

# Integración de la gestión de fabricación y montaje de elementos de concreto pre-fabricados in situ, utilizando conceptos de Lean Thinking

## Integration of casting and management of fabrication and assembly of in-situ precast concrete elements using Lean Thinking concepts

Carlos Samaniego\*, Arioaldo Denis Granja\*\*, Flavio Picchi \*\* \*\*\*

\* Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Urbanismo, Universidad Estatal de Campinas, GTE Grupo de Gestión y Tecnología en edificaciones, Campinas, BRASIL

\*\*Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, BRASIL

\*\*\*Director, Lean Institute Brasil, São Paulo, BRASIL

carlossamaniego@yahoo.com

Fecha de recepción: 24/ 10/ 2005

Fecha de aceptación: 04/ 04/ 2006

PAG. 05 - 12

### Resumen

El interés por la aplicación de conceptos "Lean" en la industria de la construcción viene aumentando cada vez mas, pero todavía es posible encontrar algunas lagunas en la utilización de los conceptos y herramientas en los diversos procesos relacionados con la construcción civil, tales como la producción y montaje de elementos pre-fabricados in situ. Este estudio tiene como objetivo principal identificar oportunidades de mejoras en la administración de la producción y montaje de elementos de concreto pre-fabricados in situ, utilizando como referencia los principios y herramientas de "Lean Thinking". Para este fin, un Mapa de Flujo de Valor (MFV) fue diseñado, tomando como base el proceso genérico de producción y montaje de pre-fabricados del sistema Tilt-Up, basados en obras acompañadas por los autores y recomendaciones disponibles por practicantes de este sistema. A continuación un Mapa del estado Futuro fue diseñado, donde se identificaron los cambios en la gestión del proceso, incorporando conceptos lean. Los resultados obtenidos muestran que el Mapa de Flujo de Valor es una herramienta muy útil para el diagnóstico de pérdidas, y posteriormente para la localización correcta de las herramientas Lean, para mejorar el proceso como un todo. Finalmente las posibles mejoras fueron identificadas y acompañadas por las herramientas Lean necesarias para su implementación en la práctica.

Palabras Clave: Lean thinking, pre-fabricados, in-situ, Tilt- up, Mapa de Flujo de Valor

### Abstract

The interest in the application of "lean" concepts in the construction industry is growing, but gaps are still found in the implementation of the concepts and tools into different processes involved in construction; such as, on site production and assembly of precast elements. This research aims to seek improvement opportunities on site production and assembly management of concrete precast elements using lean thinking principles and tools as references. For this purpose, a Stream Value Map was design, using as generic process the production and assembly of the Tilt-Up system, base on projects followed by the authors and recommendations of the system practitioners. Next, a Future State Map was drawn, identifying changes in the process management, incorporation lean concepts. The results show that the SVM is a reliable tool for the diagnosis of losses, and the correct allocation of lean tools to improve the process as a whole. Finally, the possible improvements were identified, followed by the necessary lean tools for the implementation.

Keywords: Lean thinking, precast, in-situ, Tilt- up, Stream Value Map

## 1. Introducción

La búsqueda de procesos constructivos innovadores que contribuyan a la mejora de la calidad y eficiencia en los procesos de producción de edificaciones viene siendo cada vez más constante. Pero, la falta de madurez en el sector y el conocimiento insuficiente de estos procesos no estimulan su adopción o no permiten aprovechar al máximo el potencial de incrementar los

niveles de industrialización en los diversos procesos de producción de la construcción civil, ya que las prácticas rutinarias y tradicionales no acaban siendo substituidas por recursos y métodos basados en raciocinio sistemático que busquen eliminar la casualidad al momento de la toma de decisiones (Koskela, 1992).

Con base en el estado actual de la gestión de

## 2. Lean Thinking y sus oportunidades de aplicación en pre-fabricados

la construcción en Brasil, donde el potencial de industrialización y utilización de la producción de elementos pre-fabricados en obra no es aprovechado como ventaja para este sector. Este estudio tiene como objetivo encontrar oportunidades de mejoras en la gestión de la producción y montaje de elementos de concreto pre-fabricados en obra, por medio de la interacción de los procesos relacionados, utilizando para tal fin los principios de Lean Thinking<sup>1</sup> y sus herramientas como referencia, utilizando como objeto de estudio la técnica constructiva Tilt - Up<sup>2</sup> (Picchi, 2003); donde el alto nivel de industrialización de esta técnica permite una fácil adaptación y ejemplo de aplicación de los conceptos y herramientas Lean entre los dos principales procesos de esta técnica: pre-fabricación y montaje. La técnica de Tilt-Up consiste básicamente en la pre-fabricación de las paredes en la obra, y teniendo ellas una función estructural sustituyen las columnas y vigas de la estructura, disminuyendo el tiempo de ejecución de la obra. El proceso utiliza para su propia ventaja, el piso de concreto existente como parte de las moldajes de las paredes, y una vez que el concreto alcanza una resistencia específica, las paredes son izadas y colocadas en su posición final en la estructura. La fijación final de las paredes ocurre al momento de colocar la estructura de techumbre. La principal variable que representa valor agregado para el cliente en este proceso es el plazo de entrega.

Este estudio exploratorio liga conceptos de trabajos previos en esta área y hace un diagnóstico del problema actual en este tipo de proceso, identificando las posibles mejoras que pueden ser obtenidas a través de la implementación de conceptos y herramientas específicas de Lean Thinking en las diversas etapas del proceso.

Este estudio propone analizar un área diferente de las ya estudiadas, ya que estudios previos analizaban etapas específicas del proceso, sea la gestión en el proceso de fabricación de los elementos en la fábrica, la comunicación entre la fábrica y la obra para coordinar el transporte, entre otras etapas, y no consideraban el proceso como un todo (Ballard y Mathews, 2004). El presente trabajo propone un estudio integrado de las etapas de fabricación y montaje de pre-fabricados de concreto in-situ basado en los conceptos de "Lean Thinking".

Con el aumento en la competitividad en el sector, los planificadores se han visto obligados a adoptar estrategias de producción que envuelvan tecnologías innovadoras, teniendo como meta mejorar el proceso de gestión, destacando la utilización de recursos, el aumento de la productividad y mayores ganancias financieras. Este nuevo método ha sido identificado y utilizado por los gestores, por lo que es necesario prestarle atención, sin embargo, en Brasil el sector de la construcción civil no está lo suficientemente maduro para este método, en la mayoría de los casos debido a la falta de normalización y a la deficiencia organizacional de muchas empresas constructoras. Aún así, las empresas continúan en la búsqueda de la eficiencia y mejoras en su productividad a través de soluciones que envuelven la "importación" de otras áreas o concepción de métodos constructivos "inéditos" (Oliveira et al., 2001), lo que abre las puertas para técnicas de gestión innovadoras y exitosas en otras industrias, entre ellas, la industria de la manufactura, trayendo como ejemplo "Lean Thinking"

Los conceptos lean son originados en el mundo de la industrialización. De acuerdo con Oliveira, la industrialización es un método que, "(...) volcado para la construcción civil infiere organización, planificación, continuidad ejecutiva, repetitividad y eficiencia en el proceso de producción, todo esto dentro de una visión global de las diversas interfaces que componen la construcción de un edificio, y su principal herramienta es la "racionalización constructiva" (Oliveira, 2002: 2).

Oliveira (2002) todavía destaca que la industrialización corresponde a una visión mucho más amplia que sólo la pre-fabricación, o sea, la pre-fabricación es una manifestación de la industrialización, pero que por sí sola, no traduce toda la complejidad que envuelve el proceso de la construcción industrializada. Siendo los conceptos de lean originados en la industria de la manufactura, el potencial de aplicación con cualquier proceso industrializado, es alto (Ballard y Arbulu, 2004). Teniendo la industrialización como base principal, el flujo dentro de los procesos lean proporciona conceptos y herramientas cuyo objetivo principal es crear y mejorar la eficacia de los procesos. Sin embargo, no podemos perder de foco, que esta implementación tiene que ser llevada a cabo visualizando los procesos como un todo ya que "Lean Thinking es una compleja combinación de filosofía, sistema y herramientas" (Picchi, 2003), los cuales

<sup>1</sup> Nueva filosofía de producción que tiene su base y origen en el Sistema Toyota de Producción (valor, cadena de valor, flujo, producción halada y mejora continua), algunas veces se hace referencia a la misma con el término LEAN.

<sup>2</sup> Tilt-up es una técnica constructiva donde los paneles de concreto reforzado son fabricados in situ e izados hasta su posición final. Estos paneles servirán de componentes estructurales que sustentaran la edificación, lo que elimina la necesidad de columnas y algunas vigas estructurales.

funcionan en conjunto creando un flujo entre ellas y es aquí donde muchas veces se comete el error de implementar de manera aislada cada herramienta, lo que muchas veces no permite obtener resultados a medio y largo plazo (Picchi y Granja, 2004)

Así, el flujo considerado más importante es aquel que proporciona valor para el cliente, siendo originado de la secuencia de transformaciones en los procesos generales de la obra. Aun con su gran importancia, tenemos que considerar el resto de flujos relacionados, como por ejemplo, el flujo de información, de materiales, de equipo, de personal, y el más sutil de los flujos, el flujo de espacio de trabajo durante el proceso de construcción (Koskela et al., 2004).

La confiabilidad en el flujo de trabajo entre las diferentes etapas del proceso es importante para conseguir perfeccionar la productividad de las diversas actividades y esto puede ser mejorado mediante la integración de las secuencias de producción de los diferentes procesos relacionados y con la regulación de la capacidad de producción, de manera que trabajen en flujo constante (Ballard, 1999).

Las medidas adoptadas para la mejora de la productividad normalmente son mejoras incrementales o acaban siendo mejoras radicales. La adopción de estas tecnologías que introducen mudanzas radicales en el proceso constructivo de edificaciones, como la industrialización cerrada, no se adaptan a la realidad económica brasileña, con poca flexibilidad, lo que crea la necesidad de escalas de producción considerables. Las fluctuaciones en la demanda son altas para estos proyectos debido a su elevado capital fijo. Además de esto, la demanda acaba siendo más exigente y diversificada (Santos, 1995), por lo que la implementación deberá tener metas y propuestas de ejecución a corto y largo plazo.

En la industria de los pré-fabricados generalmente los elementos son construidos off-site, lo que crea una etapa más en la cadena de valor del producto final. Aunque estos elementos no crean un stock en la obra, su transporte, manejo y demás factores terminan siendo afectados, lo que genera buffers (colchones de espera) en la cadena de valor (Pheng y Chuan, 2001). Por lo que, tratando de aprovechar al máximo el uso de los recursos y obtener un mayor control en el tiempo de ejecución de las diversas actividades, y en la comunicación entre las diferentes etapas involucradas, los elementos pré-fabricados in-situ pueden generar muchos beneficios en el control y la administración de los procesos en cuestión

(Sacks et al., 2003).

La inseguridad en la demanda o en la carga de la producción es un asunto que requiere ser estudiado al momento de planear cada proceso, mismo que la construcción lean tenga múltiple niveles de aproximaciones para solucionar esto, ella puede ser la causa de pérdidas que llevan a serios problemas en los procesos involucrados (Ballard et al., 2002).

Según Koskela (2004), los cinco principios de Lean Thinking presentados por Womack y Jones (1990), presentan “falta de una conceptualización de producción adecuada” lo que lleva a pensar que estos principios no pueden ser presentados como una teoría de producción válida y madura, y que no puede ser aplicada a un sistema de producción específico como la construcción. Los autores basados en su experiencia práctica y ejemplos existentes de aplicaciones exitosas de estos principios en la industria de la manufactura así como en la construcción, creen que los cinco principios pueden ser abstraídos con éxito a la construcción, principalmente en lo relacionado a la implementación práctica. Algunas herramientas lean que presentan oportunidad de aplicación dentro de los procesos de la pré-fabricación, son por ejemplo:

### 2.1 Justo a tiempo (JIT)

La utilización de herramientas lean es una buena opción para ser aplicada en cualquier proceso constructivo, donde tengamos una repetición en diferentes áreas de trabajo. Cada etapa del proceso puede ser considerada un área de trabajo. Debemos destacar que los modelos de producción in-situ son inspirados en el modelo industrial de JIT. Este modelo tiene como características principales: control jalado, producción sobrepuesta y el almacenamiento mínimo, lo que implica el uso efectivo de las áreas de trabajo y áreas de trabajo menores, además de posibilitar tiempo de ejecución menores. Problemas eventuales originados en la obra necesitan ser resueltos inmediatamente, ya que JIT es muy sensible a las intervenciones que puedan ocurrir en los procesos. Tratando de disminuir estos supuestos problemas que puedan surgir durante el desarrollo de los procesos constructivos, podemos recurrir a la aplicación de los diagramas de línea de balance, los cuales encajan perfectamente en estudios de producción repetitiva (Kiiras y Koivula, 1999).

### 2.2 Trabajo estandarizado

El éxito de la producción en masa y subsecuentemente de la producción lean, no fue la

capacidad de producir una gran cantidad de productos, y si la capacidad de estandarizar los elementos y procesos de producción. Una de las características de la producción lean, es la capacidad de producir una gran variedad de productos en grandes cantidades y en el menor tiempo, es decir, tener una flexibilidad en la producción que no interfiera con las metas de productividad (SHINGO, 1996). Dentro del mundo de la construcción los criterios a considerar al momento de estandarizar las actividades no llegan a un consenso, siendo que no es posible estandarizar todas las actividades e elementos de trabajo relacionados, solamente los mas representativos (MAIA, 1996).

El trabajo estandarizado no es más que una determinada secuencia de actividades las cuales tienen que ser realizadas en un determinado ciclo de tiempo, proporcionándole al equipo de trabajo o trabajador, cierta autonomía además de una mejor visión del proceso como un todo, así como una base para evaluar su trabajo y proponer futuras mejoras (Jorge Junior, 2003).

### 2.3 Células de trabajo

Dentro del mercado de la construcción hoy en día, una de las mayores ventajas competitivas es la flexibilidad organizacional, es decir la capacidad de responder a las fluctuaciones causadas por las constantes innovaciones en el mercado. Para resolver esta problemática, una de las herramientas usadas por lean es utilizar una estructura organizacional llamada de células de trabajo, con la cual es posible reducir los tiempos de espera en la producción aumentando así la flexibilidad en la producción, además de permitir obtener una mayor cantidad de productos terminados (Tavares et al., 2004).

Células de trabajo son grupos de trabajadores con la responsabilidad de realizar un determinado número de tareas dentro de un ciclo de actividades en un tiempo estimado, donde uno de los miembros de la célula es considerado como el líder, el cual tiene la función de coordinar el grupo además de la interacción con las demás células de trabajo, todo esto para crear un flujo continuo en la producción (Moreira, 2004). Dentro de la filosofía lean los líderes de estas células de trabajo deben tener una actitud del tipo “siganme” y no la actitud tradicional de “háganlo como yo digo” creando así una mejor integración de sus miembros al crear un ambiente interactivo con todos los miembros de la misma (Shook 2002; citado en Moreira, 2004).

Otro de los beneficios que la utilización de células de trabajo aporta, es que debido a su capacidad de funcionar como un canal de comunicación de problemas permite a la empresa mantener un sistema continuo de mejoras, también cabe mencionar entre los beneficios, las mejoras causadas en el clima organizacional de la empresa (Dos Santos et al., 2002).

### 2.4 Mapa de Flujo de valor (MFV)

El MFV es una herramienta llave para el análisis de cualquier proceso, siendo una excelente forma de visualizar el funcionamiento de los procesos, sea independiente o como un todo, además que permite detectar diferentes tipos de pérdidas a lo largo del proceso. Esta práctica permite crear un posible estado futuro del proceso donde serán ubicadas las herramientas de Lean thinking que ayudaran a eliminar o disminuir las pérdidas a lo largo del proceso en cuestión (Rother y Shook, 2002).

## 3. Los cinco principios Lean como directrices en la implementación

En esta sección son presentadas algunas directrices de la posible implementación de conceptos y herramientas lean dentro de los procesos de pre-fabricados, que servirán de base para el presente estudio (Tabla 1).

Tabla 1. Aplicación de Lean Thinking en pré-fabricados

Principio Lean	OBJETIVO	HERRAMIENTA
VALOR	Reducción del tiempo de construcción ( <i>Lead Times</i> )	Ingeniería simultanea
FLUJO DE VALOR	Identificación de problemas en el proceso	Mapa de flujo de valor
FLUJO	Estandarización de los procesos – Producción en flujo	Estructuras de trabajo – células de trabajo
PULL	Flexibilidad de los recursos – Entregas <i>Just-in-time</i> (JIT)	Layout - Setup (rápido) – Mano de obra y equipamiento multi-funcional – Nivelación de la producción- JIT
PERFECCIÓN	Mejoras en el proceso – Foco común	Equipos auto-gerenciables – Simplicidad en la comunicación

## 4. Estudio de caso - TILT-UP

El análisis de aplicabilidad de los conceptos y herramientas lean fue basado en un estudio bibliográfico preliminar, y a partir de este fueron estudiados los datos de una obra ejecutada en la ciudad de Panamá, de la cual se tuvo acceso a los datos de campo, específicamente

una galera construida con la técnica Tilt-up, la cual consistía en la pre-fabricación y montaje de 24 paneles. Como esta técnica utiliza el piso de la obra como base para las moldajes de los paneles, el aprovechamiento de espacio y la organización del layout fueron críticos para el flujo de las actividades de la obra y del propio proceso Tilt-up, el layout fue dividido en 4 pistas de moldajes, lo que redujo a 4 el número de paredes (paneles) que podrían ser fabricados al mismo tiempo. En el mapa de flujo de valor actual (Figura 1) es posible identificar el uso, aunque inferido, de algunos conceptos y herramientas lean, entre las cuales se destacan:

#### 4.1 Mapa de flujo de valor (MFV)

El MFV de estado actual fue una herramienta llave en el análisis inicial del proceso. Lo que permitió establecer la secuencia, ritmo entre otras variables importantes en el proceso, en el, también pueden visualizarse pérdidas en el proceso causadas por esperas innecesarias en la producción, lo que proporcionaría mejorías en varias etapas del proceso que presentaban algún tipo de falla en el flujo de las actividades, lo que establecerá un mejor flujo en el proceso y una reducción del tiempo de ejecución de la obra.

#### 4.2 Distribución de los elementos (Layout<sup>1</sup>) – Preparo (Setup<sup>2</sup>)

Para resolver el problema de la falta de espacio para producir los paneles y la necesidad de espacio para almacenamiento de los paneles que están en proceso de curado para luego ser izados, se analizó el diseño del layout, reestructurando el diseño tradicional, basándose esta vez no sólo en las dimensiones de los paneles, sino también en el tiempo de curado para el izado. En este caso específico, los paneles fueron pré-fabricados uno encima del otro, de manera tal que los paneles ya concretados eran utilizados como parte inferior del moldaje del siguiente panel a ser fabricado, manteniendo el flujo del proceso sin tener que utilizar otros áreas en la obra y al mismo tiempo ayudando a disminuir el tiempo de setup del moldaje del siguiente panel. Una vez que el mismo moldaje era utilizado, no fue necesario perder tiempo del personal para llevar el moldaje hasta el lugar de vaciado del siguiente panel. Otro factor limitante tomado en cuenta fue el hecho que el concreto de los paneles necesita de aproximadamente seis días para alcanzar la resistencia necesaria (esto sin utilizar aditivos que aumenten la resistencia del concreto) para

poder ser izado, por tanto, cada panel necesitaba ser almacenado por ese período de tiempo. Al utilizar cada panel como parte inferior del moldaje del próximo panel, el espacio que el primer panel ocuparía en el espacio reservado para almacenamiento fue aprovechado como área de moldajes y vaciado. Este asunto es abordado en el MFV futuro.

#### 4.3 Agilidad en la comunicación

La interacción directa del ingeniero residente con los procesos de producción de los paneles como en el montaje de los mismos, permitió una mayor flexibilidad en la toma de decisiones y agilizo el flujo en la obra disminuyendo la pérdida de información a través de los canales tradicionales. Al tener información directa de los encargados de producción, no sólo en las reuniones semanales, sino también en la interacción directa dentro de la obra con el resto de los trabajadores, permitió al ingeniero trabajar con el progreso y estado de la obra casi simultáneos con la realidad, lo que en el caso del curado del concreto, posibilitó al ingeniero basarse en estas informaciones, y ordenar la colocación de aditivos que permitieran acelerar el curado del concreto o en ciertos casos pedir un concreto con una mayor resistencia. Como resultado de esto, cada panel tuvo una dosificación y resistencia (mayor o igual a las especificaciones) basadas en el progreso de la obra y del área donde cada uno sería colocado, fuera de la secuencia del cronograma de montaje de la obra.

#### 4.4 Células de trabajo – Equipos auto-gereñibles

Los trabajadores fueron divididos en cuatro células de trabajo con la meta diaria de producción de un panel. Para esto fue utilizada mano de obra multifuncional ejecutando todas las actividades necesarias para la producción de cada panel. Cada una de estas células fue formada con un líder, el cual tenía conocimientos en las diversas etapas técnicas, y era responsable por la producción de los paneles designados a su célula, además de la organización y materiales necesarios. El líder de cada equipo coordinaba junto con el encargado de la obra el progreso de su equipo y las futuras actividades a desenvolver, con el fin de producir de acuerdo a lo planeado.

<sup>1</sup>Distribución de los elementos de trabajo, herramientas y equipamientos dentro del área de trabajo.

<sup>2</sup>Se refiere al preparo inicial o cambio de piezas en equipamientos que tiene que realizarse antes o entre actividades





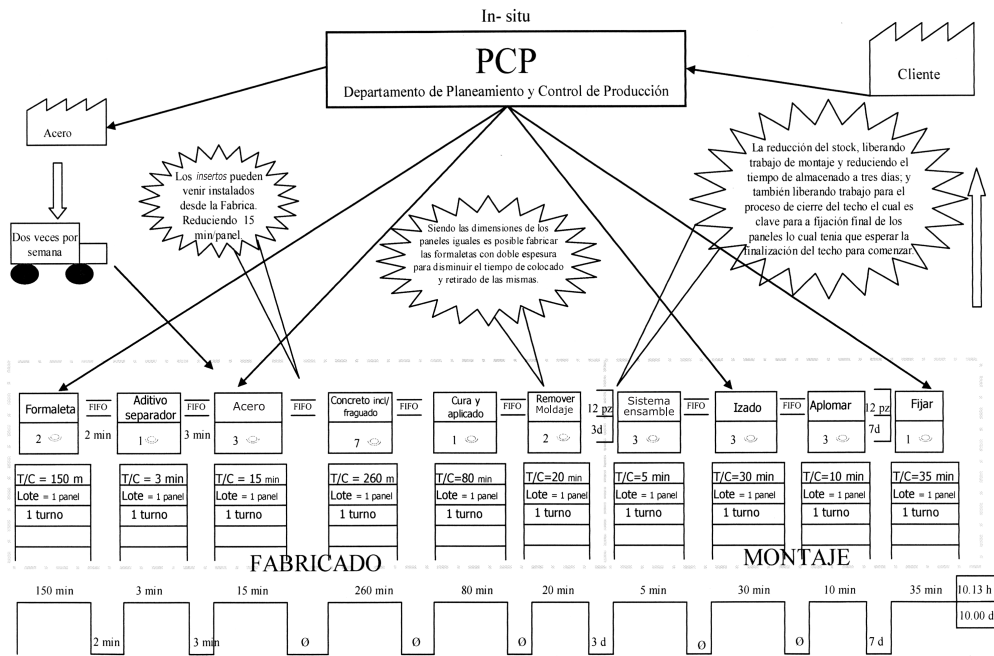


Figura 2. Mapa de Flujo de Valor estado futuro del caso.

## 6. Conclusión

Basados en los principios y herramientas lean, y buscando crear una integración de los procesos de producción de la técnica Tilt-Up, se levantó un mapa de flujo de valor de estado actual de los procesos de fabricación y montaje de esta técnica constructiva, a partir del cual fue posible detectar diferentes desperdicios. A partir de esto, se elaboró el mapa de flujo de valor de estado futuro donde se incorporaron las mejorías que podrían eliminar dichos desperdicios, y por consiguiente disminuir los tiempos de producción y de esperas entre los diferentes procesos.

Los resultados mostraron una reducción en los tiempos de producción de los dos procesos en conjunto, de 11.8 horas a 10.1 horas, así como una reducción en los tiempos de espera entre las diferentes etapas dentro del proceso de producción, cayendo de 16 días de espera para 10 días. Esta herramienta mostró ser de gran utilidad no sólo para visualizar el proceso como un todo, sino que, también permitió detectar los desperdicios dentro del proceso y por consiguiente posibilitar la creación de kaizens para eliminarlos.

Esta amplia visión proporcionada por el mapa de flujo de valor, permite el análisis conjunto de las actividades de fabricación y montaje, además de facilitar la creación de propuestas de mejorías para crear flujo continuo, lo que elimina esperas y stocks intermedios. El diseño del mapa futuro siguiendo los principios y herramientas lean provee una guía para su implementación, posibilitando establecer planes de acción para la administración de las actividades de implementación del

estado futuro y con esto obtener los resultados planeados en el mapa de estado futuro.

Este estudio presentó un ejemplo de los beneficios que la implementación de estos conceptos y herramientas pueden traer a cualquier proceso. Utilizando una visión más amplia, puede notarse la importancia de tener una sólida comprensión de los principios lean para no sólo conseguir avances, sino también asegurar el ciclo continuo de las mejoras, evidenciando el flujo de valor. Es de notar que este estudio está basado en una aproximación teórica y exploratoria, siendo necesarios estudios más detallados. Los autores sugieren estudios de caso sobre los diferentes sub-procesos que componen la pre-fabricación y montaje de elementos de concreto. Estos estudios permitirán mejorar y consolidar las propuestas de implementación de los conceptos y herramientas lean en esta área, además que permitirán obtener una extrapolación de los resultados a otros procesos semejantes.

## 7. Referencias

Ballard G. (1999), "Improving Work Flow Reliability". Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 1999, Berkley, U.S.A., disponible en: <http://cic.vtt.fi/lean/conferences.htm>.  
 Ballard G. y Arbulu R. (2004), "Making Prefabrication Lean". Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 2004,

- Elsinore, Denmark, disponible en: <http://cic.vtt.fi/lean/conferences.htm>.
- Ballard G., Harper N. y Zabelle T. (2002), "An Application of Lean Concepts and Techniques to precast concrete fabrication". Proceedings of the 10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 2002, Gramado, Brasil, disponible en: <http://cic.vtt.fi/lean/conferences.htm>.
- Ballard G. y Mathews O. (2004), "Prefabrication & Assembly". Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 2004, Elsinore, Denmark, disponible en: <http://cic.vtt.fi/lean/conferences.htm>.
- Dos Santos A., Moser L. y Tooke J.E. (2002), "Applying the concept of mobile cell manufacturing on the drywall process". Proceedings of the 10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 2002, Gramado, Brasil, disponible en: <http://cic.vtt.fi/lean/conferences.htm>.
- Jorge Junior R. (2003), Análise da aplicação do sistema Andon em diferentes ambientes de montagem. Dissertação, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, Brasil.
- Koskela L. (1992), "Application of The New Production Philosophy to Construction". Standford University. U.S.A., CIFE Technical Report #72, p. 75.
- Kiiras J. y Koivula T. (1999), "A production model of In-Situ concrete building frames". 17th Symposium on Nordic Concrete Research. 1999. Finland.
- Koskela L. (2004), "Moving on - beyond lean thinking" en Lean Construction Journal. (1). U.S.A.. pp. 24-37.
- Koskela L., Bertelsen S. y Bosch C. (2004), "Theory Championship". Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 2004, Elsinore, Denmark, disponible en: <http://cic.vtt.fi/lean/conferences.htm>.
- Maia M. A. M. (1996), "Organização do trabalho a partir da padronização da produção de edificios". Anais do Congresso Técnico - Científico de Engenharia Civil, Florianópolis, Brasil. pp. 174-179.
- Moreira M. P. (2004), Times de Trabalho em Ambientes de Manufatura Enxuta: Processo e Aprendizado. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, Brasil.
- Oliveira L. A. de, Melhado S. B. y Sabbatini F. H. (2001), "O papel estratégico do projeto para a qualidade dos painéis pré-fabricados de fachada". Anais do Segundo Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho no Ambiente Construído. 2001, Fortaleza, Brasil, disponible en: [www.infohab.org.br](http://www.infohab.org.br)
- Oliveira L. A. de (2002), Tecnologia de painéis Pré-fabricados Arquitetônicos de Concreto para Emprego em Fachadas de Edifícios. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil.
- Pheng L. y Chuan Ch. J. (2001), "Just-in-time management in precast concrete construction: a survey of the readiness of main contractors in Singapore" en Integrated manufacturing systems. Volumen 12, número 6. 2001. pp. 416 - 428.
- Picchi F. (2003), "Oportunidades da aplicação do lean thinking na construção" en Revista Ambiente Construído. Volumen 3, número 1. Fortaleza, Brasil. Enero-marzo 2003, pp. 7-23.
- Picchi F. y Granja A.D. (2004), "Construction Sites: Using Lean Principles to Seek Broader Implementations". Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 2004, Elsinore, Denmark, disponible en: <http://cic.vtt.fi/lean/conferences.htm>.
- Rother M. y Shook J. (2002), Aprendendo a Enxergar. Mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. Basado en la versión 1.2 de junio de 1999. Edición y traducción al portugués de: Lean Institute Brasil. São Paulo, Brasil.
- Sacks R., Akinci B. y Ergen E. (2003), "3D Modelling and Real-Time monitoring in Support of Lean Production of Engineered-to-order Precast Concrete Buildings". Proceedings of the 11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 2003, Virginia, U.S.A., disponible em: <http://cic.vtt.fi/lean/conferences.htm>.
- Santos A. dos. (1995), Método Alternativo de Intervenção em Obras de Edificações Enfocando o Sistema de Movimentação e Armazenamento de Materiais: um estudo de caso. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Brasil.
- Shingo S. (1996), O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção. 2 ed. Bookman. Porto Alegre. Brasil. 291 p.
- Tavares C. B. P., Heineck L. F. M., Leite M. O., Pereira P. E. y Da Rocha F. E. M. (2004), "A construção de células de trabalho na programação de obras em edificios". Anais do Décimo Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo, Brasil, disponible en: [www.infohab.org.br](http://www.infohab.org.br)
- Womack J. P., Jones D. T. y Ross D. (1990), The Machine that changes the world. Rawson. New York.