

01-011

APPLYING LEAN METHODOLOGY TO IMPROVE THE PROJECT MANAGEMENT

Nieto Morote, Ana M^a ; Ruz Vila, Francisco de Asis
Universidad Politécnica de Cartagena

In an globalized and increasingly competitive environment, with both budget and time restrictions, project managers need to improve the management of their projects, using different structures and treatments from the traditional ones, which allow to achieve management models of high productivity at all stages of a project. The application of the principles of Lean philosophy to project management is presented as a suitable tool for efficient projects management. This methodology is based on the systematic elimination of the existing waste to improve the production system. The objective of this article is to define a clear and effective methodology for the application of the principles Lean to project management, as well as, show the benefits obtained after the application of the same to a real case. Such results confirm as after identification of shortcomings in the work organization, resource management and document management in the execution of a construction project, applying the Lean thinking is achieved a reduction in costs and an improvement of efficiency over time.

Keywords: *Lean Manufacturing; time management; cost control*

AGILIZAR LA GESTIÓN DE PROYECTOS APLICANDO LA METODOLOGÍA LEAN

En un entorno globalizado y cada vez más competitivo, con mayores restricciones tanto presupuestarias como temporales, los directores de proyecto necesitan mejorar la gestión de sus proyectos, con estructuras y tratamientos distintos a los tradicionales, que permitan lograr modelos de gestión de alta productividad en todas las etapas de un proyecto. La aplicación de los principios de la filosofía Lean a la gestión de proyectos se presenta como una adecuada herramienta para lograr una eficiente gestión de proyectos. Dicha metodología se basa en la eliminación sistemática de los desperdicios existentes para mejorar el sistema productivo. El objetivo de este artículo es definir una metodología clara y eficaz para la aplicación de los principios Lean a la gestión de proyectos, así como, mostrar los beneficios obtenidos tras la aplicación de la misma a un caso real. Los resultados mostrados confirman como tras la identificación de las deficiencias existentes en la organización del trabajo, la gestión de los recursos y la gestión documental en la ejecución de un proyecto de construcción, aplicando el pensamiento Lean se consigue una mejora de la eficiencia del tiempo empleado y una reducción de costes.

Palabras clave: *Lean; gestión de tiempos; control de costes*

Correspondencia: Ana M. Nieto Morote ana.nieto@upct.es

1. Introducción

El sistema Lean Manufacturing tiene su origen en el sistema de producción desarrollado por Taiichi Ohno, en los años 50, en la compañía automovilística Toyota. Es, en la década de los 80, cuando empresas japonesas y americanas empiezan a conocer y utilizar este sistema de producción, bajo el nombre de Toyota Production System (TPS), sin embargo no es hasta finales del año 1990 cuando Womack et al. (1990) documentan las ideas inherentes al sistema de producción de Toyota acuñando el concepto Lean Production.

La idea fundamental del concepto Lean es que “no hay nada de más” (Lledó, 2006), lo que significa, crear valor para el cliente y eliminar desperdicios, entendiendo por desperdicio “todo aquel recurso utilizado más del mínimo necesario para alcanzar el objetivo deseado” (Koskela 1992; Howell, 1999; Womack y Jones 1996). Por tanto, los objetivos en los que se basa este nuevo enfoque del sistema productivo son:

- Eliminar las pérdidas por demoras e ineficiencias en los procesos internos de la empresa.
- Prevenir y eliminar fallos de equipos, interrupciones y otras pérdidas de producción.
- Buscar de manera continua la perfección y las mejoras de calidad.

La metodología Lean se resume en cinco principios básicos, como muestra la figura 1:

1. Definir el valor desde la perspectiva del cliente. Se entiende por valor todo aquello por lo que el cliente está dispuesto a pagar, por tanto, cualquier actividad que no incremente el precio que pagaría el cliente por un producto o servicio solo incrementa los costes del proyecto. Sin embargo, hay que tener en cuenta que hay actividades que aunque no agregan valor son necesarias para completar el proyecto, pudiéndose considerar actividades parcialmente sin valor agregado. El objetivo último del pensamiento Lean será eliminar tantas actividades como sea posible que no agreguen valor.
2. Identificar el flujo de valor. Flujo de valor es el conjunto de actividades que deben ser completadas para entregar el producto o servicio final al cliente. Identificar el mapa del flujo de valor, permite identificar fácilmente las actividades que agregan valor y las que no lo agregan.
3. Optimizar el flujo de valor, o permitir que fluya sin obstáculos. Definir el valor e identificar el flujo de valor son condiciones necesarias pero no suficientes para cumplir con los objetivos del pensamiento Lean. Es necesario trabajar en la reducción de los tiempos de demora en el flujo de valor eliminando los obstáculos innecesarios en el proceso y, por tanto, logrando un movimiento continuo a través del flujo de valor.
4. Permitir que el cliente extraiga el valor. Es necesario que el cliente se involucre en el proceso del proyecto a fin de reconocer el valor y hacerlo suyo. Una manera eficaz de conseguirlo es a través de la generación de entregables, entendiendo por entregable cualquier producto medible y verificable que se elabora para completar el proyecto o parte del mismo.
5. Buscar permanentemente la perfección. Un proyecto Lean requiere vigilancia constante para mantener y mejorar sus actuaciones encaminadas a eliminar actividades sin valor agregado, ya que todo tiende a ser cada vez más aleatorio y caótico con el paso del tiempo.

Figura 1: Principios del pensamiento Lean



La aplicación de los conceptos del pensamiento Lean a la forma de gestionar proyectos de construcción (Womack & Jones, 1996) ha dado lugar a un nuevo sistema de gestión conocido como Lean Construction, cuyo objetivo es ejecutar proyectos maximizando el valor, minimizando residuos y persiguiendo la perfección.

El objetivo de este artículo es establecer la metodología que permita aplicar los principios del pensamiento Lean, de una manera clara y eficaz, al área de la gestión de proyectos, así como, demostrar cómo aplicando esta nueva forma de gestionar proyectos se consigue mejorar la eficiencia del tiempo empleado y reducir los costes. Para ello se mostrarán los beneficios obtenidos, tanto en plazos de ejecución como en costes incurridos, tras la aplicación de la metodología propuesta al caso real de la gestión de un proyecto desarrollado en un complejo industrial petroquímico.

2. Lean Construction

Lauri Koskela (1992) estableció los fundamentos teóricos del nuevo sistema de producción Lean aplicado a la construcción, dando origen a lo que se conoce como Lean Construction o construcción sin pérdidas. Lean Construction abarca la aplicación de los principios y herramientas Lean al ciclo de vida del proyecto: diseño, ingeniería, pre-comercialización, marketing y ventas, ejecución, servicio de postventa, atención al cliente, puesta en marcha y mantenimiento del edificio, administración de la empresa, logística y relación con la cadena de suministro.

El Lean Construction Institute (LCI) define el Lean Construction como una nueva forma de diseñar y construir edificios e infraestructuras, basada en los siguientes principios:

1. La edificación o infraestructura y su proceso de entrega se diseñan juntos para identificar mejor los objetivos del cliente.
2. El trabajo se estructura a lo largo de todo el proceso para maximizar el valor y reducir residuos.
3. Los esfuerzos para gestionar y mejorar el rendimiento están dirigidos a mejorar el rendimiento total del proyecto, porque esto es más importante que reducir los costes o el tiempo de ejecución de alguna actividad en particular.
4. El control se redefine pasando de “monitorizar los resultados” a “hacer que las cosas ocurran”.

5. La adecuada comunicación entre especialistas en diseño, suministro, montaje o ejecución asegura que se entregue valor al cliente y se reduzcan los desperdicios.

La implementación de Lean Construction a la ejecución de proyectos presenta múltiples beneficios entre los que destacan los siguientes (Alarcón, 2005; Mohan, 2005):

1. Reducción de los costes del proyecto tanto de gestión como de inversión.
2. Mejora de la programación de proyecto. Se reducen los plazos de ejecución del proyecto, tanto en la fase de diseño como de ejecución material.
3. Mejora en la gestión de las adquisiciones del proyecto. Se reduce el acopio de materiales siendo menor la necesidad de espacio para almacenarlos
4. Mayor productividad. Se reduce la necesidad de rehacer el trabajo, así como los tiempos muertos del personal, y se mejora la motivación del personal
5. Se mejora la eficiencia del personal
6. Se reducen las variaciones del proyecto, con menos cambios de órdenes y menor grado de perturbación de actividades del proyecto.

2.1 Metodología para la implementación de Lean Construction

A pesar de no existir un orden o un conjunto de reglas fijas para implementar Lean Construction, y su aplicación se debe adaptar a las necesidades y objetivos de cada empresa y cada proyecto (Pons Achell, 2014), se proponen las siguientes etapas para el caso de proyectos que ya están en desarrollo (Grau, 2008; Valencia Vanegás, 2013):

1. Formación. Todas las etapas de la metodología, análisis, obtención de soluciones e implementación de las mismas, se llevan a cabo en grupos de trabajo constituidos por los responsables de las áreas involucradas, por lo que la formación en los conceptos básicos de Lean es imprescindible.
2. Identificar el mapa de flujo de valor actual. Recopilar información sobre las actividades planificadas para el desarrollo del proyecto e identificar, mediante diagramas de flujo, el valor que aporta cada actividad.
3. Diagnóstico. Detectar dónde se encuentran los despilfarros y definir aquellas oportunidades de mejora mediante la definición de los objetivos a alcanzar.
4. Propuesta de mejora. Fruto de la fase anterior, se plantean acciones a aplicar con objeto de definir un nuevo mapa de flujo de valor.
5. Verificación del cumplimiento de los objetivos planteados.
6. Realimentación del sistema de mejora propuesto.

3. Caso de estudio

El complejo industrial en estudio centra su actividad en la obtención de diversos productos derivados del petróleo. Dicho complejo está formado por dos áreas de producción para sacar el máximo rendimiento a la materia prima, así como, por otras tres áreas auxiliares entre las que destaca el área de almacenamiento y logística que es el departamento en el que se implementará la metodología Lean.

El departamento de almacenamiento y logística es el responsable del mantenimiento y de la operación de los distintos elementos de almacenamiento y distribución, además, gestiona y coordina los suministros y recepciones de productos de clientes externos y clientes internos (otros departamentos del complejo), desde los distintos puntos de almacenaje (tanques, esferas, depósitos, etc.) y se encarga de velar por su buen estado y operatividad, tanto de

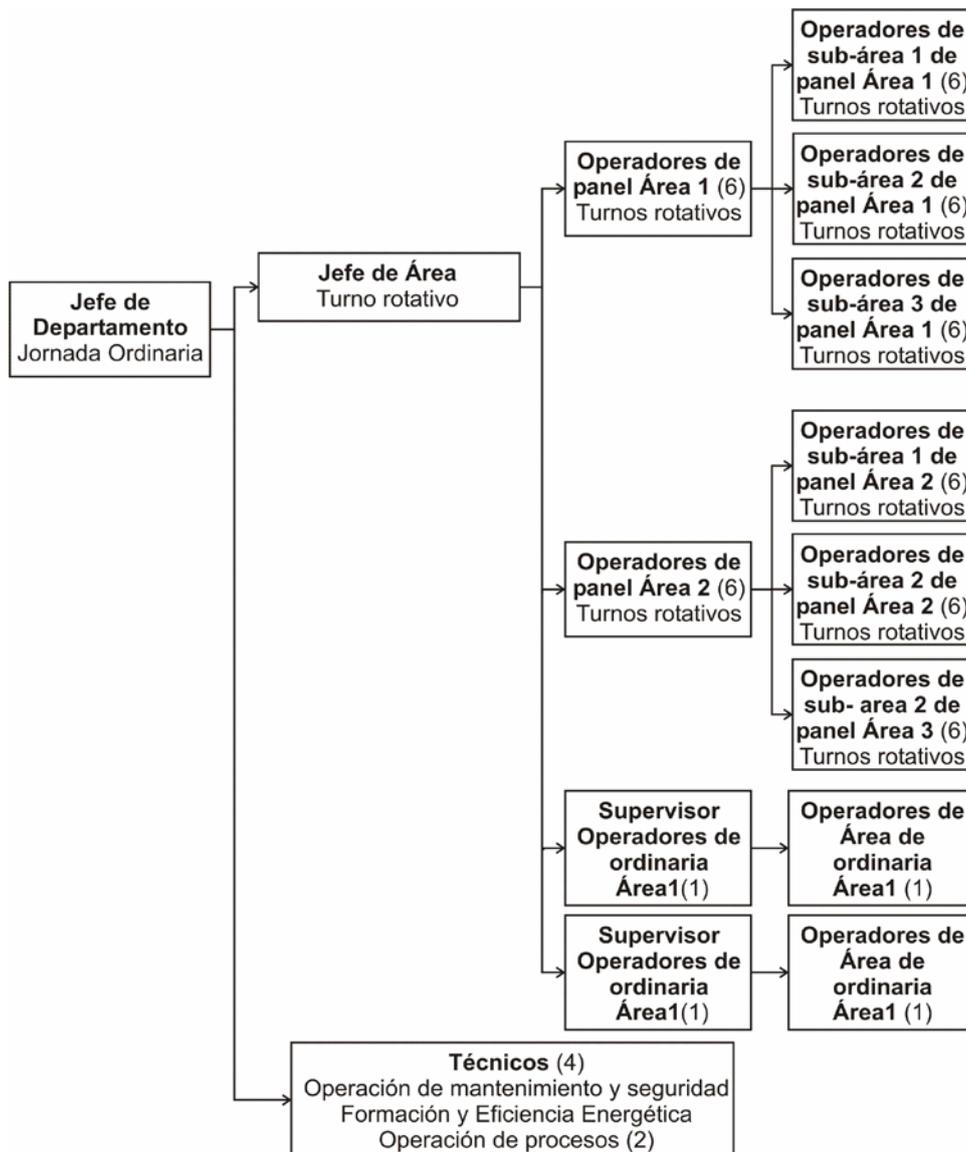
los equipos en sí, como de los sistemas auxiliares de los que dispone cada elemento (instrumentos de medida, de seguridad y cualquier otro elemento auxiliar).

Aunque son muy numerosas las actividades sobre las que actuar, los esfuerzos de implementación de la metodología Lean se centran inicialmente en las actividades relacionadas con la gestión de los permisos de trabajo.

3.1 Mapa de flujo de valor actual

El organigrama del departamento de almacenamiento y logística es el mostrado en la figura 2, siendo las responsabilidades de cada miembro del departamento, en materia de permisos de trabajo, las siguientes:

Figura 2: Organigrama



Jefe de Área. Asigna tareas de preparación de trabajos a Operadores de Área. Autoriza, da seguimiento a la ejecución y autoriza el cierre de Permisos de Trabajo ordinarios. Puede apoyarse en el Supervisor de Operaciones o en el Operador de Ordinaria.

- Turno de mañana: de 10:00 h a 13:00 h genera Permisos de Trabajo para reparar cualquier deficiencia detectada por los Operadores de Área.
- Turno de tarde: de 16:30 h a 21:00 h genera Permisos de Trabajo para reparar cualquier deficiencia detectada por los Operadores de Área.
- Turno de noche: de 22:15h a 05:00 h rellena y prepara Permisos de Trabajo del día siguiente. Genera permisos de trabajo para reparar cualquier deficiencia detectada por los Operadores de Área.

Supervisor de Operaciones de Ordinaria. Autoriza Permisos de Trabajo programados, incluyendo la seguridad. Para ello realiza las siguientes actividades:

- Sigue la ejecución de los trabajos de mantenimiento del área asegurando que se realizan de acuerdo con las medidas de seguridad requeridas en los Permisos de Trabajo.
- Asegura que los trabajos de mantenimiento están terminados antes de firmar el cierre de los Permisos de Trabajo.
- Autoriza el cierre de los Permisos de Trabajo. En estas funciones puede delegar en el Operador de Área.

Por otra parte, asiste al Jefe de Área en relación a Permisos de Trabajo ordinarios y en la supervisión de la actividad diaria cuando así se requiera.

- De 08:00 h a 08:20 h se reúne con Jefe de Área para comunicar las incidencias en equipos y la preparación de Permisos de Trabajo.
- De 08:20 h a 10:30 h realiza las autorizaciones de Permisos de Trabajo a empresas contratistas y oficinas de la empresa.
- De 10:30 h a 12:00 h controla y prepara en campo los trabajos.
- De 12:00 h a 12:30 h se reúne con los Encargados de los distintos oficios de Mantenimiento.
- De 12:30 h a 13:00 h autoriza los nuevos Permisos de Trabajo emitidos.
- De 13:00 h a 13:30 h controla y prepara en campo los trabajos.
- De 16:00 h a 16:30 h se reúne con el Jefe de Área para comunicar del estado de los trabajos.
- De 16:30 h a 17:00 h registra la información del estado de los Trabajos del día y planifica para el día siguiente.

Operador de Área. Prepara equipos para mantenimiento, asignados por el Jefe de Área y realiza comprobaciones de los Permisos de Trabajo.

- Turno de mañana: de 07:00 h a 13:00 h controla las maniobras y Permisos de Trabajo
- Turno de tarde: de 15:00 h a 21:00 h prepara los equipos, toma de condiciones y renovaciones de Permisos de Trabajo
- Turno de noche: de 23:00 h a 05:00 h prepara en campo los equipos para los Permisos de trabajo para el día siguiente

Operador de Área de Ordinaria. Prepara equipos para mantenimiento, asignados por el Jefe de Área y realiza comprobaciones de los Permisos de Trabajo.

- De 08:00 h a 08:20 h se reúne con Jefe de Área para recibir indicaciones de las tareas a realizar.
- De 08:20 h a 13:30 h y de 14:15h a 17:00 h prepara los equipos, toma de condiciones, control y renovaciones de Permisos de Trabajo.

Para realizar los permisos de trabajo se dispone de una aplicación informática que genera la autorización para poder realizar un trabajo siendo los datos a incluir los siguientes: trabajo a realizar, las condiciones de los equipos y el entorno, así como otros datos relevantes que puedan condicionar la actividad a realizar.

El proceso de Gestión de un Permiso de Trabajo consta de los siguientes pasos:

1. Cumplimentación del Permiso de Trabajo, donde se marcan las condiciones del equipo que se van intervenir y la de su entorno. Cumplimentado por el Jefe de Área o el Supervisor de Ordinaria.
2. Firma electrónica del Responsable del departamento o la empresa que va a realizar el trabajo, como enterado de las condiciones exigidas por el Jefe de Área o Supervisor de Ordinaria, en el despacho de los mismos.
3. Autorización del Permiso de Trabajo para ser preparado y/o comprobado por el Operador de Área de las condiciones fijadas en el Permiso de Trabajo.
4. Comprobación en campo por parte del Operador de Área de las medidas exigidas en el Permiso de Trabajo.
5. Firma electrónica por parte del Operador de Área del estado del equipo y de las condiciones exigidas.
6. Impresión por parte del Operador de Área del Permiso de Trabajo para entregárselo al responsable que va a realizar el trabajo, como visto bueno y autorización para poder comenzar el trabajo.

2.2 Diagnóstico

Los principales despilfarros que se detectaron fueron los siguientes:

1. Colas de espera de los contratistas, que se originan tanto en el cuarto de control del Supervisor para obtener la Autorización del Permiso de Trabajo, como en el cuarto de los Operadores de Área para obtener el Permisos de Trabajo y poder comenzar a trabajar.
2. El operador de Área tiene múltiples tareas simultáneas, al tener que realizar todo el proceso de toma de condiciones y comprobación de equipos para autorizar el trabajo, realizar todas las maniobras de producción planificadas y/o que surjan, además de cualquier otra tarea asignada por los Supervisores o Técnicos.

Los objetivos planteados para mejorar la gestión de los Permisos de Trabajo son los siguientes:

- Mejorar la gestión del tiempo de los Supervisores de Operación y de los Operadores de Área con el fin de conseguir mejor análisis de riesgos de los trabajos, preparación de equipos y optimización de los tiempos dedicados a distintas tareas.
- Conseguir disminuir los tiempos de gestión del Permiso de Trabajo
- Reducir las colas de esperas de las empresas ejecutantes de los trabajos, desde que empiezan su jornada laboral hasta el inicio de la ejecución del trabajo.

2.3 Propuestas de mejora

Las acciones propuestas para definir el nuevo flujo de valor:

Emisión de Permisos de Trabajo.

El objetivo de este punto es preparar el máximo número de Permiso de Trabajo para el día siguiente.

- Los Solicitantes emitirán en la aplicación solo el día anterior los Permisos de Trabajo de los trabajos que se van a ejecutar al día siguiente, no emitiendo los programados para días posteriores.
- Los Solicitantes emitirán el grueso de los Permisos de Trabajo para el día siguiente antes de las 14:00/15:00 h del día anterior.
- Los Supervisores revisaran sus bandejas de entrada de los Permisos de Trabajo emitidos para el día siguiente y que previamente habían planificado en la reunión con los Encargados de Mantenimiento tras su descanso para comer, cumplimentando el Permiso de Trabajo a falta de Autorizarlo el día siguiente en presencia del contratista. En el caso, de quedar Permisos de Trabajo sin cumplimentar por la carga de trabajo del Supervisor o el alto número de Permiso de Trabajo para cumplimentar para el día siguiente, el Jefe de Área del turno de noche los cumplimentará.

Preparación de equipos.

El objetivo de este punto es reducir los tiempos de espera de las empresas ejecutantes

- Los equipos de trabajo que van a ser intervenidos al día siguiente, serán preparados en las condiciones indicadas en el Permiso de Trabajo durante la tarde anterior y/o durante la noche. De manera, que cuando al día siguiente se vayan a intervenir, no se creen tiempos muertos para las empresas ejecutantes mientras se preparan los equipos.

Firma de autorizado en los cuartos de control por el Supervisor de Operación y en campo por el Operador de Área.

El objetivo es gestionar la Autorización de todos los Permisos de Trabajo de por la mañana antes de las 9:30 h y preparar el máximo número de trabajos para el día siguiente. Solo en caso de permisos Urgentes y/o trabajos excepcionales, se autorizarán Permisos de Trabajo fuera de los horarios establecidos.

- Se adelanta la hora de entrada de los Supervisores a las 07:00 h. La firma de Permisos de Trabajo de 1ª hora en los Cuartos de Control comenzará a las 7:15 h y terminará a las 9:30 h si no hay colas de permisos para firmar.

Se pone este horario de terminación de las 9:30 h ya que se ha observado que a partir de esta hora se produce un goteo discontinuo (5% de los Permisos de Trabajo) de responsables de Ejecución en los distintos Cuartos de Control. Esto permitirá que los Supervisores de Ordinaria puedan ir a Campo a supervisar / preparar los trabajos del día o día siguiente. También permitirá a los Solicitantes saber hasta qué hora pueden encontrar a los Supervisores de Ordinaria en los Cuartos de Control o en Campo.

- La firma de 2ª hora en los Cuartos de Control se realizará después de la Reunión diaria Operación / Mantenimiento de cada Área donde se reiniciará el proceso durante 30 minutos de la Firma de Permisos de Trabajo en los Cuartos de Control de 11:30 a 12:00 h

Reprogramación de las reuniones diarias de operación y mantenimiento.

- Se adelantan las Reuniones de Operación / Mantenimiento (30 minutos) diarias de las 12:00 h actuales a las 11:00 h con el fin de mejorar las visitas a campo de trabajos complejos para análisis de riesgos después de estas reuniones, así como no cambiar los horarios de jornada ordinaria a intensiva y viceversa.

Inicio de jornada laboral de la empresa contratistas.

El objetivo de este punto es reducir los tiempos de espera de las empresas ejecutantes para obtener la autorización del Permiso de Trabajo y evitar horas improductivas de los trabajadores de las mismas

- Se establecen turnos para algunas empresas contratistas, de manera que, adelante el inicio de su jornada laboral con el fin de no producir colas en las Casetas de Campo y Cuartos de Control y así reorganizar la afluencia a estos lugares mejorando la eficiencia de estas.

Eliminación de multitareas.

El objetivo de este punto, vuelve a ser reducir los tiempos de espera de las empresas ejecutantes de los trabajos, así como la pérdida de tiempo que ocasiona a los Operadores de Área pasar de una tarea a otra.

- Se establece con Planificación, que todas las maniobras posibles o cambios de carga a Unidades, se planifiquen a partir de las 10:00 h, de manera que el operador de Área pueda dedicar las primeras horas de la mañana a darle curso a todos los Permisos de Trabajo, no causando esperas innecesarias en las empresas ejecutantes al no poder autorizarles a trabajar por estar realizando otra tarea.
- Se establece que todas las tareas que los Técnicos y Supervisores mandan a los Operadores de Área pasen por el Jefe de Área, quién será el encargado de distribuir y priorizar dichas tareas con las que están ya en curso.

2.4 Verificación del cumplimiento de los objetivos

Para el estudio se tomaron datos durante todos los días de lunes a viernes, excepto festivos en las distintas áreas del complejo. Se tomaron datos durante 15 semanas, una vez implantadas las medidas anteriormente indicadas y se compararon con los datos obtenidos antes de la aplicación de las mismas

El cumplimiento de los objetivos cuantificables que se han marcado son los siguientes:

1. Iniciar el 60% de trabajos antes de las 8:30 h de los que se ejecutan antes de las 10:00 h. Como se muestra en la figura 3, se consiguió una mejora significativa en el grado de cumplimiento de este objetivo, destacando la tendencia positiva a lo largo del estudio incluso con la caída en las últimas semanas debido al periodo vacacional.
2. Incrementar el número de permisos en ejecución a las 8:30 h. Como se muestra en la figura 4, se consigue también la tendencia creciente a lo largo del estudio y de la implantación, con una caída en las últimas semanas debido al periodo vacacional, pero con una mejora notable desde que adoptaron las medidas.
3. Preparar los permisos antes de las 7:00 h. De nuevo, como se presenta en la figura 5, se observa el aumento del % de la tendencia a lo largo del estudio y de la implantación, con la caída en las últimas semanas debido al periodo vacacional. Destaca el dato que desde la implantación de las medidas (semana18), el nivel de cumplimentación de los Permisos de Trabajo no descendió del 80 % en ninguna semana.

Figura 3: Objetivo 1. Iniciar el 60% de trabajos antes de las 8:30 h

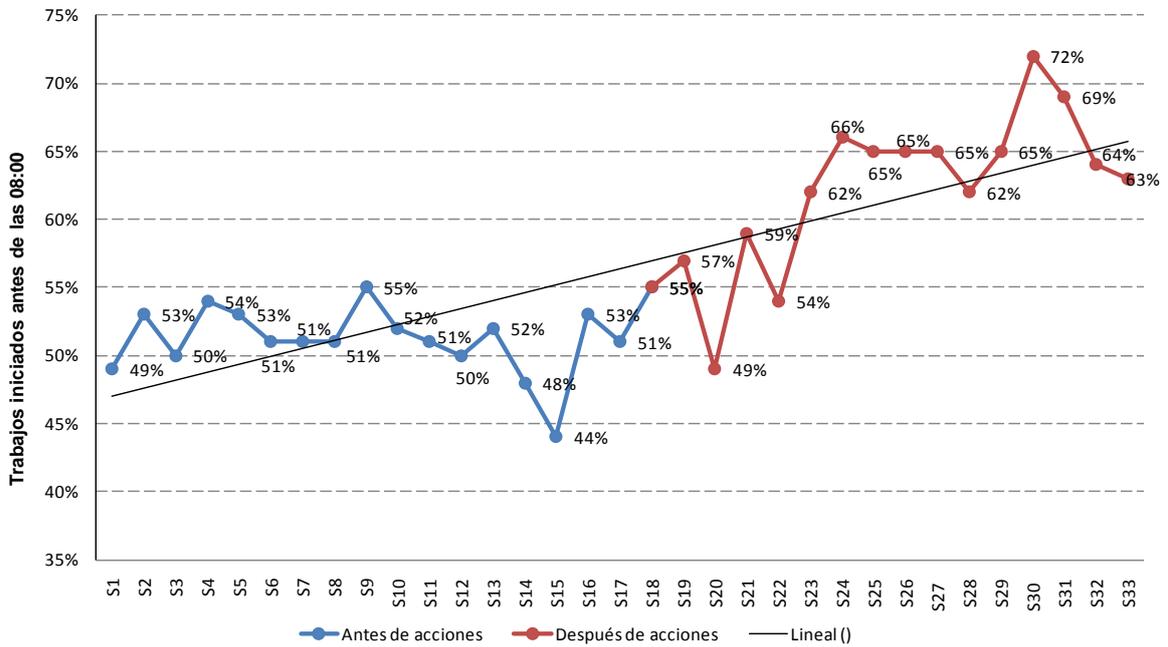


Figura 4: Objetivo 2: Aumento de los Permisos de Trabajo en ejecución a las 8:30 h

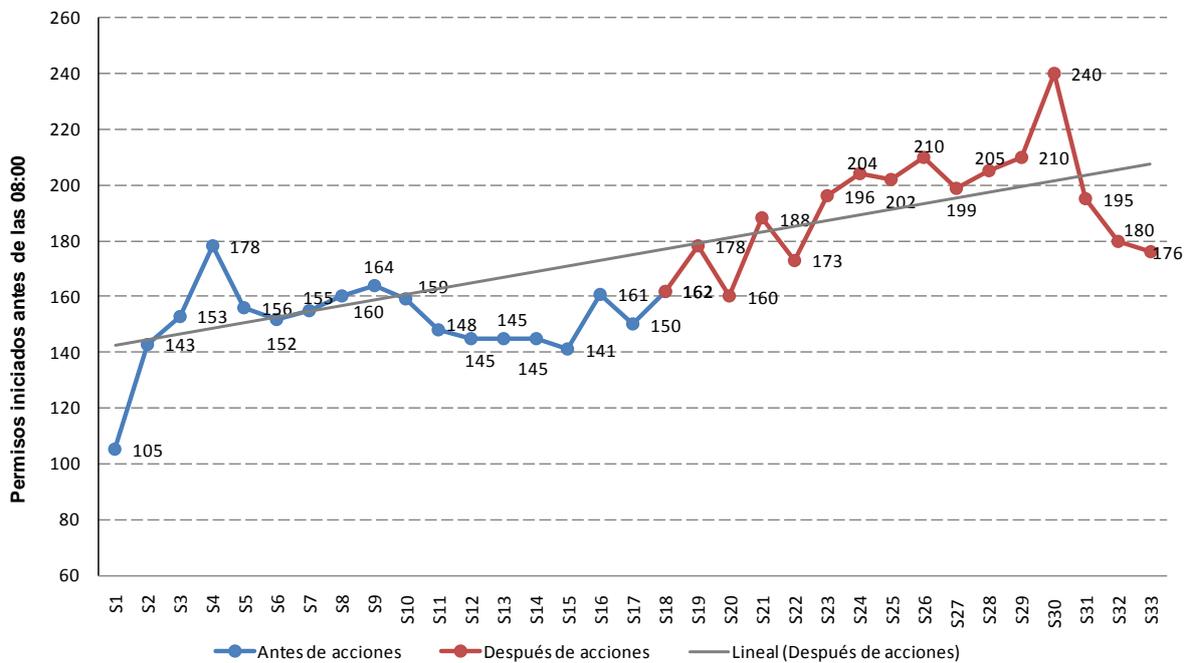
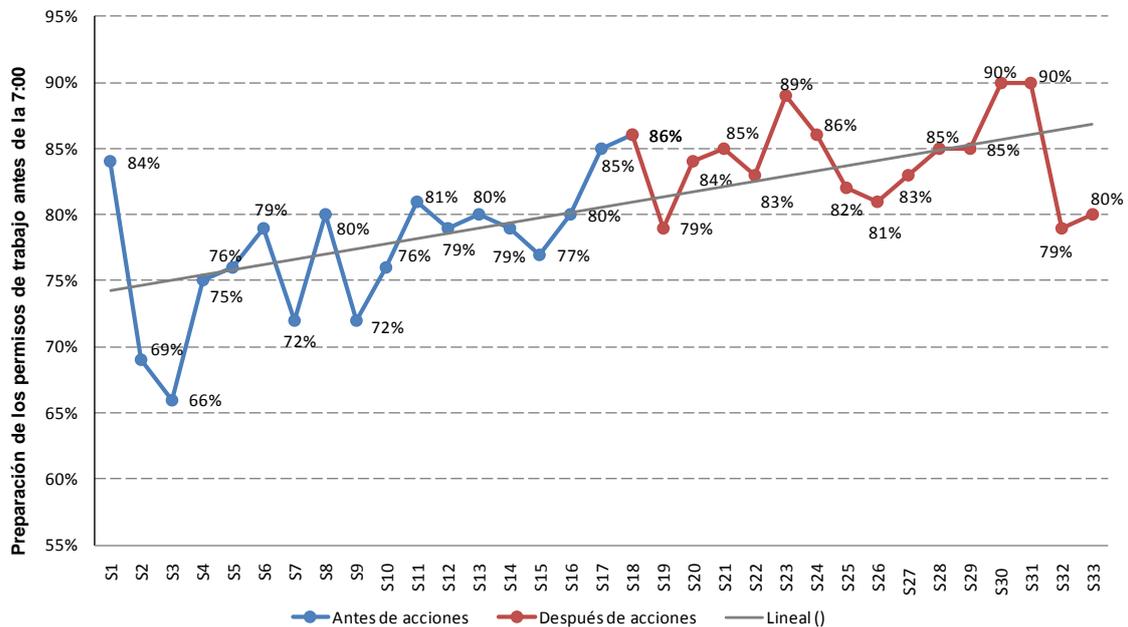


Figura 5: Objetivo 3: Preparación de los Permisos de Trabajo antes de las 7:00 h



4. Conclusiones

Los principales inconveniente que existieron para la aplicación de las medidas adoptadas fueron:

- Aceptación del cambio de horario de trabajo del puesto del Supervisor de Ordinaria, adelantando una hora su jornada laboral tanto de entrada, como de salida.
- Negativa de algunas empresas a adelantar su jornada laboral.
- Disconformidad por parte de Planificación para ajustarse al horario establecido y no poder programar maniobras en la franja horaria de 7:00 a 10:00 h.
- Cumplir la emisión de trabajos para el día siguiente con rigurosidad antes del horario establecido.

El aumento del número de trabajos comenzados antes de las 8:30 h y el número total de trabajos en ejecución antes de las 10:00 h, han supuesto para la empresa un ahorro de hora hombre no trabajada mensual de aproximadamente 102.000 €.

5. Referencias

- Alarcón, L. F. Diethelm, S., Rojo, O. and Calderon, R. (2005). Assessing the impacts of implementing Lean Construction. Proceedings IGLC-13, Sydney, Australia
- Grau, J. Torrubiano, J. (2008) Agilizar la gestión de proyectos aplicando la Metodología Lean: el caso Endesa Red. Calidad. Endesa
- Howell, G. (1999). What is lean construction? Proc. Int. Group for Lean Construction 7th Annual Conf. (IGLC-7), IGLC, Berkeley, California
- Koskela, L. (1992). Application of a new Production Philosophy to Construction. CIFE technical report nº72, Stanford University, CA, USA

- Lean Construction Institute.* (n.d.) <http://www.leanconstruction.org/about-us/what-is-lean-construction/>
- Lledó, P, Mercáu, R., Cucchi, D, Esquembre, J.F. & Rivarola, G. (2006). *Administración Lean de Proyectos*. Pearson Prentice Hall
- Mohan S. and Iyer, S. (2005). Effectiveness of lean principles in construction. Proceedings IGLC-13, Sydney, Australia
- Pons Achell, J.P. (2014). *Introducción a Lean construction*. Fundación Laboral de la Construcción
- Valencia Vánegas, (2013) *La filosofía LEAN aplicada en la Gerencia de proyectos*. PhD Universidad Nacional de Colombia
- Womack, J. Roos, D. & Jones, D. T. (1990). *The Machine That Changed the World*. Rawson Associates Scribner, New York
- Womack J. & Jones, D.T. (1996). *Lean Thinking*. Simon & Schuster, New York.