoka cuya implantación será analizada en los puntos 3.7. y 5.1.2.

3.2.3.8. Conclusiones.

Con el análisis del mapa de cadena de valor trazado se han detectado una serie de mudas agrupadas conforme a los siete tipos de desperdicios. Se ha propuesto una serie de actuaciones para tratar de minimizar su impacto, habiendo utilizado para ello tanto herramientas Lean como soluciones convencionales con el objetivo de reducir su impacto en el proceso productivo. Estas soluciones se reflejan en el punto siguiente en el mapa de cadena de valor del estado futuro propuesto.

A continuación se incluye una tabla a modo de **resumen** de las mudas detectadas y las soluciones propuestas, incluyendo la herramienta a la que podría asociarse la acción correctiva:

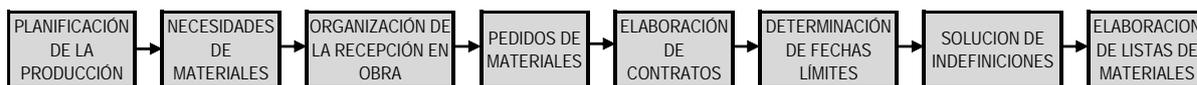
| TIPO DE MUDA | MUDA | PROPUESTA | HERRAMIENTA |
|-------------------|---|--|---------------------------|
| SOBREPRODUCCIÓN | Fabricación de productos intermedios mayor que la necesaria | Uso de tarjetas para comunicar las necesidades. | Kanban. |
| TIEMPOS DE ESPERA | Esperas debidas a indefiniciones de proyecto | Planificación, calendario de solución de indefiniciones. | MRP. JIT, flujo continuo. |
| | Esperas debidas a la tramitación de los contratos | Planificación, calendario de fechas límites de pedido. | MRP. JIT, flujo continuo. |
| | Esperas en la distribución de los materiales a los tajos | Optimización del uso de los medios de manutención. | Kanban, TPM |
| TRANSPORTE | Sobreocupación de los medios de manutención. | Optimización de las rutas internas de distribución. | Espagueti flow. |
| INVENTARIO | Almacenes intermedios innecesarios. | Suministro directo al punto de consumo. | JIT. |
| | | Fabricación de productos externa al lugar de trabajo | JIT, SMED. |
| MOVIMIENTOS | Movimientos innecesarios de los equipos. | Planificación de los movimientos de los equipos productivos. | Estandarización. |
| DEFECTOS | Presencia de defectos que obliga a trabajos postventa. | Reparación de los defectos en el momento que se detectan. | Jidoka. |

Tabla 7. Cuadro resumen de las actuaciones sobre las mudas identificadas. Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Trazado del mapa de cadena de valor del estado futuro propuesto.

Una vez analizado el mapa del estado actual, en el que se ha estudiado la eliminación de los desperdicios identificados, se está en condiciones de trazar el mapa del estado futuro. En dicho mapa del estado futuro se refleja la nueva sucesión de actividades propuesta con el objetivo de reducir las ineficiencias detectadas. El objetivo principal es que el flujo sea Pull en lugar de Push, es decir, que sean las necesidades de producción previstas las que activen el proceso. De esta forma se consigue reducir las esperas intermedias al evitar que sean las actividades iniciales las que empujen al resto. En resumen, los cambios analizados con las soluciones propuestas en los puntos anteriores se reflejan de la siguiente forma en el mapa:

- La elección de materiales y la solución de indefiniciones debe identificarse en las fases iniciales del proceso. De esta forma se pueden planificar con más precisión, teniendo definidas las fechas límites para su definición por lo que se eliminan las esperas entre procesos. Las acciones previstas son el estudio inicial del proyecto obteniendo un calendario de fechas límites para la toma de decisiones y la inclusión de actividades de gestión junto a las de ejecución en la programación.
- Durante el análisis de las necesidades de materiales se puede realizar las consultas de disponibilidad y precios a los proveedores. Con esto se consigue conocer los requerimientos específicos de antemano reflejando los tiempos reales de suministro en la planificación de suministros. Con las ofertas recibidas se puede anticipar la elaboración de la documentación administrativa de compras, vinculando la elaboración de las listas de materiales con su gestión contractual.
- Los materiales acopiados serán los estrictamente necesarios, recurriendo siempre que sea posible al suministro directo a tajos o zonas anexas de acopios en proximidad. Se evitan así las rupturas de cargas y los movimientos innecesarios de materiales. Con esta acción se reduce el tiempo de utilización de los medios de mantenimiento pero por el contrario es necesario planificar con mayor detalle las entregas. En este aspecto se tratará de buscar un punto de equilibrio, recurriendo a los inventarios de seguridad de forma que se garantice la continuidad de los trabajos.
- Se analizan los recorridos internos de suministros a los tajos, de forma que se optimiza el tiempo de utilización de los medios de mantenimiento y el personal asignado. De esta forma se reduce la ocupación de dichos medios, lo que puede redundar una reducción de las esperas en las tareas de suministro a los puntos de producción. No obstante en este apartado hay que destacar que previamente se habrá realizado un análisis previo de las necesidades de los medios de mantenimiento, de forma que se cuente en obra con los equipos necesarios para la demanda prevista. No conviene escatimar y ajustar en este aspecto ya que puede influir de forma importante en la productividad.
- Se pueden implantar sistemas con tarjetas kanban sencillos, de forma que la producción de productos intermedios se ajuste a las necesidades reales. Lo ideal sería que el sistema se autogestionase, para lo que es necesario que haya una comunicación clara entre puntos de fabricación y puntos de consumo.
- La elaboración de productos intermedios y la preparación de materiales para su puesta en obra está claramente definida en las necesidades de producción, de hecho es la planificación de la producción la que pone en marcha el proceso tirando de las acciones precedentes. El esquema del proceso "Push" resultante es el siguiente, en el se reflejan como unas actividades tiran de las precedentes:



Es decir, que para cumplir con la planificación de la producción prevista es necesario haber programado y realizado unas tareas previas que garanticen el cumplimiento de dicha programación. Para ello es necesario realizar las tareas de gestión con una perspectiva bidireccional siendo conscientes que las tareas iniciales de gestión condicionan en gran medida el desarrollo de la ejecución de los trabajos y por tanto el cumplimiento de los plazos.

- Inclusión de elementos de gestión informatizados tipo ERP que comuniquen las necesidades entre departamentos, de forma que se automaticen el mayor número posible de los procesos de gestión. De esta forma actuamos sobre el flujo de la información asociada al proceso productivo.

MAPA DE LA CADENA DE VALOR DE LA GESTIÓN LOGÍSTICA EN OBRAS DE EDIFICACIÓN. ESTADO FUTURO.

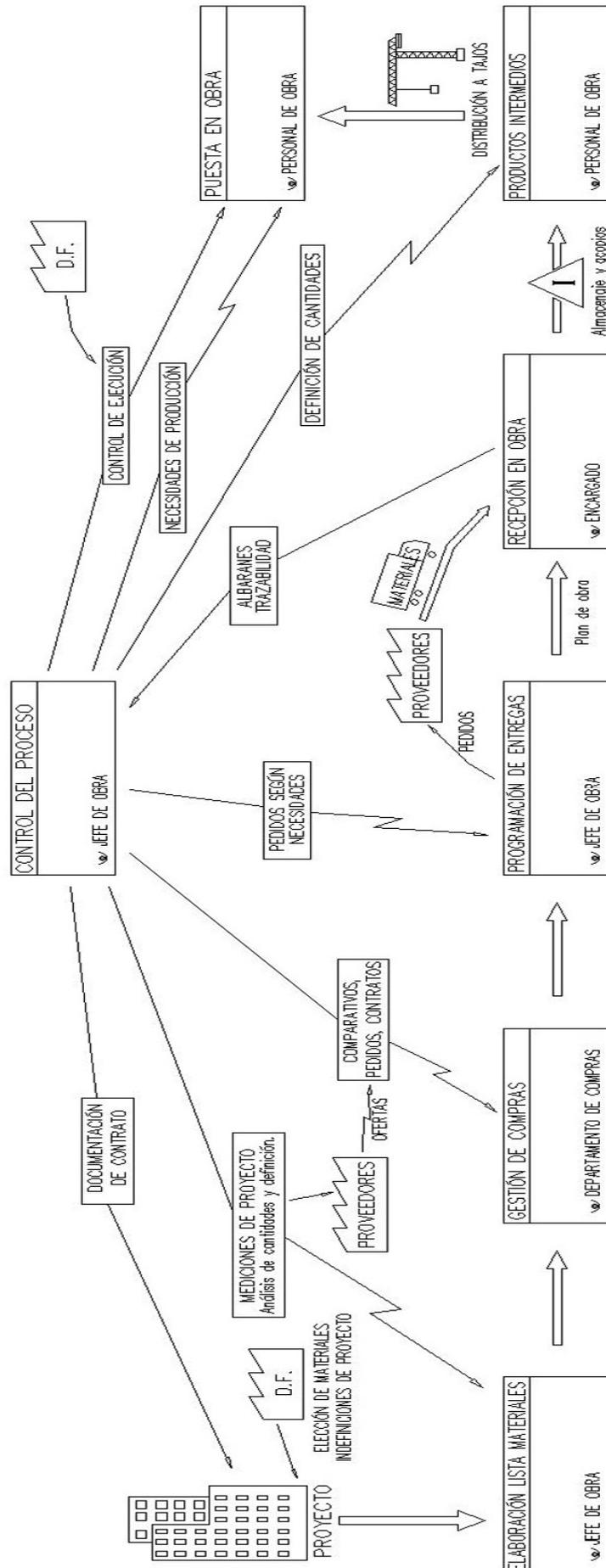


Figura 21. Mapa de cadena de valor, estado futuro propuesto. Fuente: Elaboración propia.

3.3. 5 S's.

El método de las 5 S's es una técnica de trabajo ligada a la filosofía de calidad total. Tuvo su origen en Japón, bajo la supervisión de W. E. Deming hace más de 40 años, y está incluida dentro de los métodos de mejora continua o "Gemba Kaizen".

Este método surgió después de la II Guerra Mundial, sugerida por la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros como parte de un movimiento de mejora de la calidad. Su objetivo principal era eliminar los obstáculos que impidiesen una producción eficiente, lo que trajo también asociado una mejora sustantiva de la higiene y seguridad durante los procesos productivos. Su rango de aplicación puede abarcar todos los ámbitos de trabajo de una organización, desde un puesto ubicado en una línea de montaje hasta un puesto administrativo.

Consiste en un método de gestión que busca crear entornos que permitan maximizar los recursos, el tiempo y la productividad dentro de las organizaciones. Es decir, son herramientas de calidad que permiten implementar y establecer procedimientos para desarrollar un ambiente de trabajo agradable y eficiente, en un clima de seguridad, orden y limpieza, que facilite la realización de las actividades diarias.

Se llama estrategia de las 5 S's porque representa acciones que son principios expresados con cinco palabras japonesas que comienzan por S. Cada palabra tiene un significado importante para la creación de un lugar digno y seguro donde trabajar. Estas cinco palabras son:

- | | | |
|------------|----------------|---|
| • SEIRI | SEPARAR | Distinguir entre lo que es necesario y lo que no lo es. |
| • SEITON | ORGANIZAR | Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar. |
| • SEISO | LIMPIAR | No limpiar más, si no evitar que se ensucie. |
| • SEIKETSU | ESTANDARIZAR | Mantener lo conseguido. |
| • SHITSUKE | AUTODISCIPLINA | Convertir en hábito el uso de los métodos establecidos. |



Figura 22. Esquema explicativo 5S's. Fuente: Internet.

Su vinculación con las técnicas Lean se deben principalmente, entre otros aspectos, a la aportación de un mejor control visual del entorno de trabajo. Se trata de un método para conseguir áreas de trabajo organizadas sobre las que se pueda establecer un sistema de gestión visual, característica fundamental de los sistemas Lean. A partir de esta base, se colocan una serie de elementos visuales (paneles, Kanban, etc.), que permiten al equipo autogestionarse. Entre otros, los principales objetivos a alcanzar con la implantación de esta herramienta o técnica de trabajo son los siguientes:

- Eliminar desperdicios.
- Reducción en las pérdidas de materiales en los procesos.
- Mejorar la calidad, seguridad y productividad laboral, es decir, contribuye a evitar accidentes.
- Optimizar espacios.
- Desarrollar la creatividad y la autoestima de los empleados.
- Permite dar tiempos de respuesta más cortos
- Contribuye a aumentar la vida útil de los equipos
- Genera cultura organizacional
- Acerca a la compañía a la implantación de modelos de calidad total y aseguramiento de la calidad.

En definitiva una empresa que aplique las 5'S: producirá con menos defectos, cumplirá mejor los plazos, será más segura, será más productiva, realizará mejor las labores de mantenimiento, será más motivante para el trabajador y aumentará sus niveles de crecimiento, entre otras ventajas.

A continuación se desarrolla en que consiste cada uno de estas actividades en dos sentidos: por un lado se ofrece la definición clásica aplicada al mundo industrial y por otro se plantea un ejemplo de aplicación en el ámbito del sector de la construcción.

3.3.1. Separar.

Es un proceso de clasificación en el que se establece cuales son los recursos y elementos realmente necesarios para el desarrollo de las tareas y cuales no lo son. El objetivo es contar con un área de trabajo donde únicamente estén los artículos y herramientas necesarios. La aplicación de estas acciones preparan los lugares de trabajo para que estos sean más seguros y productivos. El primer y más directo impacto del Seiri está relacionado con la seguridad ya que la acumulación de materiales y equipos innecesarios puede hacer que el área de trabajo presente riesgos. Por ejemplo ante la presencia de elementos innecesarios se impide la visión completa de las áreas de trabajo, se dificulta la observación del funcionamiento de los equipos y máquinas, e incluso las salidas de emergencia pueden estar obstaculizadas. La práctica de las acciones de este apartado, además de los beneficios en seguridad, permite:

- Liberar espacio útil en planta y oficinas
- Reducir los tiempos de acceso al material, documentos, herramientas y otros elementos de trabajo.
- Mejorar el control visual de stocks de repuestos y elementos de producción, carpetas con información, planos, etc.
- Eliminar las pérdidas de productos o elementos que se deterioran por permanecer expuestos largo tiempo en un ambiente no adecuado para ellos; por ejemplo, material de embalaje, etiquetas, envases plásticos, cajas de cartón y otros.
- Facilitar el control visual de las materias primas que se van agotando y que son necesarias para un proceso en un turno, etc.
- Preparar las áreas de trabajo para el desarrollo de acciones de mantenimiento autónomo, ya que se puede apreciar con facilidad los escapes, fugas y contaminaciones existentes en los equipos y que frecuentemente quedan ocultas por los elementos innecesarios que se encuentran cerca de los equipos.

EJEMPLOS DE APLICACIÓN. Se trata de acciones genéricas que pueden aplicarse a cualquier campo productivo. Un ejemplo particular de aplicación de estas acciones en el ámbito de la construcción podría ser la clasificación de los elementos presentes en los almacenes provisionales de obra. Suele ser habitual que un equipo de obra cuente con instalaciones provisionales tipo contenedores o casetas que se utilizan de forma continua pasando de obra a obra. En estos almacenes se llega a acumular gran cantidad de equipos y materiales que en muchos casos no se utilizan nunca.

Las acciones de esta fase aplicada a estos almacenes consistirían en clasificar aquellos elementos que se utilizan de forma habitual separándolos de aquellos que no se utilizan y que se arrastran desde hace tiempo y que proceden de otras obras anteriores. A su vez de este segundo grupo puede dividirse entre lo que puede ser usado ocasionalmente y lo que se prevé que no va a usarse. Los elementos incluidos en este último grupo pueden llevarse a otro tipo de almacenes de la empresa de forma que se evite la ocupación innecesaria de un espacio reducido, además de los gastos que ocasiona el transporte. Otra opción también serían las acciones de reciclado o valorización de estos materiales.



Figura 23. Fotografía aspecto exterior obra. Fuente: Elaboración propia.

Otro ejemplo puede verse en la figura 23, donde se refleja el aspecto exterior que presenta una obra donde tendría especial sentido aplicar la acción *separar*. Aparecen mezclados elementos de distinta procedencia y uso, algunos de ellos de fases de obra ya finalizadas y que no van a ser utilizados nuevamente. En este caso sería necesario separar los elementos que se van a seguir utilizando, como acopios y medios auxiliares, de los que ya no se van a utilizar, como restos de materiales de tareas concluidas o elementos de embalaje retornables. Los restos de materiales pueden ser devueltos al proveedor, llevados a otras obras de la empresa o almacenados en un lugar apropiado en previsión de su uso en el futuro. De igual forma se puede proceder a la retirada de los escombros y a la devolución de los elementos de embalaje retornables.

Solo con la acción de separar lo válido de lo que no lo es, el aspecto exterior ganaría bastante, evitándose una apariencia como la que se muestra en la imagen. Otro aspecto que también mejoraría sería el de la seguridad en la obra, ya que al reducir la presencia de elementos innecesarios se dispone de un mayor espacio para los movimientos de los equipos y de los trabajadores. Además habría que tener en cuenta el factor económico ya que podría recuperarse parte de la inversión realizada en materiales, reducir el alquiler de equipos innecesarios y realizar una posible valorización de los residuos.

3.3.2. Organizar.

Una vez que se ha despejado el área de trabajo de todo lo innecesario, solo quedan aquellos elementos que se deben guardar por lo que en esta fase se procede a su organización. Consiste por tanto en colocar cada objeto en el lugar que le corresponda, manteniendo esa ubicación para que esté listo en el momento que se necesite. La implantación de estas acciones permite:

- Disponer de un sitio adecuado para cada elemento utilizado en el desarrollo de las tareas habituales para facilitar su acceso y retorno al lugar.
- Disponer de sitios identificados para ubicar elementos que se emplean con poca frecuencia.

- Disponer de lugares para ubicar el material o elementos que no se usarán en el futuro.
- En el caso de maquinaria, facilitar la identificación visual de los elementos de los equipos, sistemas de seguridad, alarmas, controles, sentidos de giro, etc.
- Lograr que el equipo tenga protecciones visuales para facilitar su inspección autónoma y control de limpieza.
- Identificar y marcar todos los sistemas auxiliares de las instalaciones donde se desarrollan los trabajos como tuberías, aire comprimido, combustibles.
- Incrementar el conocimiento de los equipos por parte de los operadores de producción.

EJEMPLOS DE APLICACIÓN. La práctica de las acciones de organización pretende ubicar los elementos necesarios en sitios donde se puedan encontrar fácilmente para su uso y nuevamente devolverlos al sitio correspondiente. Las metodologías utilizadas facilitan su codificación, identificación y marcación de áreas para facilitar su conservación en un mismo sitio durante el tiempo y en perfectas condiciones. Estas técnicas también se pueden aplicar en trabajos administrativos y tienen como propósito facilitar el archivo y la búsqueda de documentos, mejorar el control visual de las carpetas y la eliminación de la pérdida de tiempo de acceso a la información. Hasta el orden en el disco duro de un ordenador se puede mejorar si se aplican los conceptos Seiton al manejo de archivos.

Continuando con el ejemplo de aplicación al ámbito de la construcción del caso anterior las actividades de este apartado consistirían en la organización de las casetas separando en zonas diferenciadas los equipos y materiales de uso habitual de aquellos que son procedentes de otras obras que no tienen uso de forma frecuente. La distribución se puede hacer diferenciando usos por casetas o habilitando zonas diferenciadas dentro de ellas. De esta forma se consigue un acceso más rápido y directo a los elementos de uso habitual, siendo también posible su identificación de forma visual. Se pueden habilitar estanterías sencillas hechas con los materiales disponibles en la obra (madera, elementos metálicos, etc.) sobre las que se defina la posición de cada grupo de elementos, utilizando para ello carteles o etiquetas. No es necesario que la rotulación tenga una gran calidad, el objetivo es asignar una posición fija de forma que sea conocida por todos los usuarios de los almacenes.



Figura 24. Fotografía zona acopios de una obra. Fuente: Elaboración propia.

Otro posible caso donde desarrollar esta técnica se muestra en la figura 24, donde aparece una imagen de lo que podría ser el resultado de la aplicación de las acciones separar y organizar. Dentro de las limitaciones propias de las obras, como son los espacios abiertos y el tipo de materiales empleados, se pueden disponer zonas específicas para cada elemento diferente, de forma que sean fácilmente accesibles. Las zonas delimitadas se pueden marcar con algún tipo de rotulación que ayude a identificar los distintos usos. Aunque debido al carácter cambiante y dinámico del desarrollo de los trabajos será necesario cambiar de uso a algunas de las zonas asignadas según las fases de obra y el avance del proyecto.

3.3.3. Limpiar.

Después de despejar y ordenar el área de trabajo el siguiente paso consiste en limpiar dicha zona. Por limpiar entendemos mantener en óptimas condiciones de uso tanto las máquinas, equipos y herramientas como los espacios físicos donde se realizan los trabajos y las zonas previstas de acopios y almacenamiento. Su desarrollo implica dos actividades: por un lado mantener los equipos ordenados y limpios y por otro identificar las fuentes de suciedad y desorden para realizar acciones que las eliminen.

Para implantar con éxito estas actividades hay que conseguir integrar la limpieza como parte del trabajo diarios, así como asumir la limpieza como una actividad de mantenimiento. Por tanto hay que tener en cuenta que el éxito depende de la actitud del personal. Los beneficios que se consiguen con estas acciones son los siguientes:

- Reduce el riesgo potencial de que se produzcan accidentes.
- Mejora el bienestar físico y mental del trabajador.
- Se incrementa la vida útil del equipo al evitar su deterioro por contaminación y suciedad.
- Las averías se pueden identificar mejor cuando el equipo se encuentra en estado óptimo de limpieza
- La limpieza conduce a un aumento significativo de la Efectividad Global del Equipo.
- Se reducen los despilfarros de materiales y energía debido a la eliminación de fugas y escapes.

EJEMPLOS DE APLICACIÓN. En el caso de obras de construcción este aspecto puede ser más difícil de llevar a cabo debido a que la mayoría de los procesos y materiales empleados generan gran cantidad de suciedad y además los puestos de trabajos no son estáticos. En el ejemplo de los almacenes que se está desarrollando las acciones de esta apartado consistirían en la limpieza programada de las casetas, evitando en aquellas de uso habitual la acumulación de suciedad. Esta tarea de limpieza debe ser algo programado y continuo integrado en los trabajos diarios del personal, no acciones puntuales a realizar cuando se considere que las instalaciones están sucias.

Otro ejemplo, en este caso de la eliminación de las fuentes de suciedad puede ser la limpieza del silo de mortero seco. Dicho mortero necesita el aporte de agua para obtener el producto final y suele ser habitual la presencia de fugas en las mangueras por lo que se generan zonas embarradas. Una acción en esta fase sería complementar la limpieza habitual de la zona de trabajo con la reparación de las fugas de agua. De esta forma será más fácil mantener limpio el entorno donde se ubica el silo y se evitará al mismo tiempo la transferencia de suciedad y barro a otras zonas de la obra.



Figura 25. Fotografía interior obra, antes y después de limpiar. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 25 se puede ver la diferencia de la aplicación de las tres primeras acciones, incluida limpiar, en la inicio de la fase de albañilería. Con la zona de trabajo limpia y despejada de elementos innecesarios, y con una organización ajustada a las necesidades, los trabajos de las fases siguientes se pueden desarrollar en mejores condiciones. En este caso el replanteo de la tabiquería que puede hacerse sin ningún tipo de impedimento. También mejoran las condiciones de seguridad e incluso podrían generarse algunos ingresos por la valorización de restos de materiales tipo chatarra. La imagen que se da de la obra frente a clientes y dirección facultativa cambia totalmente, mejorando la percepción incluso de la imagen de la empresa.

3.3.4. Estandarizar.

Tras implantar las fases anteriores, en este apartado las actividades están encaminadas a mantener lo conseguido hasta ahora. Por este motivo se busca la estandarización mediante normas que mantengan la situación alcanzada con las tres primeras fases. Es decir sus objetivos son enseñar a los operarios a aplicar las normas con el apoyo de la dirección y la formación adecuada y también la sistematización de formas de actuación verificables. Los beneficios que pueden obtenerse son los siguientes:

- Se guarda el conocimiento producido durante años de trabajo.
- Se mejora el bienestar del personal al crear un hábito de conservar impecable el sitio de trabajo de forma permanente.
- Los operarios aprenden a conocer en profundidad el equipo.
- Se evitan errores en la limpieza que puedan conducir a accidentes o riesgos laborales innecesarios.
- La dirección se compromete más en el mantenimiento de las áreas de trabajo al intervenir en la aprobación y promoción de los estándares
- Se prepara el personal para asumir mayores responsabilidades en la gestión del puesto de trabajo.
- Los tiempos de intervención se mejoran y se incrementa la productividad de la planta.

EJEMPLOS DE APLICACIÓN. En los ejemplos de aplicación en el sector de la construcción que se están desarrollando, en este apartado las acciones irían encaminadas a la asignación de tareas y responsabilidades. Para mantener las condiciones de las tres primeras acciones, cada operario debe conocer exactamente cuáles son sus responsabilidades sobre lo que tiene que hacer, cuándo y cómo. Si no se asignan a los trabajadores tareas claras relacionadas con sus lugares de trabajo será difícil que se afiancen los pasos dados hasta este momento. Para ello se pueden elaborar fichas sencillas con el listado de tareas a hacer por cada operario en cada puesto de trabajo. Por ejemplo en el caso del silo de mortero comentado anteriormente, se puede colocar una ficha en un lugar visible con las tareas a realizar cada día por el personal encargado de su utilización. De esta forma se recuerdan los pasos a seguir y quien es el encargado de realizarlo. En el caso de puestos de trabajo dinámicos, es necesaria la formación de los trabajadores. Se pueden complementar las acciones de formación e información que reciben los operarios respecto a los riesgos laborales y las particularidades de sus puestos. En este sentido también se pueden incluir los puntos a llevar a cabo relacionados con las tres acciones previas.

El Lean Six Sigma Institute en este sentido propone elegir a aquellos trabajadores que destaquen en este tipo de tareas como ejemplo para liderar las actuaciones siguientes. También incluye en sus recomendaciones reflejar el cumplimiento de estas tareas en paneles de inspección, donde se indican diariamente los resultados de la verificación de las actuaciones. De esta forma los resultados son visibles por conjunto de los trabajadores, e incluso puede servir como referencia para el reparto de incentivos.



Figura 26. Fotografía exterior obra en fase de estructura. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de obras que consistan en la repetición de un determinado módulo, por ejemplo viviendas unifamiliares, las acciones realizadas en las tres primeras acciones se pueden estandarizar fácilmente para el transcurso de los trabajos. En la figura 26 puede verse las acciones llevadas a cabo en un módulo que va a repetirse varias veces, donde se han aplicado las acciones de separar (ya que solo está presente aquello que va a ser necesario), organizar (en este caso ubicando los materiales que van a ser necesarios y con la colocación de las medidas de seguridad) y limpiar (dejando la superficie de trabajo lista para la siguiente fase). Estas tareas pueden estandarizarse para llevarse a cabo de forma progresiva en los módulos sucesivos que se vayan construyendo.

3.3.5. Autodisciplina.

En esta fase se busca convertir en hábito el empleo y utilización de los métodos establecidos. Está basada en el cumplimiento de los compromisos contraídos por cada uno de los miembros del equipo. El principio básico es el respeto a uno mismo ya que se considera que si una persona no es capaz de acatar una resolución de la cual tomó parte activa, carece de los principios necesarios para trabajar en un equipo.

Esta fase es muy importante en la implantación de las 5 S's porque sin ella, los resultados conseguidos con las cuatro primeras acciones se deterioran rápidamente. Para llevar a cabo su desarrollo es necesario realizar algunas actividades previas como preparar y concienciar el entorno, diferenciar las actividades urgentes de las importantes, propiciar un cambio de mentalidad y cultural en la organización y utilizar el sentido común en la implantación. Los objetivos que se consiguen son:

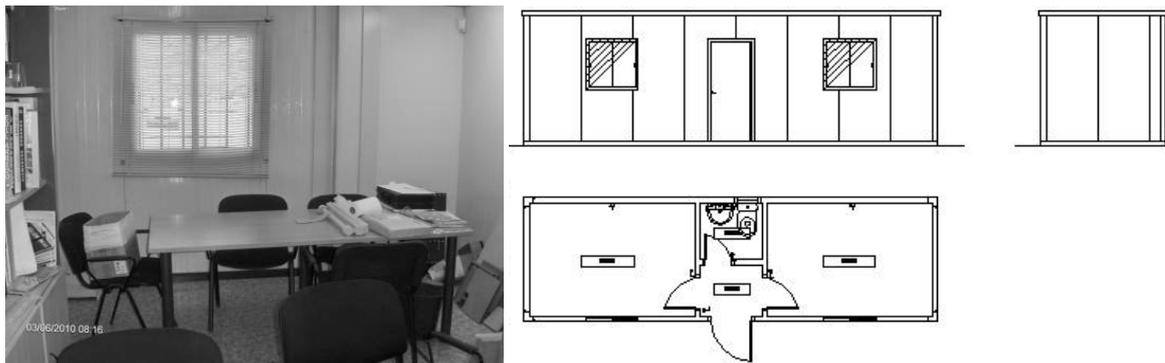
- Se crea una cultura de sensibilidad, respeto y cuidado de los recursos de la empresa.
- Se siguen los estándares establecidos y existe una mayor sensibilización y respeto entre personas.
- Se incrementa la moral en el trabajo.
- El cliente se sentirá más satisfecho ya que los niveles de calidad serán superiores debido a que se han respetado íntegramente los procedimientos y normas establecidas.

EJEMPLOS DE APLICACIÓN. La mejor forma de asegurar el cumplimiento de las actuaciones necesarias en este campo es incluir los procedimientos y acciones en los manuales incluidos en el sistema de gestión de calidad de la empresa. De esta forma están recogidos todos los pasos a dar, incluyéndolos en las obligaciones de los distintos puestos. Esto convierte a estas actuaciones en auditables por una entidad externa e independiente, por lo que su cumplimiento se interioriza como una tarea más a realizar.

Otra acción que se puede realizar en este sentido es la inclusión de las tareas en el plan de seguridad de la obra ya que estas actuaciones, como se ha comentado anteriormente, están en línea con las recogidas en dicho plan. En este caso la autodisciplina puede verse reforzada al ser un agente externo, el coordinador de seguridad, el que controle su correcto seguimiento.

3.3.6. Propuesta práctica de aplicación.

A continuación se va a desarrollar un ejemplo de aplicación de las 5S's en uno de los lugares específicos presentes en las obras de construcción. Se trata de las oficinas de obra, que aunque no es un lugar relacionado con las tareas directas de producción, la aplicación de las 5S's puede aportar grandes ventajas. Se trata del lugar donde se desarrollan las reuniones de obra la con dirección facultativa, proveedores y clientes, por lo que puede dar una primera impresión tanto de la imagen de la empresa como de la forma en la que se desarrollan los trabajos. Por ejemplo en la figura 23 se muestra una imagen de un despacho que podría no ser la más adecuada ya que presenta un aspecto desorganizado. Estas oficinas suelen estar formadas por módulos prefabricados con distintas configuraciones, siendo la más habitual para obras de tamaño medio, la utilización de un módulo de 8m de longitud por 2,4m de anchura. Esta superficie puede contener, un despacho, un baño y una sala de reuniones.



Figuras 27 y 28. Imagen despacho y planos de módulo prefabricado oficinas de obra. Fuente: Gesticor.

- **SEPARAR.** Consiste en la eliminación de todo aquello que no se utiliza en el proceso productivo del lugar de trabajo. Por lo tanto, será necesario hacer una clasificación de todos los elementos contenidos en los despachos, separando los que se están utilizando de aquellos que provienen de proyectos anteriores y que ya no se utilizan. Suele ser habitual la presencia de archivadores con documentación, materiales de muestras y planos de obras anteriores que se llevan junto con las casetas y que no son necesarios para el desarrollo de los trabajos. En este sentido incluso podría plantearse la alternativa de trabajar sin papeles, utilizando todos los documentos que sea posible en soporte informático.

Una vez clasificados, los elementos que no se utilicen se llevarán a los almacenes de la empresa si es necesario conservarlos y aquellos que no lo sean se eliminarán. Mientras que los que se ha decidido mantener, se separarán en función de su importancia.

- **ORGANIZAR.** En esta etapa, los objetos seleccionados anteriormente deben disponerse de manera que sean fácilmente identificables para su uso y archivo. La disposición y organización debe permitir una mayor fluidez y linealidad en las actividades productivas, en este caso las tareas de gestión. No debe perderse tiempo buscando un determinado documento si tiene establecida su posición convenientemente.

El primer paso es decidir una posición adecuada para los objetos y documentos. Los principios de movimientos puede ser de ayuda para decidir la ubicación, de esta manera se colocarán más cercanos los de uso más habitual, evitando movimientos innecesarios. El siguiente paso es identificar su ubicación, para ello se pueden utilizar pequeños carteles con códigos de colores en los archivadores y estanterías. Por ejemplo carpetas de un color determinado para las facturas recibidas, otro para las certificaciones de obra, etc. También se puede disponer un panel claramente visible con la documentación de seguridad e higiene, como licencia de obra, apertura de centro de trabajo, información sobre la mutua, etc. De esta forma es fácilmente visible por todo el personal y por las personas que ejerzan el control sobre esos aspectos, como el coordinador de seguridad o la inspección de trabajo. Lo mismo puede hacerse con los planos de obra más importantes, si se colocan en paneles sobre las paredes, se facilita la consulta rápida en las reuniones ya que se tiene localizado en un golpe de vista sin tener que recurrir a la búsqueda en carpetas.

En la gestión de las muestras de materiales para su elección por parte de la dirección facultativa, se debe evitar almacenar materiales innecesarios así como disponerlos de forma ordenada. En este sentido incluso se pueden colocar de manera que resulten más atractivos los que más favorezcan los intereses de la empresa. Para ello se puede habilitar una zona específica, como una estantería o mueble, que permita la revisión de estas muestras de forma sencilla, evitando que estén repartidos por toda la caseta.

- **LIMPIAR.** Una vez ya están los elementos necesarios en su posición determinada el siguiente paso consiste en limpiar las estancias del módulo. De esta forma los elementos están siempre listos y disponibles para su uso en las mejores condiciones. Dedicando una pequeña porción de tiempo al día se pueden eliminar todos aquellos documentos que se generan y no sean necesarios de forma que se evite que se acumulen, tratando de dejar la caseta en el mismo estado que se ha decidido tras las dos acciones anteriores.

Esta acción es independiente de la presencia de un servicio de limpieza, ya que lo que aquí se busca es la limpieza en un sentido más amplio. Entendiendo como tal la eliminación diaria de todo aquello que no es necesario para el desempeño de los trabajos, como se decidió en la primera acción. Además, no solo consiste en limpiar, sino en realizar acciones que eviten que se ensucien identificando las fuentes de suciedad. Por ejemplo, para evitar manchar con barro procedente de la obra las casetas se puede disponer una rejilla o felpudo en el exterior, indicando con un cartel la necesidad de su uso. También se debe evitar dejar las ventanas abiertas en los momentos de trabajos que generen polvo, de esta forma se ataca la fuente que genera la suciedad.

- **ESTANDARIZAR.** Esta acción viene a ser el resultado directo de la correcta aplicación de las tres primeras actividades. El principal objetivo de la estandarización es evitar la falta de aplicación de los tres procesos iniciales con el fin de convertirlos en un hábito diario, y así garantizar que se mantienen y se mejoran con el tiempo.

En obras de tamaño medio no son muchas las personas que utilicen estas instalaciones, estando limitadas al encargado, el administrativo de obra y el jefe de obra. Por lo tanto en esta acción no parece necesario realizar procedimientos de actuación muy elaborados, puede servir con un listado de las actuaciones a realizar junto con un plano con la distribución de los distintos elementos. Una acción sencilla puede ser realizar una foto de las instalaciones tras haber aplicado las tres primeras acciones, de manera que se refleje el estado ideal en el que deberían estar. Si colocamos esta foto en uno de los paneles que se han dispuesto, se tiene un recordatorio de forma permanente del objetivo que hay que alcanzar.

- **AUTODISCIPLINA.** Las tareas en esta fase consisten en asegurarse de que los procedimientos puestos en práctica se mantienen en el tiempo. No importa lo bien que se han aplicado los primeros cuatro procedimientos, el sistema no puede funcionar por mucho tiempo a menos que se dedique tiempo a su mantenimiento.

A diferencia de los primeros cuatro procedimientos, esto no puede ser aplicado de acuerdo a los detalles técnicos, ni se puede medir, no es posible que todos los empleados, o la propia empresa, creen las condiciones óptimas para fomentar la aplicación de las 5S. Para el mantenimiento de las 5S es muy importante el propio compromiso de los empleados. Tiene por tanto dos componentes, el externo en el que la empresa debe crear el ambiente necesario para el mantenimiento de las acciones y el interno o propio de cada trabajador que debe estar convencido de la necesidad de este mantenimiento de las acciones emprendidas.

Con unas instalaciones limpias y ordenadas, donde todo está a mano y localizado se dará una buena imagen de empresa a nuestros proveedores, clientes así como a la dirección de obra. Una empresa que se preocupa de este tipo de detalles transmite un mensaje de gestión eficaz que puede revertir en un incremento de las ventas, o en conseguir la confianza de la dirección de obra.

Los beneficios de implantar esta medida son intangibles y por lo tanto difícilmente cuantificables pero entre los principales ventajas que pueden obtenerse estarían la obtención de una posición de ventaja en la negociación con los diversos agentes intervinientes, incrementar la productividad en las tareas de gestión o dar una imagen de empresa seria y responsable frente a la propiedad.

3.3.7. Conclusiones.

La puesta en marcha de estas acciones requiere un fuerte compromiso de todos los implicados, empezando por la dirección ya que supone un cambio muy importante en la forma de trabajo habitual. No obstante, su implantación puede ser muy beneficiosa en un sector como la construcción con tanta siniestralidad laboral y gran presencia de riesgos. De hecho las acciones que proponen las 5 S's están íntimamente relacionadas con el primer principio de las normas de seguridad y salud, es decir, **orden y limpieza**. Con esta herramienta lo que se consigue es procedimentar las acciones incluidas en el proceso y hacer de estos principios básicos una tarea habitual en el trabajo a todos los niveles, desde los puestos directos de obra hasta el trabajo administrativo.

Los beneficios a conseguir con su implantación durante la ejecución de una obra de edificación pueden ser considerables. No obstante hay que tener en cuenta que debido a las peculiaridades del sector es necesario adaptar las acciones a las características propias de este tipo de centros productivos en el que la mayor parte de los puestos de trabajo son dinámicos. Otro aspecto a tener en cuenta es la gran cantidad de personal subcontratado empleado en las obras por lo que será conveniente que sea el personal propio el que sirva de guía para el resto.

Las ventajas que puede acarrear a la empresa que consiga implantar estos principios son muy importantes, ya que afectan fundamentalmente a la imagen que da una obra en construcción al resto de los agentes intervinientes en el proyecto. En este sentido tanto la dirección facultativa como la propiedad en sus visitas periódicas se llevarán una sensación de trabajo bien hecho y organizado, repercutiendo por tanto positivamente en el concepto que tengan de la empresa. Por tanto, el coste de su implantación puede verse rápidamente amortizado por los beneficios que aporta, estos principalmente son la reducción de la siniestralidad laboral y la mejora de imagen de la empresa. Estos factores además pueden contribuir a la llegada de nuevos encargos a la empresa.

En el desarrollo de una metodología Lean surge la duda de cual es la primera herramienta a implantar, y puede surgir la duda entre aplicar las 5 S's o realizar el trazado de los mapas de cadena de valor. Esta pregunta se la han realizado diversos autores, como José Andrés Lopez de Fez en su blog sobre estrategias Lean, llegando todos ellos a la conclusión de que no hay que olvidar que el Lean Management es una estrategia de gestión, una forma de hacer las cosas que lleva a eliminar en todos y cada uno de los casos lo que no aporta valor. Así que parece adecuado que lo primero que haya que hacer es un VSM con un estado actual y otro futuro, para poder identificar mejor dónde están esas pérdidas de valor. Como parte del estado futuro, se puede proponer un área de trabajo funcionando en un entorno 5S's. Esto nos permitirá no perder el foco en lo importante: la eliminación del desperdicio. De lo contrario existe un elevado riesgo de quedarnos en un lavado de cara, sin entrar en las profundidades del proceso.

Las 5S son útiles porque producen resultados visibles de una forma razonablemente rápida, además de ser un pilar fundamental en la estrategia Lean. También es fácil venderlo como un éxito para que los reticentes de la organización se sumen al cambio y tiene una componente de marketing muy a tener en cuenta: es mucho más atractivo mostrar a nuestros clientes nuestros centros de trabajo, nuestras oficinas o nuestros almacenes cuando están gobernados por una política 5S porque el orden transmite rigor y calidad.

No obstante, lo difícil de las 5S es mantenerlas. Es muy frecuente pasar por sitios donde se desarrolló una acción 5S unos meses atrás, que quedaron entonces impecables, y que ahora están otra vez echados a perder. Eso pasa cuando nos quedamos con la herramienta, sin asumir lo que significa Lean y el resultado se ve como una acción aislada, fuera de contexto. Pero, por encima de todo, es fundamental tener un proceso estándar. Si no hay proceso, difícilmente podremos saber lo que hay que hacer, dónde estamos y adónde queremos ir.

3.4. Nivelación, Mejora Continua y Trabajo Estandarizado.

En un plano superior a las acciones básicas detalladas hasta ahora se ubican una serie de actuaciones como la estandarización de los procesos, la nivelación de la carga de trabajo o la mejora continua. Son acciones que se implantan tras la consolidación de las herramientas básicas y buscan ajustar la producción a las necesidades reales de la empresa. Es decir, son tareas que tienen como nexo común la actuación sobre la planificación de la producción tratando de que el proceso productivo se desempeñe de la forma más estable y uniforme posible. Considerando además los procesos de mejora continua que permitan la consolidación de las acciones adoptadas así como su perfeccionamiento. A continuación se va a desarrollar estos apartados.

3.4.1. Kaizen. Mejora continua.

El esfuerzo de reducción de pérdidas y aumento del valor en la gestión de los procesos tiene un carácter incremental, interno a la organización, que debe ser liderada por un responsable. Este principio está basado en el Kaizen, filosofía japonesa del mejoramiento continuo en general (no sólo de los procesos) sino de toda la cadena de valor. El camino que empieza con la creación de flujo y la reducción de los inventarios para que las ineficiencias salgan a la vista y continúa con el análisis de los problemas, termina con la implantación de las modificaciones en los procesos y con su estandarización. Estos últimos procesos no son el fin de la actividad sino el inicio de un nuevo ciclo que debe repetirse constantemente en busca de la excelencia. De esta forma se consigue que la organización se convierta en una organización que aprende y se perfecciona permanentemente. La mejora continua implica que cada uno de los aspectos del proceso de producción está sujeto a discusión y experimentación de posibles soluciones.

APLICACIÓN PRÁCTICA. En las empresas constructoras un buen apoyo para el desarrollo Kaizen pueden ser los sistemas de gestión ISO 9001 ya que tanto esta norma como la mejora continua tienen el mismo objetivo. No se puede mejorar lo que no se conoce y la ISO 9001 ofrece unos mapas bien definidos, al exigir tener una clara identificación y descripción de los procesos de la empresa. Por lo tanto, los procedimientos que se incluyen en los sistemas de gestión de calidad pueden ser la base sobre la que aplicar la mejora continua pero por sí mismos no contribuyen a alcanzar la mejora y la eliminación del desperdicio. Sobre estos procesos se pueden aplicar todas las herramientas y técnicas específicas de la mejora continua. El kaizen se logra a través de todas las acciones diarias, por pequeñas que éstas sean, que permiten que los procesos y la empresa sean más competitivas en la satisfacción del cliente. La velocidad del cambio dependerá del número de acciones de mejoramiento que se realicen día a día y de la efectividad con que éstas se realicen. El avance se consigue a partir de pequeñas y constates mejoras, que por lo tanto no debe suponer fuertes inversiones económicas.

Una buena medida en este sentido puede llevarse a cabo parte del equipo de obra, anotando y registrando todas aquellas acciones que se han realizado en el ámbito de la obra y que han representado mejoras en el desarrollo de los trabajos. De esta forma, la experiencia adquirida puede ponerse en común a todos los miembros de la organización, simplificando la búsqueda de soluciones e incorporándose a la forma en la que se desempeña los trabajos. El Project Management Institute se refiere a esta acción como Lecciones aprendidas, y es todo aquello que se aprende en el proceso de realización de un proyecto. Pueden identificarse en cualquier momento y debe ser registrado en la base del conocimiento del proyecto y de la organización. De entre todas las propuestas registradas en el conjunto de obras de la empresa se elegirán para su inclusión en los procedimientos aquellas que se consideren adecuadas y que sean más sencillas estandarizar. De esta forma, las mejores prácticas se ponen a disposición del conjunto de la organización y entre todos los miembros de un equipo se puede avanzar en el ciclo continuo de la mejora.

Este proceso de aportación de ideas no debe estar limitado solo al equipo de gestión de obra, sino que debe ser abierto a todos los trabajadores. Mediante la instalación de buzones de sugerencias, habituales en otros sectores, pueden recogerse sus ideas respecto a sus puestos específicos. Incluso puede plantearse el establecimiento de incentivos para aquellas ideas que aporten mejoras en el desempeño de los trabajos. Es una forma de implicar a todos los miembros además de comprometerlos en la consecución de mejoras y por lo tanto en la reducción de los desperdicios o ineficiencias.

Es importante que el mejoramiento continuo sea una idea internalizada por completo en la conducta de todos los miembros de la organización, convirtiéndose en una filosofía de trabajo y de vida. Cuantificar el ahorro que puede producirse es difícil, ya que dependerá del resultado de cada propuesta. Aunque si que se garantiza la reducción de despilfarros que repercutirán en un aumento de la productividad.

3.4.2. Planificación de la producción.

La planificación de las necesidades de materiales está basada en la planificación de operaciones. En el contexto de la producción, podemos definir la planificación como la descripción de las cantidades a producir en cada uno de los períodos de tiempo, de forma que no se vulneren las limitaciones de capacidad de las instalaciones y que se disponga de suficientes productos para satisfacer la demanda de los mismos. En la producción en construcción, en la mayoría de los casos, la demanda está condicionada por el plazo de ejecución de los trabajos. Es decir, la cantidad a producir viene marcada tanto por los hitos parciales como los plazos finales, por lo que la planificación de los trabajos en su nivel superior está fijada de antemano a nivel contractual. Las tareas de planificación en este caso consisten en la estimación de los recursos necesarios para alcanzar los objetivos de producción previstos. Como conceptos previos tenemos el Plan Maestro y el Plan Maestro Detallado donde se definen las cantidades a producir de las distintas unidades de obra durante unos determinados periodos de tiempo. Son planificaciones a medio plazo que en la mayoría de los proyectos de construcción abarcan el total de la vida del proyecto.

En un primer nivel de estudio hablaríamos de Plan Maestro Agregado, definiendo familias de productos que en construcción podemos asimilar a capítulos de obra. En un paso posterior, descendiendo en una estructura jerárquica, se definirían los productos que definen estas familias agregadas. Nos estaríamos refiriendo ya a la distribución temporal de las distintas partidas de obra. Este primer plan ante todo debe ser factible, es decir, debe poder realizarse en tiempo y forma con los recursos de los que se puede disponer para la ejecución de los trabajos. En este sentido es necesario evaluar las necesidades de recursos para poder compararlas con los recursos disponibles de manera que permita tomar las medidas necesarias para eliminar los desajustes y alcanzar los objetivos de coste y plazo previstos.

Se puede considerar que el Plan Maestro de Operaciones representa el vínculo entre las expectativas existentes respecto a la demanda prevista y las posibilidades reales de producción, teniendo en cuenta las limitaciones de utilización de los recursos por parte de la empresa. Existen diversas posibilidades para adecuar las previsiones a las posibilidades reales y para la elección del más adecuado será necesario analizar distintos factores presentes en la empresa, estos factores pueden ser de naturaleza económica, técnica, etc. En el apartado 4.3 se ha desarrollado el sistema específico de planificación establecido en la metodología Lean Construction para la consecución de estos objetivos. En el ámbito de la producción industrial en este sentido pueden plantearse tres sistemas de actuación, basadas en la demanda prevista. Son los siguientes:

- **Actuaciones sobre la demanda.** Consiste básicamente en hacer subir dicha demanda en periodos en los que es inferior a la capacidad de la empresa y también en sentido contrario, es decir, disminuirla cuando supera la capacidad disponible.

Un ejemplo de estas actuaciones en el ámbito de la construcción sería ejecutar más cantidad de la prevista en un determinado periodo de tiempo de ciertas unidades de obra si se dispone de los recursos suficientes. Es una forma de adelantar trabajo, aunque en algunos casos no se pueda abonar debido a la distribución de los pagos parciales pactados y ocasione tensiones financieras.

- **Actuaciones sobre la capacidad.** En este caso las modificaciones se realizan sobre la capacidad, aumentándola o disminuyéndola con medidas temporales, para adaptarla a la demanda prevista.

En el caso de producción en construcción una actuación en este sentido es recurrir a la subcontratación para aquellas unidades de obra en las que se prevé que no se va a alcanzar la cantidad de producción exigida. Si ya se contaba con una empresa subcontratista para la realización de los trabajos y no alcanza la producción necesaria se puede recurrir a otra empresa que complementa la anterior dividiendo la obra en zonas de actuación.

- **Actuaciones sobre los inventarios.** En aquellos casos en los que es posible almacenar el producto, se puede producir más de lo necesario en los periodos en los que hay exceso de capacidad y utilizar el inventario acumulado en los periodos en los que la demanda supera la capacidad. Estas acciones implican el incremento en los costes de posesión, seguros, obsolescencia, costes financieros, etc.

Un ejemplo de estas actuaciones en el ámbito de la construcción puede ser la elaboración de productos intermedios en obra. En lugar de ajustar la producción a la demanda prevista, se puede elaborar elementos por encima de lo previsto de forma que sea utilizado en periodos de mayor demanda. Esta opción implica una mayor disponibilidad de recursos financieros pero por el contrario se anticipa la solución de un problema, teniendo nivelada la producción de un producto intermedio.

3.4.3. Planificación de las necesidades de materiales. MRP.

Las sistemas MRP no se incluyen directamente dentro de las herramientas Lean debido a que están basadas en un flujo Push y en la utilización de lotes, frente a los flujos Pull que se proponen en las técnicas Just In Time, por lo que han sido sustituidos por los sistemas Kanban. No obstante, si que parece adecuado su análisis en este apartado ya que presentan características y ventajas que pueden ser de aplicación en la gestión logística de la producción en construcción. El MRP se ocupa del cálculo de necesidades de materiales y de recursos de fabricación a partir del Plan Maestro Detallado. Basándose en este plan, en la lista de materiales y en la situación de los stocks, se procede a determinar las necesidades brutas y netas de componentes, productos intermedios y materia prima. A partir de las reglas de lotificación, dichas necesidades se transforman en órdenes planificadas, con fechas de emisión y disponibilidad previstas. Dichas órdenes planificadas, junto con las efectivas, definen la carga previsional, que comparada con la disponible señala si es posible o no la realización del plan maestro, o si es preciso proceder a ciertos ajustes en las disponibilidades de capacidad o en las decisiones relativas a los productos a fabricar. Realizados los ajustes, las órdenes planificadas se emiten en firme, originando órdenes de aprovisionamiento o de fabricación.

APLICACIÓN PRÁCTICA. En las operaciones de aprovisionamiento en construcción el Plan Maestro Detallado se corresponde con el plan de obra en el que se refleja la previsión de unidades a ejecutar en un periodo de tiempo. El cálculo por lo tanto consistiría en realizar el desglose de estas unidades de obra para obtener las listas de materiales necesarios, así como los condicionantes que presentan cada uno de ellos. Por ejemplo es preciso determinar los plazos de suministro, el tamaño de los lotes o las condiciones especiales de manipulación, de forma que se conozca la fecha de emisión de los pedidos así como los recursos disponibles en obra para su producción, manipulación y acopio. El sistema obtiene la información del plan maestro detallado (con el desglose por partidas a ejecutar), de la lista de materiales (que describe los componentes y cantidades y plazos de obtención) y del registro de los inventarios (que indica para cada artículo las existencias disponibles a lo largo del horizonte de planificación).

Se trata de sistemas informáticos que a partir de los datos necesarios permiten la generación de las órdenes de fabricación y pedidos de forma automática, evitando realizar gestiones de forma aislada mejorando por tanto la gestión logística de los materiales intervinientes en el proceso. Presentan algunas desventajas, por ejemplo es necesario trasladar al sistema los ajustes realizados en la programación de los trabajos de forma que las necesidades de materiales reales se correspondan con los pedidos programados. El uso de estos sistemas puede ser adecuado como complemento de los sistemas kanban y Just in Time para aquellos productos con los que se deba seguir trabajando por lotes. Este tipo de materiales está muy presente en las obras de construcción, y se trata fundamentalmente de materiales en los que su escaso valor frente al del transporte hace que los envíos deban producirse mediante cargas completas. Si no puede implementarse un sistema que permita el flujo continuo, al menos con el uso de MRP se optimiza su suministro.

Este tipo de herramientas están incluidas en un módulo de uno de los programas de uso habitual en construcción como es Presto. El bloque correspondiente a compras no suele utilizarse ya que esta gestión se realiza de forma manual o mediante el ERP que tenga implantado la empresa. La utilización de esta herramienta (puede verse en la figura 29) permitiría realizar la gestión en este apartado de forma específica. Además no sería necesario realizar una inversión económica en la compra de un software especializado puesto que este ya está disponible. El tiempo de gestión sería igual o menor al pasar al realizar las tareas de manera informatizada y nuevamente se obtendría como resultado un procedimiento estandarizado.

| gDocumento | Info | gFecha | gNum | gNota | gBasePed [30.997.678] | gBaseCcn [26.189.697] | gBaseMed [3.528.486] | gBaseMin [3.442.395] | gConProveedor | gConNombre | gOferta | gLugar | gPago | gFianza |
|------------|------|--------|------------|-------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|---------------------|---------|--------|-------|---------|
| 1 | 100 | j | 13/03/2004 | 1 | 21.963.877 | 21.963.877 | | | ARRIMAQ | ARRIMAQ S.A. | | | | |
| 2 | 110 | j | 13/03/2004 | 2 | 3.674.720 | 3.442.410 | 3.528.486 | 3.442.395 | MELON | CEMENTO MELON | | | | |
| 3 | 120 | j | 13/03/2004 | 1 | 783.410 | 783.410 | | | PRINCESA | INDUSTRIAS PRINCESA | | | | |

| Suministros del contrato 110/ [3.674.720] | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|------|--------------------------------|-------|-----------|----------------------|-----------|------------|-----------|---------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|----|
| JCódigo | cNc | cUd | cResumen | JNota | JCantidad | JPrecio 3.674.720 | JImporte | JFecPrev | JFecFinal | JConPrecio MELON | JConPrecio POLPAICO | JConImporte 3.442.410 | JConImporte 3.614.563 | JP |
| 1 | MZ020635 | saco | Cem. polpaico especial p.o | | 1.684,50 | 2.087 | 3.515.552 | 30/04/2004 | | 1.950 | 2.050 | 3.284.775 | 3.453.225 | 2 |
| 2 | MZ020645 | saco | Cem. polpaico especial a g.p.o | | 74,35 | 2.121 | 157.696 | 30/04/2004 | | 2.100 | 2.150 | 156.135 | 159.853 | 2 |
| 3 | MB020105 | saco | Cem. blanco (saco 42 kg) | | 3,30 | 4.907 | 1.472 | 30/06/2004 | | 5.000 | 4.950 | 1.500 | 1.485 | 4 |

Figura 29. Captura de pantalla de Presto, Gestión de compras. Fuente: Manual del programa.

Este módulo complementa las propuestas realizadas para reducir los tiempos de espera presentes en los procesos de elección de materiales y gestión de compras. Si en aquel punto las acciones dadas permitían obtener un listado con la explosión de materiales, el siguiente paso que se da con este módulo del programa, es la asignación de proveedores. A continuación, una vez que cada producto tiene asignado su proveedor el siguiente paso es la determinación de la fecha de pedido, cuyas cantidades se obtienen directamente de las mediciones de la obra. Es necesario realizar algunos ajustes de forma manual como definir el tamaño de los lotes de suministro y las cantidades remanentes en obra, pero en cualquier caso parece una mejora en el proceso.

El inconveniente que ha impedido que esta forma de gestión esté más extendida es que normalmente en la gestión de las compras intervienen varios departamentos de la empresa, como son compras, administración y obra. Presto es de uso habitual en obra, pero no tanto por los otros departamentos por que sería necesario que todo el personal supiese utilizar el programa o que se concentre la gestión en un solo departamento.

3.4.4. Trabajo estandarizado.

Con la estandarización de los procesos se busca que las operaciones se hagan siempre de la misma manera y además que se sepa en cada momento qué se tiene que hacer. Consiste en propiciar los medios por los cuales, las operaciones de manufactura o producción se realicen siempre de una misma forma. Crear procesos estándar, consistentes y predecibles es un factor que propiciará el control y posterior mejora de los procesos por lo que este sistema constituye también la base para comenzar a practicar la mejora continua. La forma más básica de llevarlo a cabo es mediante instrucciones o fichas de trabajo.

APLICACIÓN PRÁCTICA. Lo ideal sería crear procesos estandarizados con instrucciones claras de cómo deben llevarse a cabo y en los que los operarios que los desempeñen fuesen intercambiables. Esto quiere decir, que los operarios tendrían una mayor movilidad en la planta donde se desarrollan las actividades, evitándose los puestos específicos. Dicho de otra manera: todos los operarios sabrían realizar todas las tareas. En las obras de construcción es difícil llevar estas prácticas al extremo ya que la mayoría de las tareas requieren de trabajadores especializados en ellas. En este sentido hay una gran variedad de gremios con todo tipo de especializaciones como estructuristas, albañiles, electricistas, etc.

A pesar de esta especialización con estas medidas si se solucionaría uno de los problemas presentes en las obras: la alta rotación de trabajadores en los trabajos subcontratados. Suele ser habitual que una empresa subcontratista que tiene contratada la ejecución de unos trabajos cambie frecuentemente los operarios asignados a cada obra. Cuando pasa esto, es preciso dar indicaciones a los nuevos trabajadores de las normas particulares que se llevan a cabo en la obra para el desempeño de las tareas.

Con la estandarización de las operaciones en construcción y con su reflejo en fichas o instrucciones se consigue dar a conocer la forma precisa en las que esos elementos deben ser ejecutados. Se obtiene con ello un avance en otro de los requerimientos, como es el incremento de la calidad ya que cada operario tiene un reflejo claro de los pasos a dar para alcanzar el estándar demandado.

Es habitual la existencia de este tipo de fichas con los procedimientos en las tareas de gestión ya que están asociados a las normas de calidad como la ISO 9001. Sin embargo estos procedimientos no están extendidos a las tareas productivas y podrían realizarse de forma sencilla para su fácil comprensión por todos los trabajadores. Las instrucciones precisas vienen recogidas en los documentos de proyecto como memorias, pliegos de condiciones o mediciones. Estos documentos pueden servir como base para la elaboración de las fichas de los manuales de los procedimientos, en las que se debe recoger los pasos de las operaciones estándar para cada tipo de trabajo que se considere adecuado. En el manual se puede describir el método de trabajo, las medidas de seguridad a tomar, la duración de la actividad (por horas, minutos y segundos) para cada elemento del trabajo, incluir movimientos de trabajos preparatorios, trabajo principal y la limpieza al finalizar la jornada. El método de trabajo se debe explicar mediante una combinación de figuras y fotografías para una mayor comprensión.

A continuación, en la figura 30, se incluye una ficha de este tipo puesta como ejemplo por el Lean Six Sigma Institute. Recoge la secuencia de operaciones, los puntos clave a tener en cuenta así como las consideraciones en materia de seguridad. Se acompaña de imágenes ilustrativas.

| INSTRUCCIÓN DE OPERACIÓN | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--|------------------------|--|--|--------|---|---------------|-------------------------------|-------|-------------|----------|
| Departamento: Ensamble | | Área: Producción | | Operación: Corte | | Tipo de producto: Tablero | | Preparado por: Luis Socconini | | Pág. 1 de 1 | |
| NO. | SECUENCIA DE OPEACIONES | | | PUNTOS CLAVE | | | ILUSTRACIONES | | | | |
| 1 | Tome el material | | | Tome el material con la mano derecha | | | | | | | |
| 2 | Fije el material en la mesa de trabajo | | | Utilice abrazaderas para mantener fija la pieza | | | | | | | |
| 3 | Coloque las puntas en dirección al filo de la mesa | | | Cuide que la pieza esté bien balanceada de ambos lados | | | | | | | |
| 4 | Corte la pieza a la medida establecida | | | | | | | | | | |
| 5 | Ponga las piezas cortadas en la mesa siguiente | | | | | | | | | | |
| REGISTRO DE CAMBIOS | | | | CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD | | | | FIRMAS | | | |
| Fecha | Rev | Descripción del cambio | | Sup. | Aprob. | | | Fecha | Turno | Supervisor | Operador |
| 12/01/2017 | 01 | Edición inicial | | 7 | 16 | | | | | | |
| | | | | | | El equipo de seguridad debe ser utilizado en todo momento | | | | | |

Figura 30. Ficha de trabajo estándar. Fuente: Lean Six Sigma Institute.

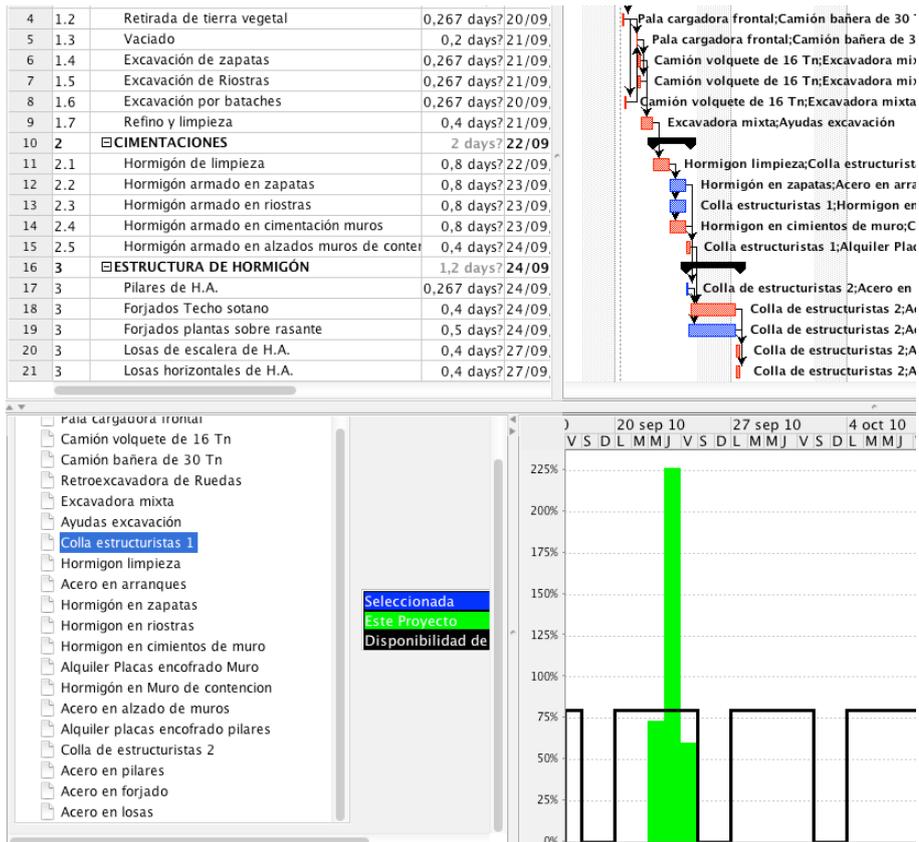
3.4.5. Heijunka, nivelación de recursos. Aplicación práctica.

En este apartado se propone un ejemplo de una de las estrategias utilizadas en el ámbito de la producción industrial que se realizan para adaptar las fluctuaciones de la demanda a la capacidad existente. Se trata de la estrategia de nivelación en la que se nivelan los recursos humanos disponibles, tratando de mantenerlos constantes a lo largo del periodo de tiempo analizado.

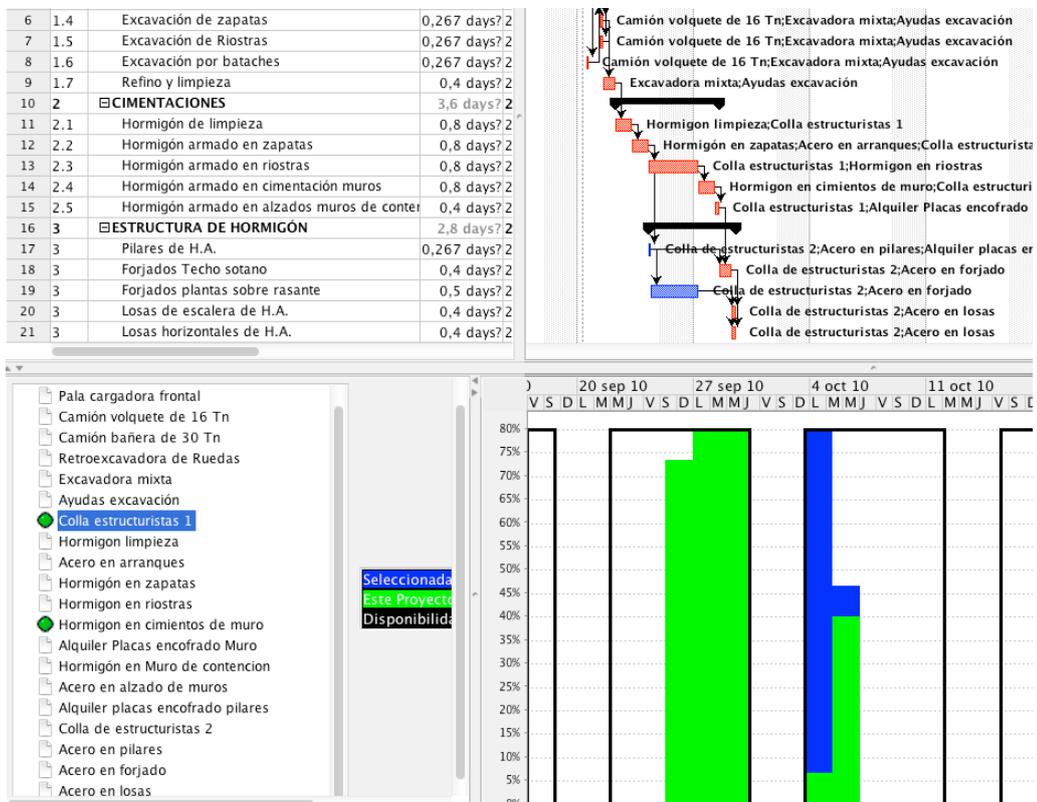
APLICACIÓN PRÁCTICA. Con la aplicación de esta técnica a la construcción se busca que las demandas de producción recogidas en la planificación de los trabajos se ejecuten de la forma más homogénea posible. Es decir, que se eviten picos de producción temporales que alteren la asignación de recursos disponibles. Hay que tener en cuenta que los recursos son limitados, y por lo tanto se deben administrar según los requerimientos previstos. En el caso de los recursos humanos hay que tener en cuenta además otros factores, en primer lugar la interrelación entre el aumento y disminución del personal que actúan de forma directa y los recursos humanos indirectos responsables de la producción. Esas interrelaciones hacen que sea imprescindible la mínima variación en la cantidad de recursos, sobre todo para que los jefes de equipo (como encargados y capataces) con un perfil más elevado y más difícil de cubrir, sean los mismos a lo largo del proyecto y su actuación. Es esa necesidad la que hace que la actividad de **nivelación de recursos** sea importante durante las fases de planificación. Para ello se debe utilizar la lógica, los medios para efectuar esa nivelación y sobre todo, el apoyo de la dirección del proyecto. El objetivo, por tanto, es hacer un consumo o una utilización de los recursos disponibles de forma homogénea.

Nivelar los recursos significa que la dotación de los mismos debe ser lo más uniforme posible, de acuerdo tanto con las necesidades de la obra, como de las posibilidades financieras de la empresa. Se debe tener en cuenta que la cantidad de recursos y la dotación de los mismos a la obra serán determinados por la capacidad de financiación de la empresa, por la capacidad técnica de dirección y control de los mismos para un uso eficiente, y por la calidad y cantidad de definición previa de los trabajos a ejecutar por esos recursos.

Estas actividades de nivelación, así como otras relacionadas con la planificación y programación de operaciones se pueden realizar con la ayuda de software especializado que facilita enormemente la tarea, especialmente en obras de cierta entidad. A continuación, en la figura 31, se muestra un ejemplo de nivelación de operaciones realizado con la ayuda de uno de estos programas, pudiendo ver el estado antes y después de la aplicación de la técnica de nivelación:



Estado previo.



Estado posterior.

Figura 31. Ejemplo de nivelación. Fuente: Planificación de obras, Ismael Rius Gumbau. Editorial Bubok Publishing 2012.

3.5. Etiquetas Kanban.

Las etiquetas kanban son la herramienta utilizada para conseguir el flujo Pull que propugna la filosofía de trabajo Lean, es decir que es el cliente, interno o externo, el que debe tirar de la producción. En este sentido el ideal de flujo es el flujo pieza a pieza con inventarios cero y fabricados al ritmo que marca el cliente. Sin embargo, esto es muy difícil de conseguir por lo que la metodología Lean no es un sistema de inventario cero ya que depende de almacenes de materiales que se abastecen usando sistemas PULL. No obstante, hay que tener presente que los inventarios se consideran muda, por lo que su presencia debe estar justificada y reducida al mínimo posible, aunque son necesarios para permitir un flujo suave de la producción. La forma que se ha encontrado para cumplir con el compromiso de la necesidad de inventarios y el muda que suponen, es el sistema kanban que significa señal. Este puede ser de cualquier tipo, siempre que sea altamente visual (tarjetas, carros vacíos, palés, etc.). Mediante el sistema kanban, se consigue que el proceso aguas arriba produzca un pequeño lote de nuevas piezas sólo cuando el proceso aguas abajo le mande una señal. Con esto se consigue mantener los inventarios necesarios totalmente controlados. El sistema kanban, sustituye a los MRP's en la gestión de los talleres Lean, dejando éstos para el carga-capacidad o la planificación a medio-largo plazo.

La misión de las tarjetas Kanban es poner en comunicación las necesidades de producción entre los distintos centros de trabajo (momento y cantidad). Estas tarjetas son, básicamente, de dos tipos: de transporte y de producción. Para describir su funcionamiento es conveniente considerar todo el proceso de producción como un conjunto de centros de trabajo dispuestos en serie. Cada estación de esta línea de trabajo consta de un punto de entrada de materiales, del equipo de fabricación en sí, y de un punto de salida de los productos ya transformados. Las tarjetas kanban de transporte actúan entre dos estaciones sucesivas, transmitiendo a la estación predecesora las necesidades de material de la estación sucesora. Las tarjetas kanban de producción se desplazan dentro de la misma estación, como órdenes de fabricación. La unidad de transporte es el contenedor o pale, que sólo se desplaza entre estaciones lleno o vacío.

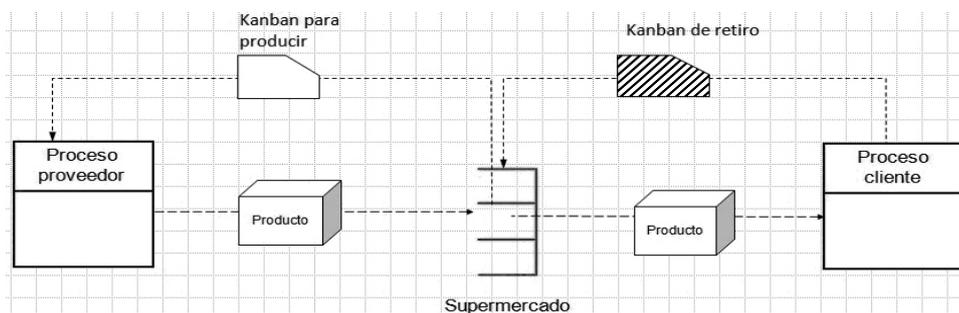


Figura 32. Esquema de funcionamiento kanban. Fuente: <http://jalfez.es>, Estrategias Lean.

APLICACIÓN PRÁCTICA. Este sistema se puede aplicar a la elaboración de ferralla en obra. En este proceso se suministra a obra el acero en barras de distintos diámetros que se transforman en armaduras para los elementos estructurales. Con el objetivo de adecuar la fabricación y por tanto al suministro de materia prima se puede establecer un sistema kanban, de forma que se fabriquen los elementos realmente necesarios teniendo controladas los inventarios tanto de materia prima como de producto terminado.

El sistema podría funcionar de la manera expresada en la figura 32, donde el proceso cliente es la colocación de las armaduras en obra, mientras que el proceso proveedor es el taller de elaboración de ferralla. El supermercado estaría formado por la zona donde se deposita el material elaborado, en una cantidad adecuada para ser transportada con los equipos de manutención disponible en obra. El responsable de la ejecución de estructuras manifiesta mediante la tarjeta de producción las necesidades de material elaborado. Esta tarjeta a su vez pone en marcha el proceso de abastecimiento de barras de acero. El proceso se coordina a través del operador del medio de manutención que se emplee, ya que es el encargado tanto de retirar el material elaborado como de suministrar la materia prima. Las tarjetas pueden colocarse en un tablero, de forma que sean claramente visibles para todos los intervinientes en el proceso.

Con este sistema se garantiza que la producción se ajusta en todo momento a las cantidades y elementos que realmente se necesitan, permitiendo reducir las cantidades de producto terminado almacenado y que en este caso es muy voluminoso. El ahorro se manifiesta en la reducción del desperdicio de materiales que será analizado en el punto 5.1.2.

3.6. SMED.

SMED es el acrónimo en inglés de Single Minute Exchange of Die, que significa cambio de utillaje en menos de diez minutos. Esta técnica se desarrolló inicialmente para mejorar los cambios de troquel de las prensas, pero sus principios y metodología se aplican a las preparaciones de toda clase de máquinas. El tiempo de cambio de una serie u orden de fabricación comienza cuando se acaba la última pieza de una serie y termina cuando se obtiene una pieza libre de defectos de la siguiente serie. Dentro de este periodo, las operaciones que se realizan con la máquina parada se denominan internas y aquellas que se realizan mientras la máquina aun está produciendo elementos válidos se denominan externas. Se puede representar de la siguiente manera: **Tiempo de preparación = tiempo de preparación interna + tiempo de preparación externa.**

El objetivo de la aplicación de esta metodología es reducir los stocks y mejorar el lead-time, así como lograr un incremento del tiempo productivo. Al disminuir el tiempo necesario para realizar un cambio de modelo, mejora la capacidad de realizar más cambios, pudiendo fabricar lotes más pequeños y planificando en consecuencia un plazo de entrega y un almacenamiento menores. Su implantación se realiza en las siguientes etapas:

- Etapa preliminar: Creación de un equipo multidisciplinar de mejora, haciendo intervenir dentro de lo posible, a todos los departamentos implicados (fabricación, mantenimiento, métodos y tiempos, etc).
- 1ª Etapa: Diferenciar los trabajos correspondientes a los tiempos de preparación internos y externos.
- 2ª Etapa: Separación de la preparación interna y externa.
- 3ª Etapa: Convertir la preparación interna en externa.
- 4ª Etapa: Perfeccionar todos los aspectos de la operación de preparación.

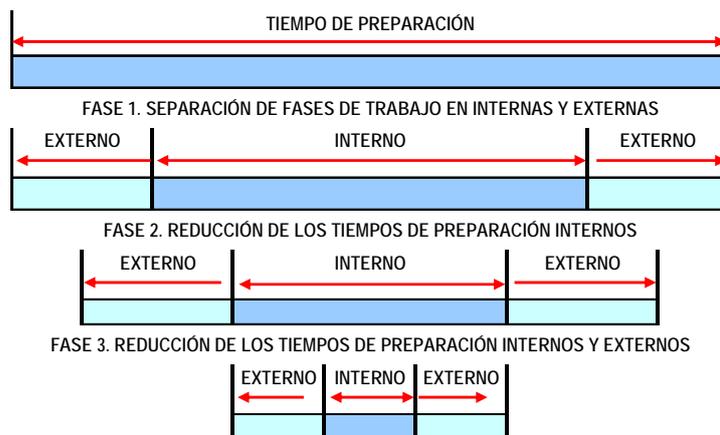


Figura 33. Fases de actuación en la implantación de SMED. Fuente: Elaboración propia.

APLICACIÓN PRÁCTICA. Esta técnica también presenta problemas a la hora de su aplicación directa al ámbito de la producción constructiva donde la preparación de los equipos se presenta en menor medida que en el ámbito industrial. No obstante sus principios de funcionamiento sí que pueden aplicarse a la realización de muchas tareas de forma que mejoren las transiciones en la ejecución de diferentes partidas.

Por ejemplo esta técnica sería de aplicación en la adecuación de los andamios para pasar de una fase de construcción a otra. Durante la fase de estructura los andamios cumplen una función principalmente de protección mientras que en la fase siguiente de albañilería pasan a ser la superficie de trabajo desde donde se ejecutan los trabajos. En esta transición se deber realizar una serie de trabajos de adaptación para su nuevo uso, añadiendo elementos y modificando la posición de otros hasta que está en condiciones de ser usado para las nuevas condiciones. Pues bien, estos trabajos de adaptación pueden realizarse con las técnicas SMED, planificando con antelación los trabajos necesarios para la modificación e identificando los trabajos de preparación externos. Estos montajes externos pueden realizarse previamente y se incorporarán posteriormente al conjunto así como el resto de elementos necesarios, de esta forma el tiempo que está sin uso el equipo se reduce al mínimo posible. El objetivo es reducir la transición entre fases de trabajo, repercutiendo en la reducción del plazo de entrega o en la obtención de más tiempo disponible para producir.

3.7. Jidoka.

Como se ha mencionado en el punto 3.4 al comentar los desperdicios detectados en el análisis del mapa de la cadena de valor de la gestión logística en las obras de edificación, los defectos en los elementos construidos son posiblemente la mayor fuente de mudas de la producción en construcción. No obstante en el mapa no se manifestaba este tipo de mudas convenientemente, ya que solo aparecía de forma indirecta como parte del proceso de control de ejecución. A continuación se va a analizar con mayor detalle la herramienta que puede ayudar a reducir este tipo de mudas que son de las de mayor presencia en el proceso constructivo.

Se trata de Jidoka que es uno de los dos pilares fundamentales sobre los que se asienta la implantación del Lean en el proceso productivo. La base de esta técnica es que los trabajadores dispongan de los medios necesarios para evitar que los defectos se propaguen más allá de su puesto en el proceso productivo, solucionando los problemas en el momento en que se producen o detectan. El concepto de Jidoka fue revolucionario en el momento de su desarrollo por dos motivos:

- En primer lugar porque es opuesto a los esquemas de organización Tayloristas anteriores, donde sólo el jefe de planta podía detener la cadena de producción, y donde los trabajadores eran meros peones que necesitaban ser supervisados mediante una escala jerárquica de mando. Para asumir las nuevas tareas los trabajadores deben tener la cualificación adecuada para desempeñar las tareas de supervisión del proceso. De esta manera la figura del controlador es eliminada o se ve reducida.
- El segundo aspecto innovador de esta herramienta es el relacionado con el control de calidad. Este normalmente es realizado por un departamento específico que al final del proceso productivo desechaba aquellos productos que tenían defectos mediante labores de inspección. Con Jidoka, sin embargo, los departamentos de control de calidad pueden suprimirse ya que el esfuerzo se centra en producir sin defectos más que en controlar su presencia en los elementos fabricados. Generalmente, el control de calidad por inspección es fruto de la resignación ante la inviabilidad de evitar los defectos. Es decir, cuando es más barato desechar el defecto que prevenirlo o evitarlo, entonces se recurre al control de calidad por inspección. La idea de Jidoka es no resignarse ante la producción de defectos, ni al control de calidad por inspección. La calidad no se controla, se produce. Si hay defectos, lo que se produce por sistema es no-calidad. Lo que habrá que hacer es modificar el proceso productivo para que dichos defectos no se produzcan y no sea necesario desechar nada.

Con esta visión la calidad no es responsabilidad de un departamento sino de todos los implicados en el proceso productivo.

Esta herramienta dispone de técnicas de apoyo que ayudan a identificar y reducir los defectos en el momento de su generación, evitando que sigan avanzando en el proceso productivo. Se trata por ejemplo de los elementos Poka Yoke o a prueba de fallos, que impiden el montaje de un determinado elemento de una forma diferente a la que está prevista. Otro elemento son las señales visuales o Andon que indican mediante señales luminosas el estado del equipo y el avance del proceso de montaje. También se puede reducir la generación de defectos si los equipos productivos incorporan mecanismos que provocan su paro cuando detectan que los elementos producidos no cumplen con las tolerancias previstas.

En definitiva, con esta herramienta no se trata de establecer puntos de control a lo largo de la cadena, sino de modificar el proceso productivo para que dicho control sea innecesario o automático, de forma que no haga falta dedicar operarios a la inspección, y estos puedan dedicarse a labores más productivas.

3.7.1. Aplicación práctica en construcción.

Esta técnica es difícil de adaptar directamente al ámbito constructivo debido al grado de intervención manual presente en muchas de los diferentes tipos de partidas producidas. Esto dificulta el traslado de la responsabilidad sobre el control de calidad a los operarios que ejecutan dichas tareas, ya que debido a su componente de trabajo manual, el resultado puede ser susceptible de una apreciación subjetiva.

Salvo en los suministros de productos externos o en la fabricación de productos intermedios es difícil incluir técnicas específicas, tipo Poka Yoke, de las empleadas en el sector industrial. También hay que tener en cuenta que en el ámbito constructivo el control de calidad es ejercido, además de a nivel interno, por agentes externos definidos en las normas y leyes que regulan el sector. Estos agentes externos son las empresas de control de calidad y asistencia técnica, aunque en última instancia el máximo responsable de este apartado es la dirección facultativa. Sin embargo estos condicionantes no impiden la adaptación de la herramienta al caso particular de la producción en construcción, seleccionando los aspectos que puedan representar una mejora del proceso actual que conlleve la reducción de este tipo de mudas.

El primer paso sería **evitar que se produzcan los defectos** en la ejecución de las distintas unidades. Para ello es importante aplicar los siguientes principios de actuación:

- Transmitir a los operarios de forma clara los criterios objetivos de calidad, de forma que por ellos mismos pueden determinar la idoneidad de los trabajos ejecutados. Por ejemplo indicar las tolerancias de planeidad en paramentos alicatados o solados, o determinar el número y distribución tolerables de nudos en elementos de madera. Estos criterios están definidos a nivel de proyecto pero es posible que no sean conocidos por los operarios que ejecutan los trabajos.
- Controlar los medios auxiliares empleados en la ejecución de unidades de forma que se eviten el error en su origen. En este sentido los operarios, convenientemente instruidos, serían los responsables de revisar previamente los equipos que van a emplear. Puede ser el caso por ejemplo de paneles de encofrado que presenten irregularidades en su superficie que puedan transmitirse a los acabados de hormigón. En cuanto se identifique este defecto en el medio auxiliar debe dejar de utilizarse ya que es más sencillo y menos costoso reemplazarlo que reparar el defecto que producen.

En segundo lugar las acciones irían encaminadas a **corregir los defectos ya producidos**. En las obras de edificación, en muchos casos obligados por el cumplimiento de plazos, se decide erróneamente solucionar los defectos que se hayan producido después de la entrega de los trabajos. Existe la costumbre de realizar una lista de repasos de forma conjunta con la propiedad, o incluso con el cliente final, en las fechas previas a la entrega de los edificios. Estos defectos son solucionados por las empresas subcontratistas, si son tareas realizadas por ellas, o por personal de la contrata principal en el caso de que su mala calidad no tenga un origen identificable. En cualquier caso generan una pérdida de imagen de la constructora al dejar que sea el cliente el que haga un control de calidad final, además del coste económico que supone prolongar la duración de los trabajos y la asignación de los recursos necesarios para la resolución de estos problemas. Este método de trabajo tiene asociado unas tareas de gestión elevadas para los departamentos de postventa ya que hay que conseguir que los subcontratistas responsables de la realización de los repasos vuelvan a la obra, cuestión que en muchos casos no es sencillo a pesar las posibles penalizaciones que se contemplan en sus contratos

SOLUCIÓN PROPUESTA. La implantación de soluciones Lean en este apartado pasarían por identificar los defectos tan pronto como sea posible de forma que sean corregidos en el mismo momento de su ejecución. En el caso de tareas realizadas por el personal propio de la empresa, se les puede dar instrucciones de la realización de un primer control de calidad por su parte con los mismos criterios que se aplicarían posteriormente por lo clientes, realizando los trabajos de reparación en el mismo momento. Por el contrario si las tareas son realizadas por empresas subcontratistas es más difícil aplicar esta forma de trabajo, por lo que ese primer control de calidad debería ser realizado por responsables de la empresa como capataces o encargados. Aunque esto ya se hace habitualmente, se debería prestar especial atención a no dejar continuar realizando nuevas unidades hasta que no se hayan solventado los defectos de los anteriores.

Es posible que en un principio cueste implantar este criterio, pero con el tiempo se puede demostrar que es incluso beneficioso para las subcontratas ya que se evitan volver a la obra para realizar remates, mejorando su imagen a la vez que la calidad de sus trabajos. En definitiva, se trata de que el resultado del trabajo no presente errores y al limitar la continuación con nuevas unidades hasta que se consideran aceptables las anteriores se obliga a trabajar bien a la primera. De esta forma se acerca, en la medida de lo posible, la ejecución constructiva a los conceptos de cero defectos y calidad total.

La repercusión económica de esta propuesta, por su especial importancia, se ha realizado en el punto 5.1.2. correspondiente al análisis económico. Como se ha comentado es el punto que genera una mayor cantidad de desperdicios con un importante coste asociado. Otra acción a llevar a cabo en este aspecto es la relativa a otro de los principios del Lean: establecer relaciones sólidas con los proveedores que mejores resultados ofrezcan, ponderando el factor calidad sobre el precio de sus propuestas.

4. Lean Construction. Sistema del Último Planificador.

En este capítulo se analiza el sistema de gestión Lean Construction. Se trata de una metodología de trabajo, que basada en los conceptos básicos de la filosofía Lean, se ha desarrollado específicamente para su implantación en la gestión de proyectos de construcción. Su aplicación no está muy extendida en nuestro país aunque presenta aspectos interesantes que pueden ser llevados a la práctica con relativa facilidad.

4.1. Conceptos previos.

Como se va podido ver en la exposición realizada hasta ahora, gran parte de los problemas que presenta la gestión de los proyectos en las obras de edificación derivan de la aplicación del esquema tradicional de planificación de la producción. Este sistema es poco adecuado para gestionar con la incertidumbre y la variabilidad que puede presentarse en el sistema de producción por proyectos, como es el caso de las obras de construcción.

En la metodología de trabajo basada en Lean Manufacturing se han desarrollado técnicas y herramientas que se aplican eficientemente en el ámbito de la producción industrial, de forma que persiguen la obtención de ambientes de trabajo estables donde se pueda desarrollar la producción de una forma óptima. Los principios de esta metodología han sido adaptados a diversos sectores partiendo de la experiencia del sector industrial, por ejemplo el sector servicios o el sanitario. En el caso de la adaptación de esta metodología de trabajo al ámbito de la construcción se ha denominado “**Lean Construction**”. En sus inicios fue desarrollada por el finlandés Lauri Koskela, que en 1992 puso las bases de la aplicación de la producción sin pérdidas a la construcción, analizando los sistemas productivos emergentes. Esta adaptación del sistema Lean en el sector de la construcción trata de aplicar los conceptos de la metodología Lean, como son el Just In Time, la ingeniería concurrente, la gestión total de la calidad, la reingeniería de procesos así como la todas las herramientas vistas en los capítulos anteriores. Koskela, posteriormente, introdujo una visión integradora de la producción como flujo de información o de recursos, con tres objetivos fundamentales: reducción de costes, ahorro de tiempo e incremento de valor para el cliente.

| | MODELO TRADICIONAL | LEAN PRODUCTION |
|---|--|---|
| Objeto | Afecta a productos y servicios | Afecta a todas las actividades |
| Alcance | Actividades de control | Gestión, asesoramiento y control |
| Modo de aplicación | Impuestas por la dirección | Por convencimiento y participación |
| Metodología | Detectar y corregir | Prevenir |
| Responsabilidad | Del departamento de calidad | Compromiso de toda la empresa |
| Clientes | Ajenos a la empresa | Externos e internos |
| Conceptualización de la producción | Consiste en actividades de conversión y todas las actividades agregan valor al producto. | Consiste en actividades de flujo y hay actividades que agragan valor y otras que no. |
| Control | Costo de las actividades | Dirigido hacia el costo, tiempo y control de los flujos. |
| Mejoramiento | Implementación de nueva tecnología | Reducción de las tareas de flujo y aumento de la eficiencia del proceso con mejoras continuas y tecnología. |

Tabla 8. Cuadro comparativo entre gestión tradicional y Lean. Fuente: Elaboración propia.

Los principios de gestión que propone la construcción sin pérdidas afectan a todas las actividades de la empresa, no sólo a la producción, y diferencia entre las actividades que agregan valor al producto y las que no lo hacen, tratando de incrementar la eficiencia en los procesos mediante la mejora continua y la tecnología. No obstante, la construcción se caracteriza por ser un proceso, cuya producción y gestión está basada en proyectos. De este modo, el enfoque “lean” intenta gestionar y mejorar estos procesos constructivos con el mínimo coste y el máximo valor, teniendo en cuenta las necesidades de los clientes. De este modo se pretende minimizar las pérdidas de recursos, esfuerzos y tiempos.

La progresiva implementación de estas ideas ha permitido que muchas de las prácticas Lean vayan poco a poco trasladándose a lo largo del proceso constructivo, introduciéndose en la viabilidad, diseño, contratación, ejecución de la obra, suministro, subcontratación, etc., y modificando sustancialmente las relaciones entre los diferentes agentes.

Según el Instituto de Lean Construction (ILC), Lean Construction es una filosofía orientada hacia la administración de la producción en construcción, cuyo objetivo fundamental es la eliminación de las actividades que no agregan valor (pérdidas). Se enfoca en crear un sistema de producción ajustado que minimice residuos y herramientas específicas aplicadas al proceso de ejecución de proyectos.

Podría decirse que con este sistema se busca una industrialización de la construcción, que se apoya en una serie de principios o normas para facilitar el entendimiento de las implicaciones de la implantación del Lean en los proyectos de construcción. A continuación se describen los doce principios básicos de la producción sin pérdidas que se establecen para el diseño, control y mejora de los flujos de producción.

- **1.** Incrementar la eficiencia de las actividades que agregan valor
- **2.** Reducir la participación de actividades que no agregan valor (también llamadas “pérdidas” o “mudas”)
- **3.** Incrementar el valor del producto a través de la consideración sistemática de los requerimientos del cliente
- **4.** Reducir la variabilidad
- **5.** Reducir el tiempo del ciclo
- **6.** Simplificar procesos
- **7.** Incrementar la flexibilidad de la producción
- **8.** Incrementar la transparencia de los procesos
- **9.** Enfocar el control al proceso completo
- **10.** Introducir la mejora continua de los procesos
- **11.** Mejorar continuamente el flujo
- **12.** Referenciar los procesos con los de las organizaciones líderes (“benchmarking”)

Por otra parte, el *International Group for Lean Construction* inició su andadura en 1997, con congresos anuales que han servido para difundir este nuevo enfoque entre la industria a nivel mundial. La progresiva implementación de estas ideas ha permitido que muchas de sus prácticas se hayan ido incorporando en la cadena de valor, introduciéndose en el diseño, contratación, ejecución de la obra, suministro, subcontratación, etc., y modificando sustancialmente las relaciones entre los diversos participantes. Esta visión se ha incorporado también se ha adoptado no solo por constructoras sino por los agentes promotores asumiéndola para la gestión completa de los proyectos de edificación. De este modo, se ha producido una evolución desde la mejora del desempeño en la fase de construcción, hasta cubrir el conjunto de etapas y fases del ciclo de vida de la infraestructura, dando origen a lo que se denomina “Lean Project Delivery” (LPD).

4.2. Herramientas de Lean Construction.

El sistema Lean Construction se apoya en una serie de herramientas que forman parte de él. Estas herramientas desarrolladas específicamente se justifican como una forma de simplificar la aplicación de Lean Construction en los procesos de administración y gestión de una obra. Según distintos autores como Picchi en 1993 o Womack en 1996, las herramientas no son más, que la aplicación de los principios teóricos a la práctica profesional.

A continuación se describen las principales herramientas empleadas en esta metodología:

- **ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS POR DEMANDA.** (PULL-DRIVEN PROCESS MANAGEMENT). Consiste en ejecutar una actividad sólo cuando sea un requerimiento inmediato de otra actividad. Su objetivo es construir de forma óptima en términos de tiempo y costes, sin olvidar la calidad.
- **JUSTO A TIEMPO.** (JUST IN TIME). Se trata de una herramienta usada para definir el flujo de materiales hasta el lugar de la construcción, implicando que estos materiales serán trasladados a su destino final para una puesta en obra sencilla y serán utilizados según lleguen a su localización final, sin ningún tipo de espera o almacenaje.
- **REINGENIERÍA EN EL PROCESO DE NEGOCIO.** (BUSINESS PROCESS REENGINEERING). Por reingeniería se entiende la acción de replantearse y rediseñar la forma en la que se llevan a cabo ciertos procesos productivos. Consiste en realizar los cambios necesarios para obtener una mejora en coste, calidad, servicio y tiempo de entrega.
- **SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN BASADO EN LA LOCALIZACIÓN.** (LOCATION BASED MANAGEMENT SYSTEM). Esta herramienta es un sistema técnico de administración de Lean Construction, que se concentra en pronosticar el ciclo de obra mientras este se ejecuta a través de las localizaciones de los equipos de trabajo, junto a su distribución y movimientos. Esto permite identificar posibles tiempos de holgura. El sistema se basa en cuatro principios básicos: punto de referencia o línea base, flujo, progreso y pronóstico.
- **GESTIÓN DE CALIDAD TOTAL.** (TOTAL QUALITY MANAGEMENT). Es un conjunto de estrategias de gestión basadas en conseguir que se cumplan los requerimientos y demandas del cliente. Se enfoca en el cumplimiento de los procesos y en la mejora continua de estos. La calidad debe estar controlada y aprobada antes de que una actividad se dé por terminada. Con esto, se asegura que las actividades siguientes no se ejecutan a partir de elementos o actividades que presentan defectos.
- **SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR.** (LAST PLANNER SYSTEM). El llamado Sistema del Último Planificador, es la herramienta más utilizada dentro de la filosofía de Lean Construction. Presenta cambios fundamentales en la manera de controlar y planificar los proyectos. El método incluye la definición de unidades de producción y el control del flujo de actividades, mediante asignaciones de trabajo. Adicionalmente facilita la obtención del origen de los problemas y la toma oportuna de decisiones relacionada con los ajustes necesarios en las operaciones para tomar decisiones a tiempo, que permitan un incremento de la productividad.

El Último Planificador está compuesto por tres fases o componentes, las cuales se enfocan en diferentes periodos de tiempo y a su vez en detalles de planificación.

Esta última herramienta es la que ha tenido una mayor difusión e implantación. El **Sistema del Último Planificador (SUP)** propone modificar el proceso de programación y control de la obra con el fin de crear un ambiente estable de trabajo, protegiendo la producción de la incertidumbre y la variabilidad. Este sistema ha demostrado una alta efectividad, mejorando el rendimiento en las obras y logrando mejoras significativas en el cumplimiento de plazos y de la productividad. El SUP no es una metodología que reemplace o compita con los métodos tradicionales de barras y de redes (analizados en el Capítulo 1), sino que los complementa aportando nuevas posibilidades de aplicación. Los métodos de redes, como el sistema PERT en cualquiera de sus variables, se ocupan de la gestión del camino crítico, por el contrario el SUP se centra en la gestión de la variabilidad; y mientras que los métodos de redes gestionan fechas, el SUP gestiona los flujos de trabajo. La planificación con los métodos de redes generalmente se usa para gestionar contratos, mientras que el SUP se preocupa de gestionar interdependencias. El SUP pretende incrementar la fiabilidad de la planificación y, como consecuencia, mejorar los rendimientos.

Hay otros autores que han tratado este tema de la planificación con criterios Lean en obras de construcción, por ejemplo, Virgilio Cruz-Machado y Pedro Rosa de la Universidad de Lisboa publicaron en 2007 un modelo de planificación basado en construcción ajustada para obras de corta duración. En su estudio consideran cuatro fases de actuación, desde las consultas previas a la redacción de proyecto. Está basado en la importancia de definir en las etapas iniciales los requerimientos del proyecto, ya que el coste de los cambios requiere de una menor inversión de recursos en esta fase. En la figura 34 se muestra el esquema.

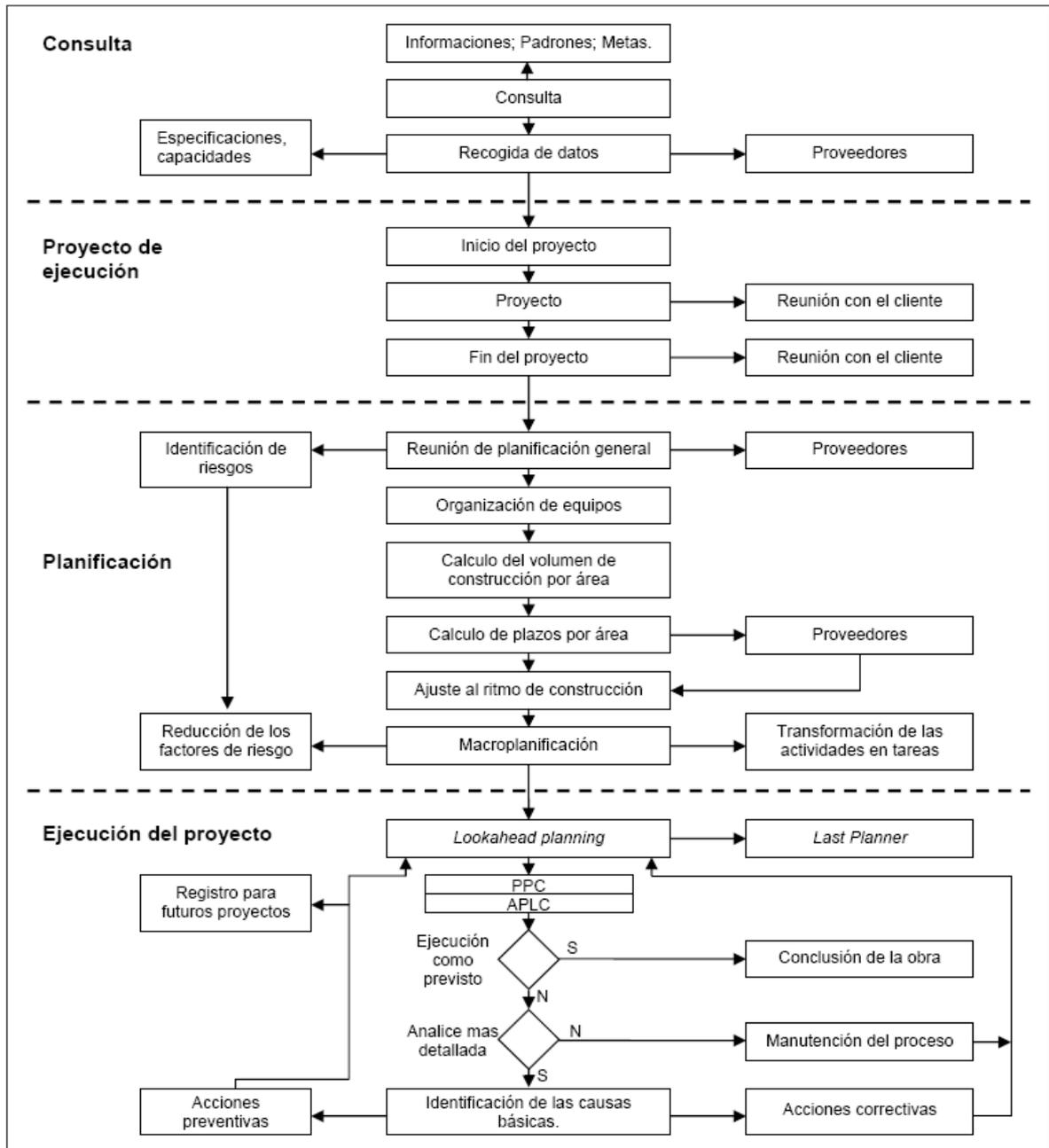


Figura 34. Modelo de planificación basado en Construcción ajustada. Fuente: Información Tecnológica Vol18 n°1 2007.

El elemento diferenciador de este modelo es la implicación del cliente en la toma de decisiones en todas las fases del proyecto. La presencia de los clientes en la Reunión de Planificación General junto con el resto de implicados en la ejecución, apoya la aclaración sobre lo que efectivamente se va a hacer; por otro lado, facilita el entendimiento relativo a eventuales ausencias de materiales en obra o en stock y se perciben las dificultades debatidas por los encargados y otros técnicos responsables. También Incorpora elementos de planificación semanal que indican, de forma simple, cual debe ser el aumento de carga de personal, para que se consiga recuperar eventuales atrasos. Considera que el proyecto debe ser elaborado contemplando los posibles motivos básicos de retraso verificados en la implementación y producción. Por este motivo incorporará una disminución del riesgo causado por los aspectos identificados: recursos humanos, equipamientos y herramientas, instalaciones, materiales y la propia distribución de los recursos.

A continuación se va a realizar un **análisis del Sistema del Último Planificador** y de las partes que lo integran, tratando de mostrar el impacto que supondría su aplicación. Complementariamente se muestran algunas herramientas que han sido desarrolladas para apoyar la implementación práctica del sistema.

4.3. Principios de funcionamiento del Sistema Último Planificador.

El Sistema del Último Planificador es posiblemente la técnica más conocida dentro de la filosofía “Lean Construction”, se centra en la fase de ejecución en obra. 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 especialmente en Estados Unidos y algunos países de Sudamérica. En Europa su aplicación ha sido más limitada, centrándose en Gran Bretaña y otros países del norte como Holanda o Dinamarca. El SUP es un sistema que complementa los sistemas de planificación tradicionales, mejorándolos al contemplar la variabilidad y los flujos de trabajo. Este sistema pretende incrementar la fiabilidad de la planificación y por tanto incrementar el rendimiento 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.

4.3.1. Conceptos previos.

En primer lugar es necesario plantearse la causa de los retrasos en el desarrollo de los trabajos. Principalmente se debe a que la planificación de la obra no considera todas las variables específicas del proyecto, ya que se planifica considerando supuestos con un alto grado de incertidumbre. Algunas variables no valoradas habitualmente son: la disponibilidad de existencias o materiales específicos por parte de los proveedores, la indefinición de materiales y detalles a nivel de proyecto, los problemas de disponibilidad de mano de obra, los problemas de gestión administrativos, los rendimientos incorrectamente estimados o incluso paros temporales debidos a la climatología. Esto impide el desarrollo normal de los trabajos según la planificación inicial prevista y provoca constantes interrupciones, afectando a la productividad de las actividades y al cumplimiento de plazos.

Si planificar consiste en determinar lo que “debería” hacerse para completar un proyecto y decidir lo que “se hará” en un cierto período de tiempo, debe tenerse en cuenta que debido a las restricciones mencionadas anteriormente no todo “puede” hacerse según lo previsto, produciéndose retrasos de forma reiterada. En la mayoría de las obras lo que “puede” y lo que “se hará” son subconjuntos dentro de lo que “debería” hacerse. Si el plan (“se hará”) se desarrolla sin saber lo que “puede” hacerse, el trabajo realmente ejecutado será la intersección de ambos subconjuntos.

La planificación según la filosofía Lean modifica este planteamiento, para lo que es importante que antes de decidir lo que “se hará” se tenga un conocimiento adecuado de lo que “puede” hacerse. En procesos periódicos de planificación, los gestores y los ejecutores de las actividades deben primero identificar lo que “puede” hacerse y posteriormente acordar lo que “se hará” durante la semana o periodos cortos de tiempo. De esta manera se evita que las actividades se detengan por alguna restricción no liberada. Esta situación ayuda a la mejora de la productividad ya que trata de esquivar los posibles parones producidos por las causas enumeradas anteriormente.

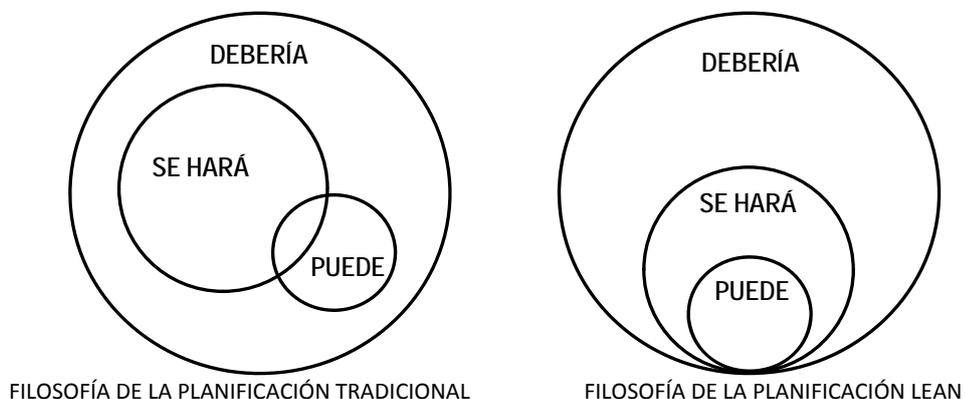


Figura 35. Esquema sistema SUP. Fuente: Elaboración propia.

El proceso de planificación debe centrarse principalmente en la gestión del “puede”, cuanto más podamos agrandar las actividades que engloba el “puede”, mayor será la posibilidad real de avance. El avance puede verse afectado si la cantidad de tareas que pueden ejecutarse es baja. Para evitar esto, los planificadores deben concentrar sus esfuerzos en liberar las restricciones que impiden que la tarea pueda iniciarse o continuar. De esta forma se agranda el conjunto “puede” aumentando las opciones de avance. Es importante que la gestión se haga sobre el problema raíz ya que no tiene sentido solicitar mayor rapidez a los ejecutores de las actividades si no se les entregan los recursos a tiempo. La construcción, por lo tanto, requiere planificación por diferentes personas, en diferentes puestos de la organización, y en momentos diferentes del ciclo de vida de la obra. El SUP define criterios explícitos de asignación que se consideran compromisos de producción anticipados con el fin de proteger a las unidades productivas de la incertidumbre y la variabilidad. El proceso de aplicación del sistema se realiza de la siguiente forma:

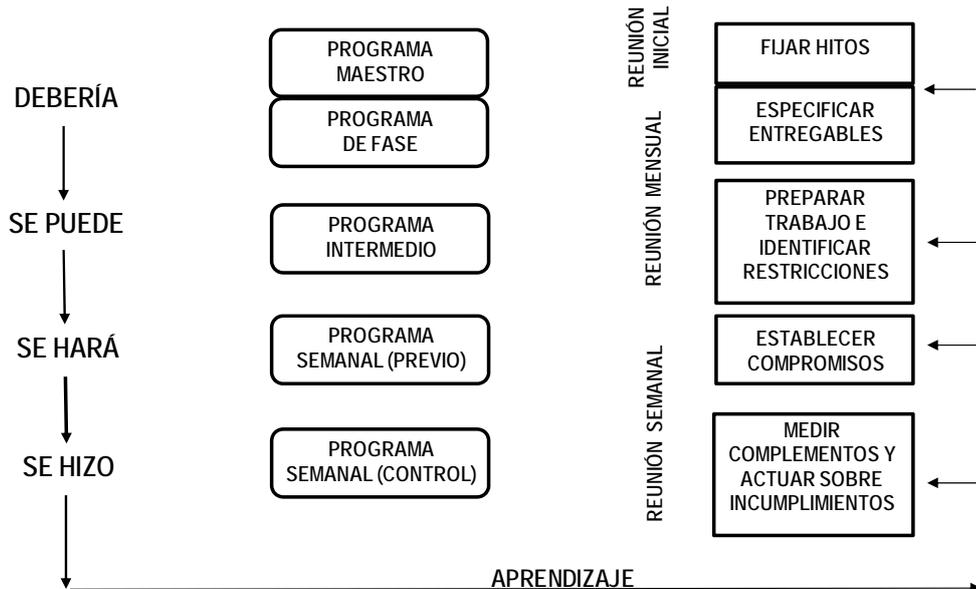


Figura 36. Esquema sistema SUP. Fuente: Elaboración propia.

- **1.** Revisión del plan general de la obra (programa maestro)
- **2.** Elaboración del programa de las distintas fases en el caso de proyectos complejos y extensos. Se identifica la fase que se va a desarrollar a continuación y se elabora el programa.
- **3.** Elaboración de la planificación intermedia para un horizonte entre uno y tres meses aproximadamente, realizando el análisis de restricciones con el fin de eliminar los cuellos de botella, enmarcada dentro del programa maestro.
- **4.** Elaboración de la planificación semanal, con la participación de los últimos decisores o planificadores: encargados, capataces, subcontratistas, almacenistas, etc. como parte del inventario de actividades ejecutables obtenido en la planificación intermedia.
- **5.** Reuniones de los últimos planificadores para verificar el cumplimiento del plan semanal, detectando las causas de no cumplimiento de lo planificado y estableciendo el plan de la siguiente semana.

La confiabilidad del plan se mide en términos del Porcentaje del Plan Completado (PPC), al final de cada semana. Las causas de los fallos de cumplimiento también se investigan semanalmente con el fin de evitarlas en el futuro. La fiabilidad de la planificación está directamente relacionada con la productividad

4.3.2. Niveles de programación.

A continuación se van a analizar los distintos niveles de programación en los que se divide la planificación de las tareas para llevar a cabo su aplicación.

4.3.2.1. El programa maestro.

El programa maestro define las tareas que se “deberían” hacer e incorpora la planificación de todas y cada una de las actividades del proyecto. En él se establecen las relaciones en el tiempo y en el espacio entre las diferentes actividades programadas, fijando los hitos parciales exigidos para el cumplimiento de los plazos establecidos y definiendo el alcance y los plazos de las entregas parciales si las hubiese (por ejemplo bloques independientes, accesos, zonas comunes, etc.).

En este nivel es fundamental, para la adecuada elaboración del programa maestro, identificar a los responsables del cumplimiento de cada parte del programa e incorporar a los proveedores y subcontratistas que intervienen en cada actividad programada. También deben incluirse las relaciones entre los responsables de las tareas y los proveedores-subcontratistas, en qué periodo del programa deben actuar y las posibles interacciones entre los diferentes proveedores y subcontratistas. Así mismo es fundamental identificar en él a los agentes externos de los que depende la ejecución de las actividades programadas. En la identificación de estos agentes, entre los que se pueden encontrar diferentes administraciones públicas afectadas indirectamente, empresas de servicios públicos, gestores de infraestructuras, etc., debe tenerse en cuenta la influencia que pueden tener sobre el desarrollo de las actividades programadas y cómo afecta esta influencia a la consecución de los objetivos del proyecto. Un ejemplo claro serían las gestiones a realizar con los ayuntamientos, ya que de la concesión de la licencia de obra depende la fecha de inicio de los trabajos. Por lo tanto en este caso se indicaría sobre la programación el plazo estimado para la concesión de la licencia y como afectaría el retraso en el cumplimiento de los plazos. Otro ejemplo claro de cómo agentes externos pueden influir decisivamente en la planificación de los trabajos son las gestiones con las compañías suministradoras de los servicios municipales. Puede ser el caso de las compañías eléctricas con quien se contrata en primer lugar la conexión eléctrica necesaria el funcionamiento de los medios auxiliares, por lo que la ejecución de sus trabajos condiciona las tareas a realizar en obra. Por este motivo conviene contemplar planes alternativos, como el suministro eléctrico con generadores, de forma que no se dependa en exclusiva de un agente externo. En cualquier caso en esta fase lo importante es identificar a los agentes y las dependencias. La definición rigurosa de cada una de las actividades que engloban el proyecto, de los responsables de estas actividades, de los proveedores, subcontratistas y agentes externos que puedan intervenir en cada actividad, así como de sus interacciones tanto en el tiempo como en el espacio permiten la confección de un programa maestro inicial que refleja más fielmente la realidad del proyecto. Este programa maestro inicial es objeto de revisiones sucesivas a partir del aprendizaje que da el análisis del cumplimiento de la programación intermedia y de la programación semanal.

4.3.2.2. El programa de fase.

El programa de fase es el segundo nivel de planificación y se necesario realizarlo cuando los proyectos son largos y complejos. El programa maestro puede dividirse en fases, con actividades que se exploran como conjuntos de tareas que cubren la duración completa de la actividad y en que cada grupo de trabajo necesita ser realizado en una proximidad espacial y temporal. El programa de fase no siempre es necesario en proyectos simples o pequeños, pero cumple una función que no debe ser ignorada en proyectos de mayor tamaño. Los programas de fase representan una subdivisión más detallada del programa maestro, preparada por las responsables que administran el trabajo en la fase, para apoyar el cumplimiento de los hitos del programa maestro. Desde esa perspectiva presentan una clara oportunidad de lograr compromisos fiables de planificación con la participación de los principales actores de cada fase del proyecto. Su aplicación es necesaria por ejemplo en obras de gran extensión espacial en la que se repitan varios módulos, por ejemplo en la construcción de un hospital con distintos bloques independientes. En este caso en la programación se entrará al detalle de representar cada tarea en los distintos bloques en los que se divida la ejecución de los trabajos.

4.3.2.3. El programa intermedio.

La programación intermedia profundiza en la planificación de las actividades a medio plazo. Este plazo intermedio es necesario que se defina según las necesidades de cada caso particular, pudiendo variar desde 4 o 5 semanas (lo que constituirá la ejecución asociada a un periodo de certificación) hasta 15 o 16 semanas. De este modo, el programa intermedio define lo que se “puede” hacer en el periodo de tiempo estudiado. En el programa intermedio y para el periodo de programación que se adopte, se identifican e incorporan los suministros necesarios para el desarrollo de las actividades y los responsables de ellas. También se programan las tareas de flujo necesarias para avanzar en el desarrollo de la planificación maestra, tales como visitas de la dirección facultativa o la propiedad, inspecciones, pruebas y ensayos, intervenciones de agentes externos, etc., de modo que al incorporarse a la programación no sean un foco de desajustes y retrasos. A continuación se adjunta una tabla sencilla para realizar una programación intermedia de forma manual previa, a modo de borrador con toma de datos, que posteriormente puede reflejarse en una aplicación informática de planificación.

| Diagrama de Gantt | | | | | | | | | | | | Análisis de Restricciones | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------|-----------|----------|---|----|----|----|-----|----------|----|---|---------------------------|-----------------|---------|----------------|----------------|----------|-------|-------------|--------------|---|--|
| PROYECTO | | ALCANCE | | | | | | | | | | Tipo | | | | | | | | | | |
| | | 4 Semanas | | | | | | | | | | Proveedores | Subcontratistas | Equipos | Seguridad y S. | Medio Ambiente | Externos | Otros | Descripción | Fecha Límite | | |
| COD. | ACTIVIDAD | RESP. | SEMANA 1 | | | | | ... | SEMANA 4 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | L | M | X | J | V | L | M | X | J | | | | | | | | | | V | |
| | | | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | 29 | 30 | 1 | 2 | 3 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 9. Tabla ejemplo de programa intermedio. Fuente: Revista de obras públicas Nº 3518. 2011.

El programa intermedio identifica con precisión los recursos necesarios para el desarrollo de las actividades programadas en el plazo adoptado y las disponibilidades de estos. También debe incorporar los elementos de seguridad necesarios para el correcto desarrollo de las tareas y sus responsables, así como las actividades relacionadas con la conservación del medio ambiente y la gestión de residuos.

Una vez incorporados todos estos elementos a la programación intermedia, se identifican las restricciones que suponen cuellos de botella y que es necesario eliminar para el desarrollo de la programación establecida, así como los responsables de su eliminación y las fechas en las que es necesario que estas restricciones estén eliminadas. El objetivo fundamental del programa intermedio es establecer con claridad lo que se puede hacer de lo programado y gestionar las restricciones existentes para que estas no introduzcan retrasos en la programación. En el análisis de la gestión de las restricciones que se refleje en la programación se deben incluir al menos la siguiente información:

- **Código.** Con un sistema de codificación numérico que permita de forma sencilla la identificación y el registro de las restricciones.
- **Nombre.** De forma que pueda identificarse la restricción de forma sencilla.
- **Tipo de restricción.** Dividiéndolas en distintos grupos como por ejemplo personal, materiales o diseño.
- **Descripción.** Especificando de forma breve en que consiste la restricción.
- **Responsable de la liberación.** Persona asignada a su gestión.
- **Estado de la liberación.** Se indica el estado actual de la restricción.
- **Fecha estimada de liberación.** Previsión de la fecha en la que se estima la liberación
- **Fecha efectiva de liberación.** Fecha en la que se hizo efectiva la liberación, aquellas actividades que “pueden” ejecutarse pasan a constituir el inventario de trabajo ejecutable.

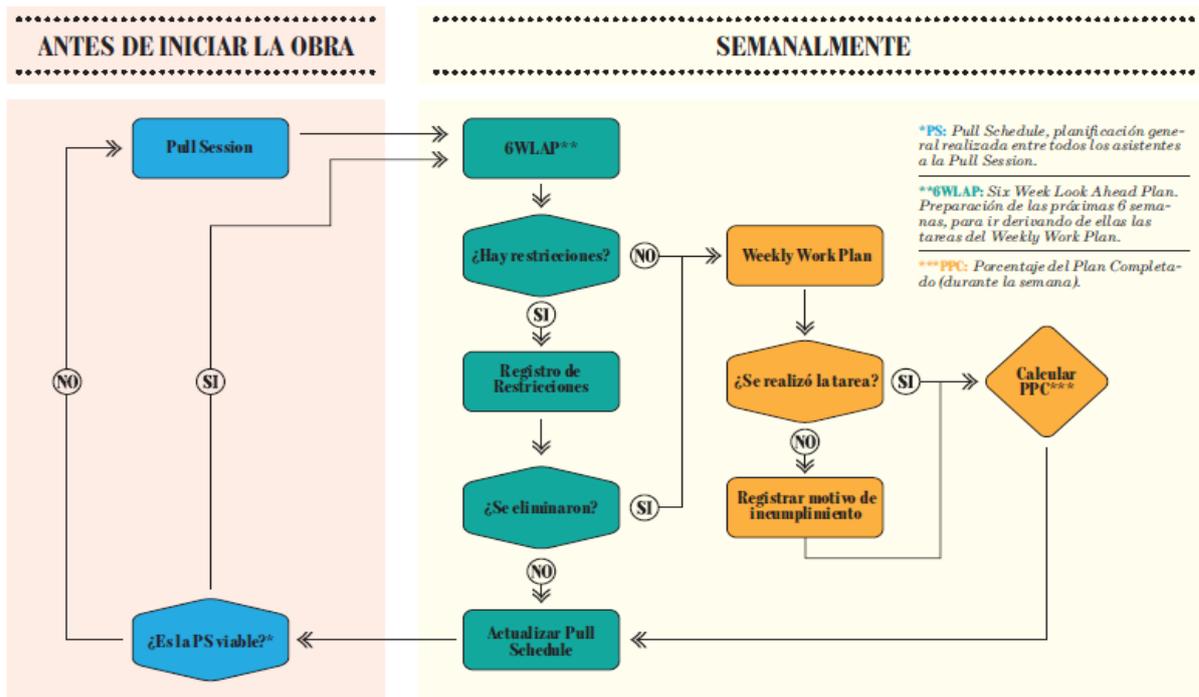


Figura 37. Esquema proceso método SUP. Fuente: Croxley Construcciones. Construcción inteligente.

4.3.3. Consecuencias de su implantación.

El sistema del último planificador ha sido aplicado con éxito en numerosos proyectos en todo el mundo, especialmente en Estados Unidos y Sudamérica. Por ejemplo en Chile, el Centro de Excelencia en Gestión de Producción de la Universidad Católica de Chile (GEPUC), apoyó y observó el impacto de la implementación del Sistema del Último Planificador en cerca de 80 proyectos de construcción en un período de tres años. El cumplimiento del Porcentaje de Proyecto Completado (PPC) se incrementó un 20%, aproximadamente, durante ese período y las empresas reportaron mejoras de productividad entre un 6% y un 48%. Cabe destacar que las mediciones fueron obtenidas de casos donde ya existía una aplicación preliminar del SUP por lo que el incremento en el PPC debería atribuirse al aprendizaje y a un progresivo incremento en el grado de implementación del sistema.

Antes de poner en práctica el SUP, en la mayoría de los proyectos el cumplimiento de la planificación mostraba un comportamiento errático y un bajo cumplimiento promedio de la planificación semanal, incluso inferior al 50% en algunos casos. Al introducir algunos aspectos muy básicos del SUP, como la realización de reuniones semanales, control del porcentaje del plan completado y seguimiento de la productividad de las actividades, se registraron evoluciones positivas del porcentaje del plan completado. Adicionalmente, es necesario destacar que incluso en las mediciones más tardías el grado de implementación observado es todavía limitado lo que permite aseverar que el potencial de mejora es todavía mucho mayor. En proyectos individuales pueden alcanzarse resultados cercanos al 100% de cumplimiento en algunos proyectos. En muchos proyectos fue difícil medir con precisión el impacto de su aplicación por medio de indicadores específicos, por lo que la evaluación del impacto de la implementación en estos proyectos tuvo en cuenta también aspectos cualitativos. Al ser consultados por su percepción de los impactos, los administradores de proyectos mencionaron numerosos impactos positivos que se describen a continuación:

- Mejora en la gestión y control del proyecto.
- Mayor implicación de mandos medios gracias a un papel más activo en la gestión del proyecto y su mayor compromiso con la planificación.
- Disminución de pedidos urgentes e imprevistos.
- Mayor productividad de los procesos, aunque en algunos casos ésta no pueda ser medida directamente.
- Menores plazos de ejecución de las obras.

4.3.4. Conclusiones.

El Sistema del Último Planificador convierte los proyectos en cadenas de pequeños compromisos que han de renovarse permanentemente. Las revisiones de los compromisos en diferentes niveles de la planificación (inicial, semanal y diario) y los horizontes de tiempo más cercanos, favorecen que el trabajo fluya de manera más predecible y, por lo tanto, más confiable.

En la construcción convencional se invierte inicialmente mucho tiempo y dinero en generar presupuestos y planificaciones de obra. Sin embargo, la planificación suele desviarse de la idea original casi desde el principio de la obra, causando una reacción en cadena que obliga a replanificar gran parte de la ejecución del proyecto. El problema es que la rigidez del sistema de construcción tradicional hace que los agentes no se adapten a esa supuesta replanificación. Además, o bien el tiempo perdido no se recupera o el coste económico para conseguir recuperarlo puede ser muy alto.

El SUP es un sistema de planificación constante y coordinada con todos los agentes que desempeñarán las tareas. Así se favorece que la planificación global se readapte, de forma que un pequeño retraso en un día concreto no supone ni la pérdida de un día al final de la obra ni un incremento del coste final para el propietario. Dicho de otra forma, la planificación tradicional puede ser eficaz, pero no eficiente, teniendo que recurrir en muchos casos a amenazar con aplicar las penalizaciones por retrasos contempladas en los contratos. Este modelo de planificación es más colaborativo y dinámico, y por lo tanto pretende llegar a ser más eficiente. Se coordina mediante reuniones periódicas, donde intervienen el jefe de obra, el encargado, y todos los responsables de las subcontratas y proveedores contratados por la constructora para cada una de las tareas. En la reunión se planifica la obra de acuerdo con la fecha de entrega pactada con el propietario. Esta planificación es colaborativa: cada proveedor y subcontratista sabe que el compromiso que adquiere, no solo lo adquiere con la constructora, sino con el resto de intervinientes en los trabajos que pueden depender de él.

Para cumplir con los plazos se readapta la planificación y se desatascan situaciones complejas, mediante reuniones semanales de control de la planificación del proyecto con los agentes responsables que intervienen en cada fase de la obra. De esta forma es más sencillo difícil lograr que el tiempo, el dinero y la calidad del proyecto sean los exigidos por el cliente desde el principio. Por tanto, como se puede deducir del desarrollo realizado, el SUP es un sistema de planificación en cascada cuya finalidad principal, además de controlar el proyecto, es la reducción de la variabilidad de la obra mediante la aplicación de cuatro principios básicos:

- Compromiso personal de los decisores finales (últimos planificadores).
- Coordinación de los últimos planificadores mediante reuniones periódicas.
- Utilización de un indicador básico de control denominado Porcentaje del Plan Completado (PPC).
- Visibilidad pública de los resultados semanales obtenidos.

El aspecto más destacable de este método, que contrasta con el sistema tradicional de planificación, es el análisis pormenorizado de las causas que ocasionan los incumplimientos de los plazos previstos. De esta forma en lugar de solventar los problemas que ocasiona se puede atacar la raíz del problema evitando que se sigan produciendo. Otro aspecto positivo a destacar es la comunicación que se establece con todos los implicados en el proceso constructivo, y que permite conocer de primera mano las posibles restricciones existentes. Es decir, se cuenta con la opinión de los implicados directamente en el desarrollo de los trabajos. En el plano negativo hay que destacar que para su correcto funcionamiento requiere del compromiso de todos los agentes y que proporcionen la información adecuada para que no se distorsione el resultado del trabajo. También hay que destacar que supone dos reuniones semanales para su seguimiento, al menos de los implicados más directos, que debido a la carga de trabajo del equipo de obra en muchas ocasiones será difícil de llevar a cabo. Aunque el principal punto débil que se aprecia es que debería contar también con el seguimiento continuo de la dirección facultativa, de forma que se validen las decisiones que se tomen en las reuniones y no parece muy probable que las direcciones facultativas puedan acudir de forma tan continuada a reuniones de este tipo.

4.4. Lean Project Delivery

La filosofía integral de la construcción sin pérdidas se concreta en el modelo “Lean Project Delivery” o LPD por sus siglas en inglés, cuya misión es desarrollar el mejor medio posible para diseñar y construir edificaciones e infraestructuras. Este modelo se aplica específicamente en los sistemas productivos basados en proyectos, como es el caso del sector de la construcción en el que cada proyecto es único. Es decir el desarrollo del sistema se basa en el análisis de la intersección entre la gestión de los proyectos y los sistemas de producción. No obstante, el modelo Lean Project Delivery está pensado para que se aplique a sistemas productivos temporales de cualquier tipo, como los que tienen lugar habitualmente en el sector de la construcción. Las características fundamentales del modelo LPD son las siguientes:

- El proyecto se organiza y gestiona como un proceso generador de valor.
- Los agentes que intervienen a posteriori se involucran también en la planificación inicial y en el diseño por medio de equipos multifuncionales.
- El control del proyecto tiene una función ejecutiva, en oposición a la clásica de detección a posteriori.
- La optimización de esfuerzos se centran en conseguir un flujo de trabajo fiable, en contraste con el incremento de productividad.
- Las técnicas Pull (de empuje) se utilizan para manejar el flujo de información y de materiales a través de las redes de especialistas.
- Los colchones de capacidad y de almacén se utilizan para absorber variaciones.
- Los ciclos de retroalimentación se incorporan en cada nivel, de modo que puedan realizar ajustes rápidos.

El modelo LPD está organizado en cinco fases: definición, diseño, suministro, ensamblaje y uso; que a su incluyen once módulos o etapas: objetivos, criterios de diseño, conceptos de diseño, diseño de procesos, diseño e producto, ingeniería de detalle, fabricación y logística, instalación, puesta en marcha, explotación y mantenimiento y final de vida útil. Al mismo tiempo, cubriendo todas las etapas y fases, se extienden el módulo de control de producción y el módulo de estructuración del trabajo. Además, el módulo de evaluación post-ocupacional une el final de un ciclo con el siguiente generando un aprendizaje por retroalimentación. A continuación, en la figura 38, se muestra la descripción gráfica del modelo LPD:

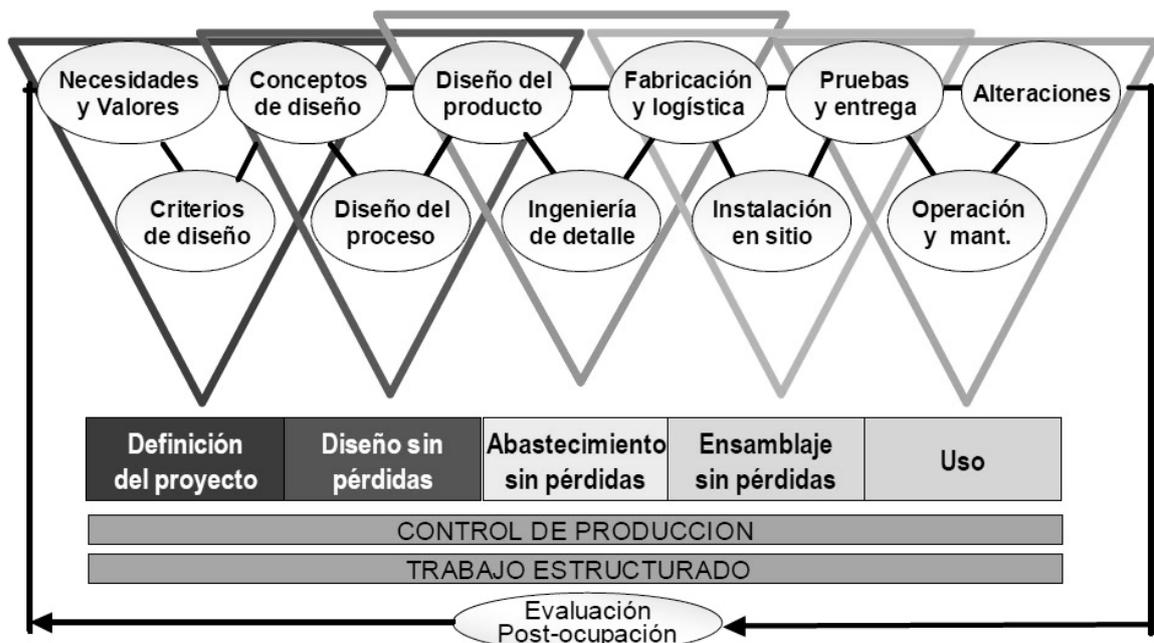


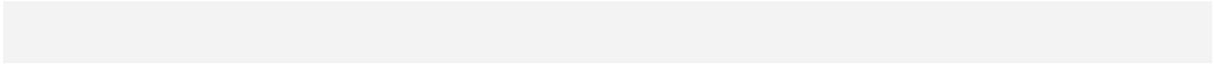
Figura 38. Esquema modelo LPD. Fuente: Ballard, H.G. (2000) “Lean project delivery system”. Lean Construction Institute.

El modelo Lean Project Delivery incluye conceptos de gestión que han sido abordados parcialmente en iniciativas anteriores en el mundo de la gestión de proyectos, por ejemplo, el concepto de “Partnering” o colaboración estratégica. Puede definirse “Partnering” como dos o más organizaciones que trabajan en conjunto para optimizar la construcción de una infraestructura, incluyendo su puesta en uso y explotación integral en ocasiones, o bien todo un conjunto de actuaciones que abarquen diversos proyectos relacionados entre sí. El concepto de “Partnering” surge en Reino Unido a principio de los noventa con el fin de abordar una modernización del sector de la construcción y hacer frente, por otra parte, a las dificultades de financiación de infraestructuras por parte de las administraciones públicas. Este concepto se ha plasmado en la directiva europea de contratación pública 2004/18/EC por medio de los contratos de colaboración público-privada que amplían la definición de concesión, tanto temporalmente (posibilidad de participar en la fase de viabilidad) como transversalmente (abarcando también escuelas, hospitales, etc.).

Sin embargo, Lean Project Delivery incluye este enfoque dentro de un contexto más amplio y global que busca crear las condiciones para que el desarrollo del proyecto sea un proceso de creación de valor y que incluye conceptos como la colaboración y el desarrollo de confianza entre los agentes intervinientes, u otros como el aprendizaje y la mejora continua, la optimización global del sistema y no de las partes, la obtención de compromisos confiables, etc. Esto incluye la participación de todos los implicados desde las fases más tempranas, contemplando el proyecto como un proceso de diseño colaborativo con metas de coste y plazo fijadas en conjunto y con esquemas contractuales que regulan las relaciones entre las partes y permiten que tanto riesgos y recompensas sean compartidos por todos las partes interesadas en el proyecto.

A continuación se incluyen cinco ideas o conceptos de aplicación en una estrategia concreta de Lean Project Delivery que fueron puestas en práctica en un caso de éxito en el desarrollo de infraestructuras hospitalarias en Estado Unidos por parte de la compañía Sutter Health:

- **1.** Colaborar, realmente colaborar, durante el diseño, la planificación y la ejecución del proyecto: Esto requiere la participación de los diversos participantes en las diversas etapas del proyecto.
- **2.** Incrementar la relación entre todos los participantes del proyecto: Se desarrollan las relaciones y la confianza mutua que permita compartir errores y oportunidades de aprendizaje.
- **3.** Considerar los proyectos como cadenas de compromisos: El trabajo de gestión es la articulación permanente de cadenas de compromisos; los líderes deben dar coherencia a las mismas para enfrentar un porvenir incierto, creando el futuro conjuntamente con los participantes del proyecto.
- **4.** Optimizar el proyecto, no las partes: Los proyectos pueden descontrolarse cuando cada gestor ejerce una presión por reducción de tiempos y costes en cada tarea; por ejemplo, presionar por una alta productividad al nivel de tareas puede mejorar el desempeño local pero puede causar perjuicios mayores aguas abajo complicando la coordinación, incrementando los accidentes y otros aspectos que a menudo no son considerados.
- **5.** Acoplar firmemente acción con aprendizaje: La mejora continua de costes, plazos y valor global del proyecto se hace posible cuando los actores del proyecto aprenden de sus acciones; el trabajo puede realizarse de forma que cada actor recibe retroalimentación inmediata de sus acciones respecto a lo bien que cumple con los propósitos y satisface los requerimientos de su trabajo.



5. Estudio económico

En este capítulo se van a analizar los aspectos económicos de la implantación de las técnicas estudiadas en los capítulos anteriores. Este análisis se va a desarrollar desde dos puntos de vista: primero estudiando el ahorro de costes que podría suponer su aplicación en el desarrollo de un proyecto de edificación y posteriormente el coste que tendría la realización del estudio de las posibilidades de implantación (que en este caso se ha realizado en forma de Trabajo de Fin de Master).

5.1. Repercusión económica de la implantación.

5.1.1. Análisis estado actual.

La filosofía de trabajo Lean se ha implantado en múltiples sectores, demostrando un importante ahorro tanto de tiempo como de costes de fabricación. En su trasposición a la gestión de los proyectos de construcción, como hemos visto, son múltiples los aspectos donde se podrían aplicar las técnicas analizadas y que permitirían obtener una optimización de los costes. Las fuentes de ineficiencias o desperdicios son múltiples y generan costes adicionales difícilmente cuantificables, desde la incorrecta definición de los proyectos hasta los trabajos de postventa, pasando por todas las fases de construcción.

En muchos casos la mayoría de los problemas que surgen a lo largo de los trabajos de construcción se deben a que los proyectos de ejecución no están optimizados para ser construidos. Esto es debido a que la fase de diseño y la de construcción constituyen dos etapas diferenciadas y poco coordinadas entre sí. En esta forma de desarrollo se producen bajos niveles de comunicación entre equipo proyectista y empresa constructora, por lo que no se analizan convenientemente la facilidad para que lo proyectado sea construido (constructabilidad). El resultado son proyectos que presentan múltiples problemas que es necesario resolver durante la ejecución de los trabajos, a medida que se van presentando ya que en muchos casos no se identifican previamente. En ocasiones, incluso pasan años hasta que un proyecto se lleva a cabo, por lo que pueden haberse producido hasta cambios en la normativa de aplicación. Los costes de construcción de todas las indefiniciones de proyecto pueden suponer un importante sobrecosto en la ejecución, y este será asumido por uno u otro agente en función de la modalidad de contratación. En los casos de proyectos llave en mano o a riesgo, será la empresa constructora la que deba cargar con todos los sobrecostes asociados a las indefiniciones que no haya detectado en la fase de estudio de la obra. Por el contrario si se trata de una obra regulada por la Ley de Contratos de las Administraciones públicas, todo aquello que no esté contemplado en el proyecto inicial se valorará y deberá ser abonado al contratista según las modalidades que dicha ley recoge para ello: liquidación, modificados o complementarios. En este caso el sobrecoste puede ser de hasta el 25% del total contratado, del que un 10% corresponde a la liquidación de los trabajos y el 15% restante a los proyectos modificados que pudieran ser necesarios.

Con la forma tradicional de acometer las fases de desarrollo de un proyecto y su separación en distintos agentes (promotor, arquitecto y constructora) es difícil solucionar los problemas anteriormente expuestos. Las soluciones pasan por contemplar los proyectos como un conjunto y que sean gestionados por un responsable que coordine y alineé los intereses de todos los implicados, este es el tipo de gestión realizado con los métodos de Project Management. Se trata de asimilar los principios de la ingeniería concurrente, en los que toda la información disponible del ciclo de vida del proyecto se vuelca sobre la fase de diseño para que todos los factores sean tenidos en cuenta. De esta forma se pueden elegir los materiales realmente disponibles y más adecuados, dimensionar las instalaciones necesarias o prever un mantenimiento adecuado para las soluciones utilizadas. En definitiva lo que se busca es que lo proyectado sea fabricable, o construible en este caso.

En lo relativo a la fase puramente de ejecución en obra, la fuente de los sobrecostes más importantes son las correspondientes a la no obtención de la calidad requerida a la primera. Esto conlleva la asignación de múltiples recursos para resolver estos problemas así como el deterioro de la imagen de la empresa más difícilmente cuantificable. Se da por hecho la necesidad de los equipos de postventa y repasos en las

empresas, cuando realmente estos podrían tener una carga mucho menor de trabajo si se gestionase correctamente la calidad de lo ejecutado. Con la aplicación de la premisa de la filosofía Lean de reparar los errores tan pronto como sea posible, se eliminaría la necesidad de actuar después de entregado el producto al cliente. La función del departamento postventa se limitaría a la gestión del mantenimiento en el periodo de garantía.

Otra fuente importante de sobrecostos durante la construcción puede ser la no optimización de la gestión de los recursos, ya sean materiales, humanos o energía. Por ejemplo es habitual pedir más cantidad de la necesaria de los materiales utilizados para compensar las roturas, cortes o deterioros que puedan producirse. Estos incrementos pueden llegar a ser hasta del 10% en materiales como solados, alicatados o ladrillos. Estos materiales normalmente son puestos en obra por empresas subcontratistas que aportan principalmente la mano de obra. Mientras, el material es adquirido por la constructora y puesto a su disposición lo que puede hacer que la gestión de estos durante la colocación no sea la óptima, necesitando más cantidades de las estrictamente necesarias. Este problema no se produce, por ejemplo, en el caso de partidas que se subcontratan incluyendo los materiales. Puede ser el caso de la tabiquería de placas de cartón yeso en los que la subcontrata se preocupa más del aprovechamiento óptimo de los materiales.

En la búsqueda de información para cuantificar el importe de las pérdidas debidas a las ineficiencias se ha encontrado un estudio, realizado por Flavio Picchi en 1993 en sus tesis doctoral, que refleja que en el análisis de una serie de proyectos de edificación realizados en Sao Paulo (Brasil) en esa época el coste de los desperdicios podía alcanzar el 30% del coste total de la obra. A continuación se adjunta un cuadro con el resumen de los desperdicios detectados así como su cuantificación:

| ESTIMADO DE DESPERDICIO EN OBRAS DE EDIFICACIONES | | |
|--|--|--------------|
| (% del costo total de obra) | | |
| ITEM | DESCRIPCIÓN | % |
| Restos de material | Restos de mortero Restos de ladrillo Restos de madera Limpieza Retirada de material | 5.0% |
| Espesores adicionales de mortero | Tarrajeo de techos Tarrajeo de paredes internas Tarrajeo de paredes externas Contrapisos | 5.0% |
| Dosificaciones no optimizadas | Concreto Mortero de tarrajeo de techos Mortero de tarrajeo de paredes Mortero de contrapisos Mortero de revestimientos | 2.0% |
| Reparaciones y re-trabajos no computados en el resto de materiales | Repintado Retoques Corrección de otros servicios | 2.0% |
| Proyectos no optimizados | Arquitectura Estructuras Instalaciones sanitarias Instalaciones eléctricas | 6.0% |
| Pérdidas de productividad debidas a problemas de calidad | Parada y operaciones adicionales por falta de calidad de los materiales y servicios anteriores. | 3.5% |
| Costos debidos a atrasos | Pérdidas financieras por atrasos de las obras y costos adicionales de administración, equipos y multas. | 1.5% |
| Costos en obras entregadas | Reparo de patologías ocurridas después de la entrega de obra. | 5.0% |
| TOTAL | | 30.0% |

Tabla 11. Estimación de desperdicios en obras de edificación Sao-Paulo, Brasil. Picchi 1993

Por mi experiencia en el sector, me parece que el total calculado es muy elevado aunque puede dar un orden de magnitud del porcentaje tan alto que pueden suponer respecto al coste total. El beneficio industrial establecido para las obras de la administración es del 6% en la mayoría de los casos, y puede ser algo mayor en las obras privadas llegando hasta el 10%. Por lo tanto, aunque la cuantificación de los desperdicios fuese solamente la mitad de lo reflejado en la tabla, ya superarían ampliamente el margen previsto.

5.1.2. Estimación del ahorro producido.

A continuación se va realizar un análisis del ahorro que podría producirse con la aplicación de las técnicas Lean en una obra tamaño medio. Se ha tomado como referencia una obra con un presupuesto de contratación de 2.000.000 €, que puede ser por ejemplo el presupuesto de un colegio infantil, de edificio de oficinas de 2.500m², de una promoción de 25 viviendas en bloque o de 20 viviendas adosadas. El ahorro podría reflejarse en los siguientes apartados:

- **Reducción de los despilfarros de materiales.** Como se ha expuesto anteriormente es habitual comprar un 10% más de las cantidades estrictamente necesarias de los materiales que se van a emplear en obra. Los estudios de Koskela en 1993, en el desarrollo del Lean construcción cifran el exceso también en esa cantidad. Este porcentaje se dedica a compensar deterioros, uso de piezas incompletas, reposición de unidades mal ejecutadas, etc. que no son otra cosa que despilfarros. Con las acciones previstas por las técnicas lean como las 5S's, uso de tarjetas kanban para el suministro de hormigón o mortero, ejecución de productos intermedios en taller o planificación en la fase de proyecto del tipo de los materiales, se podría pasar de un exceso del 10% al 3%. Si tenemos en cuenta que los materiales representan aproximadamente el 30% del total del proyecto, esta reducción de los excesos del 7% se traduciría en un ahorro que podría ser del 2% sobre el total de los costes. Es decir, en la obra tipo considerada esa cantidad podría ascender a unos 40.000€.
- **Plazos de ejecución.** La prolongación de los plazos de ejecución repercute en los costes indirectos y en los gastos generales asociados a la obra. Los costes indirectos asociados al personal, instalaciones provisionales de obra, medios de manutención y consumo energético en el caso de una obra de hasta 2.000.000 de euros puede ser de unos 30.000€ al mes, es decir, suponen un 1,5% del presupuesto al mes. Con las técnicas detalladas y aplicando el Sistema de Ultimo Planificador podría reducirse el plazo de ejecución de los trabajos. En muchos casos los plazos se cumplen pero a costa realizar tareas no previstas inicialmente, por lo tanto en este caso el ahorro podría venir de evitar tener que recurrir a recursos como horas extras, trabajar los fines de semanas o recurrir al empleo de más medios auxiliares. En cualquier caso siendo conservadores, si consideramos que sobre un plazo medio de ejecución de 18 meses se puede reducir aunque solo sea un mes, ya supondría un ahorro del 1,5%.
- **Mano de obra.** En este caso más que materializarse en un ahorro directo lo que supondría la aplicación de las técnicas Lean sería liberar al personal de realizar ciertas tareas que no aportan valor. Por ejemplo no sería necesario descargar un camión a la zona de acopios para después llevarlo a los tajos. Como hemos visto, este paso intermedio si se programa adecuadamente puede evitarse. El tiempo que se libera puede dedicarse a la realización de otras tareas como la implantación de las 5S's, con la obtención de los beneficios que esta metodología lleva asociada. El tiempo liberado también se puede dedicar a la supervisión de la calidad del trabajo realizado por las subcontratas, lo que repercute en la reducción de trabajo del departamento de postventa. En este apartado no se contempla una reducción directa, sino que el ahorro conseguido lo trasladamos al apartado siguiente donde se analiza el departamento postventa.
- **Ahorro del departamento postventa.** Para una obra media como la que se está considerando en este ejemplo de unos 2.000.000 de euros el coste destinado a la gestión de postventa puede ascender a unos 40.000€ que representa un 2% del presupuesto. Este coste es el de un equipo formado, en la parte de gestión, por una persona dedicada a la atención de los clientes y a coordinar a las empresas subcontratistas, y en la parte de ejecución por un oficial de remates y un peón. Estas personas pueden estar asignadas al proyecto en exclusiva unos dos meses e ir descendiendo su dedicación de forma gradual hasta alcanzar el año que cubre la garantía. Al coste del personal también habría que añadir materiales y recursos como casetas y amortización de equipos. Con la resolución de la mayor parte de los problemas en la fase de obra se evitaría en gran medida la necesidad del departamento de postventa, la clave está en solucionar los problemas tan pronto como se detectan evitando que lleguen a la fase de entrega de la vivienda. Con esta forma de actuar podría reducirse la aportación al departamento postventa del 2% calculado anteriormente a un 0,5%, asignando una cantidad para atención al cliente y gestión de imprevistos.

- **Ahorro en equipos de manutención.** En este apartado habría que considerar el ahorro que pudiera producirse en el funcionamiento de los equipos de manutención por una correcta gestión de los movimientos y transportes. El ahorro repercutiría más en los recursos necesarios para su funcionamiento (energía, personal y mantenimiento) que en la reducción del tiempo en el que esos equipos tengan que permanecer en obra. Con un estudio adecuado de los trazados y rutas de los movimientos internos podría reducirse la cantidad de gasoil y electricidad necesaria para el movimiento de los vehículos. La previsión de coste para estos conceptos en una obra del tipo analizado puede suponer hasta 30.000€. Este apartado supone un ahorro menor que los anteriores pudiendo alcanzar en el mejor de los casos 10.000€ para el total de la obra, que representa un 0,5%.
- **Mejora de las comunicaciones con el equipo proyectista.** En este resumen no se ha incluido los aspectos relacionados con la fase de diseño de la elaboración de los proyectos, ya que en la mayoría de los casos se trata de agentes y etapas diferenciadas. En el caso de los proyectos gestionados con los procedimientos de Project Management podrían producirse importantes ahorros y sería el ámbito donde las técnicas Lean descritas tendrían mayor alcance. Cabe mencionar en este sentido que en la mayoría de las obras con las administraciones se hace uso del 10% previsto para la liquidación, en la que se refleja el ajuste de las unidades realmente ejecutadas.

No obstante, en la gestión de un proyecto tradicional, la aplicación de ciertas técnicas Lean que promueven la mejora de los flujos de comunicación con la Dirección facultativa, pueden producir un ahorro tanto de costes como de tiempo. Estas técnicas son las asociadas a la especificación de las indefiniciones de proyecto y a la elección de materiales, realizando un programa de toma de decisiones que no condicione el avance los trabajos. En este caso se está en manos de un agente externo que es el último decisor, por lo que en último término estos aspectos no son totalmente controlables por el equipo de obra. El objetivo es conseguir que el control del flujo de las actividades se realice desde la programación prevista sin que se vea alterado por actividades intermedias de toma de decisiones. Es decir, que en la medida de lo posible el flujo se asocie a procesos “pull” donde la programación de la producción es la que tira del proceso constructivo. En este sentido, se persigue evitar parones en la ejecución de los trabajos o tener que hacer retrabajos por aspectos mal definidos. Es difícil valorar el ahorro tanto en recursos (mano de obra, materiales, energía...) como en acortamiento de los plazos de ejecución producido por la mejora de la comunicación, pero no es exagerado estimar que con una adecuada definición de todos los aspectos de proyecto, en la obra tipo de referencia, los ahorros podrían suponer al coste de acortar un mes el plazo de ejecución. Como se ha reflejado anteriormente esto se traduce un 1,5% del coste total.

- **Aspectos difícilmente cuantificables.** Hay otra serie de aspectos que si bien no suponen un ahorro directo en un obra en concreto si que pueden suponer un incremento del valor de las actividades de la empresa. La implantación de técnicas Lean pretenden mejorar la gestión de los distintos proyectos de la empresa y con ello ofrecer un producto de mejor calidad y precio en un plazo menor. Esto repercute indirectamente en una serie de aspectos intangibles, como por ejemplo la imagen que de la empresa puedan tener sus potenciales clientes. Esto puede conducir a un incremento de las ventas y al fortalecimiento de la posición de mercado que la empresa ostenta.

Estos ahorros intangibles también se pueden reflejar en los costes financieros y en los costes de oportunidad asociados a la mejor gestión de los recursos económicos de la empresa. Con los ahorros producidos y con la mejor gestión de las compras en las que no es necesario anticipar el capital invertido en inventarios. Por lo tanto se puede conseguir una reducción de los recursos financieros necesarios para el desempeño de los proyectos. En este aspecto también se podría contemplar la disminución de los gastos generales correspondientes a esta obra en concreto. Estos gastos se suelen repercutir como un porcentaje fijo sobre el importe de producción o por meses, por lo que en ambos casos representarían un importe menor.

Otro aspecto importante son las mejoras que puedan obtenerse en cuanto a las mejoras que puedan producirse en el ámbito de la siniestralidad laboral. Con la implantación de las 5S's, la reducción de movimientos internos y tareas de almacenamiento, el trabajo con contratistas de confianza y sin indefiniciones de proyecto, se puede producir una reducción de los accidentes laborales. Estos accidentes tienen un importante coste que se refleja en la productividad, ya que además de las posibles bajas también se altera la continuidad del resto de los trabajos en la obra.

A continuación se incluye una tabla a modo de resumen con los ahorros que se podrían producirse en los aspectos estudiados anteriormente:

| | % | € |
|--|--------------|------------------|
| Reducción de los despilfarros de materiales | 2,00% | 40.000 |
| Reducción de los plazos de ejecución | 1,50% | 30.000 |
| Optimización del empleo de la mano de obra | - | - |
| Departamento postventa | 1,50% | 30.000 |
| Ahorro en equipos de manutención | 0,50% | 10.000 |
| Reducción de las indefiniciones de proyecto | 1,50% | 30.000 |
| Intangibles | - | - |
| TOTAL | 7,00% | 140.000 € |

Tabla 12. Estimación de la reducción de costes producida. Elaboración propia.

El análisis se ha tratado de hacer desde un punto de vista conservador, y aun así el porcentaje de ahorro en torno al 7% ya es superior al beneficio industrial previsto para la ejecución de una obra. Este ahorro, que se produce por la eliminación de tareas que no aportan valor al cliente y la mejora de la gestión logística, se puede reflejar de distintas formas. Los dos casos extremos serían por un lado trasladar el total del ahorro al cliente, reduciendo la oferta realizada lo que hará a la empresa ser más competitiva, y en el otro polo se puede mantener el precio y aumentar el margen comercial. Dependiendo del tipo de empresa y de la situación coyuntural, normalmente se tomará una postura intermedia de entre las dos descritas.

5.2. Análisis económico de la realización de este estudio.

En este punto se va a realizar un análisis económico de lo que supondría la realización de un informe de este tipo, en el que se estudien la implantación de soluciones Lean, para una empresa constructora. Se va a realizar desde el punto de vista de que el encargo se ha externalizado a un consultor ajeno a la empresa.

5.2.1. Asignación de recursos.

El estudio de implantación de soluciones Lean en la empresa constructora se ha encargado a una consultora. Dicha consultora ha asignado al proyecto a un Arquitecto Técnico senior con más de 15 años de experiencia en la ejecución de todo tipo de proyectos de edificación. El tiempo estimado para el desarrollo del estudio es de tres meses con dedicación completa, en esta primera fase se prevé la elaboración de un análisis inicial que permita la toma de decisiones posteriores para la implantación de las acciones propuestas.

Para desarrollar su trabajo se le han asignado los siguientes recursos materiales:

- **1.- Vehículo.** Con el que poder desplazarse hasta las oficinas de la empresa en la que se va a realizar el estudio y a sus distintos centros productivos que estén abiertos en ese momento. En estos puntos se realizarán las entrevistas y visitas en las que se obtendrá la información necesaria para el desarrollo del estudio.
- **2.- Equipo informático.** Compuesto por un ordenador portátil en el que esté instalado el software de uso habitual en el ámbito de la construcción (Autocad, Office, programas de edición fotográfica, programas de planificación de obras, etc.). También se incluiría una cámara de fotos digital para reflejar los aspectos detectados y un escáner con el que digitalizar los documentos que le facilite la empresa.
- **3.- Teléfono móvil con conexión a Internet.** Con el que poder comunicarse y gestionar las comunicaciones cuando esté fuera de la oficina.

Además se cuenta con el respaldo de los medios técnicos e instalaciones de la empresa a la que pertenece el técnico, el coste de estos se calculará como un porcentaje sobre los costes directos calculados. Al coste calculado de esta forma habría que incluir el tiempo dedicado a la elaboración del estudio por los técnicos y responsables de la empresa cliente, este coste en principio se puede englobar dentro de los gastos generales de dicha empresa.

El coste de estos conceptos, así como su desglose se refleja en las siguientes tablas:

TABLA 1. Costes del personal asignado al proyecto. Se incluye el coste de tres meses de dedicación completa de un técnico. Además se indica el coste semanal y diario por si es necesario ampliar el tiempo de asignación al proyecto para realizar nuevos estudios o realizar un seguimiento de las propuestas que se detallen en el estudio.

| CONCEPTO | COSTE |
|---|--------------------|
| SUELDO ANUAL | 30.000,00 € |
| SEGURIDAD SOCIAL (35%) | 10.500,00 € |
| TOTAL | 40.500,00 € |
| COSTE MENSUAL | 3.681,82 € |
| COSTE SEMANAL | 861,70 € |
| COSTE DIARIO | 167,36 € |
| TOTAL COSTE ASIGNADO AL PROYECTO (3 meses) | 11.045,45 € |

Tabla 13. Costes del personal asignado al proyecto. Fuente: Elaboración propia.

TABLA 2. RECURSOS MATERIALES. En esta tabla se desglosa el coste de los distintos equipos y medios informáticos empleados para la realización del estudio. Se ha supuesto un periodo de amortización de 3 años, repercutiendo al proyecto la parte proporcional a tres meses.

| CONCEPTO | COSTE |
|---|-------------------|
| ORDENADOR PORTATIL | 1.800,00 € |
| LICENCIAS DE SOFTWARE | 630,00 € |
| Windows | 120,00 € |
| Paquete Office | 320,00 € |
| Autocad | 1.200,00 € |
| Edicion fotográfica | 650,00 € |
| IMPRESORA LASER COLOR | 800,00 € |
| CAMARA DE FOTOS | 350,00 € |
| SMARTPHONE | 500,00 € |
| TOTAL | 6.370,00 € |
| COSTE MENSUAL (Vida útil estimada 3 años) | 176,94 € |
| TOTAL COSTE ASIGNADO AL PROYECTO (3 meses) | 530,83 € |

Tabla 14. Costes del personal asignado al proyecto. Fuente: Elaboración propia.

TABLA 3. RESUMEN DE COSTES. En la tabla resumen se incluyen los conceptos considerados en los apartados anteriores además del coste del vehiculo y los consumibles (papel, tóner, encuadernaciones...) que se prevé que se van a emplear. Con la suma de estas líneas se obtiene el coste directo, que sirve de base para calcular los costes indirectos. En estos se incluyen la parte proporcional de los recursos de la empresa empleados, tales como alquileres, consumos de energía, personal administrativo o seguros de responsabilidad civil entre otros.

| CONCEPTO | COSTE |
|--|--------------------|
| COSTE DEL PERSONAL | 11.045,45 € |
| COSTE DE LOS EQUIPOS INFORMÁTICOS | 530,83 € |
| COSTE ALQUILER DEL VEHÍCULO | 1.500,00 € |
| CONSUMIBLES Y VARIOS | 400,00 € |
| TOTAL COSTE DIRECTO | 13.476,29 € |
| COSTES INDIRECTOS (12% sobre C.D.) | 1.617,15 € |
| TOTAL COSTE | 15.093,44 € |

Tabla 15. Costes del personal asignado al proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto se puede concluir que el **coste estimado** de la realización del estudio de implantación de soluciones Lean en una empresa constructora sería de **15.093,44€**. No obstante, para presentar una oferta al cliente habría que incluir el margen comercial que se considere oportuno además de considerar los impuestos vigentes. Otro apartado que tampoco se ha incluido son los costes de los visados por el colegio profesional del técnico autor del estudio, en el caso de que la empresa cliente lo solicite.

6. Conclusiones y Futuras Líneas de Trabajo

Como se ha tratado de demostrar en los distintos apartados que componen el proyecto, el sector de la construcción de obras de edificación presenta una gran cantidad de ineficiencias que podrían solventarse en gran medida con la utilización de herramientas Lean, con éxito en otros ámbitos productivos. Estas herramientas podrían complementar a los métodos de gestión convencionales con el objetivo de mejorar los resultados e incrementar el valor de los elementos producidos. Los desperdicios presentes en las obras tienen un origen similar al de otros sectores, es decir, los métodos de trabajo por lotes, esperas y almacenajes. Aunque con componentes específicos propios de la construcción como la alta presencia inicial de defectos, que no están presentes en otros sectores productivos.

A la vista de los resultados obtenidos se puede comprobar que las herramientas más simples son las que se han mostrado más efectivas. Esto es así, debido en gran medida a su sencillez en la aplicación que permiten adaptarse mejor a un sistema productivo poco automatizado y con puntos de producción dinámicos como el de la construcción. Tratar de implantar el Just In Time al completo, a través de mecanismos que permitan el flujo continuo, controlando el Takt time mediante procesos Pull parece bastante ambicioso en este caso. No obstante se pueden conseguir mejoras significativas con elementos parciales del sistema JIT, por ejemplo secuenciando la recepción de materiales de forma que se eviten almacenajes y movimientos.

La herramienta que se ha mostrado más efectiva ha sido el trazado del mapa de valor de los procesos logísticos. Su utilización ha permitido conocer la forma en la que se desarrollan los trabajos actualmente, identificando los problemas y limitaciones presentes. En el análisis del VSM trazado se ha detectado la presencia de varios cuellos de botella generados por las indefiniciones de proyecto. Como se ha comentado, la forma más extendida de desarrollar los proyectos en los que el equipo proyectista es ajeno a la ejecución de los trabajos, genera este tipo de problemas que impiden que desde la fase de diseño se puedan considerar los aspectos importantes que van a surgir durante la fase de ejecución. Para actuar contra estos cuellos de botella es necesario planificar las fechas límites para la resolución de estos problemas, realizando para ello un planteamiento de procesos Pull, en los que las necesidades de producción programadas tiran del resto de actividades, siendo la primera de ellas la definición completa de los aspectos del proyecto. Este aspecto puede mejorar también con la inclusión de líneas con las tareas de gestión en la planificación de los trabajos, de forma que se fijan las fechas límites de actuación y su vinculación con las actividades de ejecución.

En el estudio económico se ve como el aspecto que puede suponer un mayor ahorro es minimizar el desperdicio de materiales. Muchas de las acciones descritas en este trabajo van en esa dirección, como el uso de tarjetas kanban que permitan una mejor comunicación entre los puntos de consumos y los de elaboración de productos intermedios. Hay ciertas prácticas muy arraigadas en el sector, como el trabajo a destajo por empresas externas, que potencian la generación de estos desperdicios de materiales por lo que parece adecuado implantar mecanismos que permitan la optimización del uso de los materiales.

Además de las propuestas prácticas planteadas, parece muy interesante la utilización del método de planificación incluido en la metodología Lean Construction denominado Sistema del Último Planificador. Este sistema, a partir de revisiones periódicas de la planificación inicial, permite maximizar aquello que puede hacerse en cada momento. Para ello, convierte los proyectos en cadenas de pequeños compromisos que se renuevan periódicamente para plazos de tiempo cada vez más cercanos, intentando que el trabajo fluya de una forma más predecible. El inconveniente principal que presenta este método es la continua realización de reuniones, involucrando a todos los implicados en la ejecución para conseguir los compromisos de actuación.

En definitiva, se trata de un sector que presenta muchos aspectos de mejora, siendo los más importantes la presencia de defectos, que obliga a destinar una gran cantidad de recursos para su reparación, y la demora en los plazos de ejecución. También hay que tener en cuenta el despilfarro de los distintos materiales empleados por diversos motivos. La gestión logística, salvo los casos especiales mencionados, no forma parte integrante de las principales tareas a llevar a cabo, ya que normalmente no se hace un estudio específico de su importancia en el conjunto de las operaciones. Debido a la fuerte competencia, los márgenes con los que se trabaja en las obras de edificación son muy ajustados, en torno al 6% en el mejor de los casos. Aunque, si bien porcentualmente el margen es bajo, en términos absolutos sí que representan cantidades importantes por el alto importe de los presupuestos de ejecución. Por lo tanto, cualquier incremento que se produzca puede representar una mejora considerable de los resultados. Esta mejora se ha cifrado, aplicando criterios conservadores, en un 7% lo que prácticamente duplica el margen habitual en este tipo de proyectos.

La implantación de este sistema debe contar el convencimiento de todos los agentes intervinientes para su éxito. Desde la dirección de la empresa que permita esta forma de trabajo a un equipo de obra, de los proveedores que asuman que el trabajo por lotes puede no ser el más adecuado, incluso hasta la propiedad, en muchos casos las administraciones públicas, que debe estar convencida de las bondades de estos métodos. Precisamente la propiedad es muchos casos el origen de los problemas presentes, ya que en muchos casos acuciados por plazos de entrega imposibles de cumplir con vistas a obtener réditos electorales, las obras se entregan sin terminar o con múltiples defectos cuya solución posterior se dilata en el tiempo.

Por todos estos motivos parece especialmente indicada para la optimización de los procesos, la utilización de la metodología Lean que cuenta con herramientas específicas que atacan la eliminación de estos desperdicios de forma eficiente. Además precisamente ahora puede ser un buen momento para desarrollar e implantar estos nuevos planteamientos, ya que debido a la paralización del sector, la empresa que aproveche este tiempo en optimizar sus procesos saldrá reforzada cuando la construcción de obras vuelva a ponerse en marcha. La adopción de estas técnicas puede ser un elemento diferenciador que aporte una ventaja competitiva, permitiendo la mejora de los resultados de la empresa que los adopte. Aunque en mi opinión, el elemento que permitiría una mejora considerable en el sector sería la adopción de formas de gestionar los proyectos basadas en el Project Management ya que permitirían contemplar dicho proyecto como un conjunto. De esta manera se salvaguardan los intereses del promotor y estas técnicas Lean tendrían una mayor repercusión al vincular las fases de diseño con las de ejecución.

Las **futuras líneas de trabajo** que podrían llevarse a cabo para complementar los aspectos estudiados en este proyecto pueden ser principalmente aquellas que pasan por la ampliación del rango de estudio empleado. Es decir, este proyecto se ha circunscrito al análisis de las herramientas de forma particular, aplicadas principalmente a la logística interna y en obras de edificación. Por lo tanto las posibles líneas que se podrían abordar son las siguientes:

- **Metodología de aplicación de Lean Management completa.** Como se ha mencionado a lo largo del proyecto las propuestas en él realizadas se han centrado a partir de los medios disponibles en la metodología Lean. No obstante estos medios son los empleados para alcanzar un fin que es la implantación del Lean Management en el conjunto de la empresa. Aquí se han estudiado los medios porque el análisis se circunscribía a los métodos empleados en las obras, mientras que para realizar una metodología completa sería necesario modificar los procesos en todos los departamentos de la empresa.
- **Inclusión de la logística externa.** Para poder ampliar el estudio a las operaciones de la logística externa es preciso contar con la colaboración de los proveedores implicados en la obra. Las estrategias Lean se han mostrado más eficaces a medida que las organizaciones que han asumido esta metodología de trabajo han ido sumando a su forma de gestionar a los distintos proveedores presentes en la cadena de suministro. Especialmente, esto ha sido posible en el sector de la automoción ya que se trata de empresas que están en posición de dominio frente a sus proveedores y estos se ven obligados a asumir sus técnicas de trabajo. El sector de la construcción está más atomizado lo que impide ejercer este dominio sobre los proveedores, por lo que la extensión de las técnicas al resto de agente debe basarse en la selección y mediante el establecimiento de relaciones estables.
- **Adaptación a la gestión logística de las obras públicas.** Este tipo de obras, como se comentó inicialmente, presentan unas particularidades que sería necesario estudiar de forma diferenciada. En este tipo de obra la logística tradicionalmente ha sido estudiada con mayor detalle ya que supone uno de sus componentes esenciales. Esto es así por diversos motivos como la gran extensión que pueden ocupar, las grandes distancias a recorrer, el uso de transportes especiales para suministrar elementos de grandes dimensiones, etc.
- **Estudio de un mayor número de herramientas.** Otra línea futura de actuación puede ser afrontar el estudio de otras técnicas más específicas que aquí solo se han visto de forma superficial. El mantenimiento preventivo o el despliegue de la función de calidad también pueden tener cabida en cierto tipo de proyectos especialmente en aquellos gestionados mediante Project Management.

7. Bibliografía y Referencias

ALARCÓN CÁRDENAS, Luis Fernando; PELLICER ARMIÑANA, Eugenio. *Un nuevo enfoque en la gestión: La construcción sin pérdidas*. Revista de Obras Públicas / Febrero 2009 / Nº 3.496

BALLARD, Herman Glenn; HOWELL, Gregory. *Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow*, Segunda Conferencia Anual de Lean Construction (1994)

BALLARD, Herman Glenn. *The Last Planner System of Production Control*. The University of Birmingham (2000)

CRUZ-MACHADO, Virgilio; ROSA, Pedro. *Modelo de planificación basado en construcción ajustada para obras de corta duración*. Información Tecnológica Vol. 18 nº1 (2007)

GARCÍA RUIZ, Gonzalo. *Organización de obras*. CEAC (1981)

HOWELL, Gregory A. *What is Lean Construction*. International Group of Lean Construction (1999)

JONES, Daniel T.; WOMACK, James P. *Lean Thinking*. Lean Enterprise Institute (2003)

PICCHI, Flavio A. *Sistemas de calidad: uso en empresas constructoras*. Tesis doctoral (1993)

PMBOK, "Project Management Institute - A Guide to the Project management body of knowledge", Newtown Square, Pennsylvania USA (2000).

RIUS GUMBAU, Ismael. *Planificación de obras*. Bubok Publishing (2012)

RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, Antonio; ALARCÓN CÁRDENAS, Luis Fernando; PELLICER ARMIÑANA, Eugenio. *La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador*. Revista de Obras Públicas / Febrero 2011 / Nº 3.518

ROTHER, Mike; SHOOK, John. *Observar para crear valor*. Lean Enterprise Institute (1999)

www.croxleycontrucciones.com Método de construcción inteligente.

www.prodintec.com Centro tecnológico para el diseño y la producción industrial de Asturias.

www.leansixsigmainstitute.com

www.leanmdc.com Sistema Lean

<http://jalfez.es> Estrategias Lean

