

Universidad Eafit

Universidad Eafit

revista@eafit.edu.co

ISSN (Versión impresa): 0120-341X

COLOMBIA

2004

Luis Fernando Botero Botero / Martha Eugenia Álvarez Villa

GUÍA DE MEJORAMIENTO CONTINUO PARA LA PRODUCTIVIDAD EN LA
CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS DE VIVIENDA (LEAN CONSTRUCTION COMO
ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO)

Universidad Eafit, octubre-diciembre, año/vol. 40, número 136

Universidad Eafit

Medellín, Colombia

pp. 50-64

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Universidad Autónoma del Estado de México

<http://redalyc.uaemex.mx>



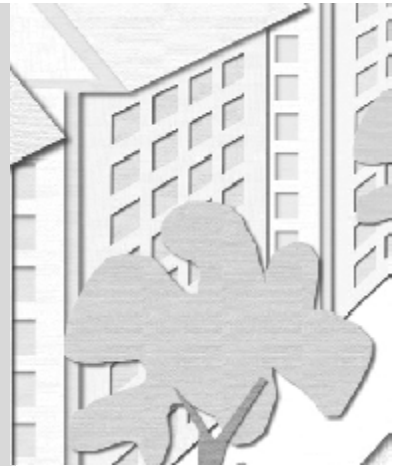
Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean construction como estrategia de mejoramiento)

Luis Fernando Botero Botero

Arquitecto constructor. Especialista en gerencia de empresas de ingeniería. Docente tiempo completo Departamento de Ingeniería Civil. Universidad EAFIT.
lfbotero@eafit.edu.co

Martha Eugenia Álvarez Villa

Ingeniera Industrial. Especialista en sistemas de información. Docente tiempo completo Departamento de Ingeniería de Sistemas. Universidad EAFIT.
ealvarez@eafit.edu.co



Recepción: 21 de enero de 2004 | Aceptación: 23 de julio de 2004

Resumen

Después de realizar una prueba piloto en el año 2002 con un importante grupo de constructoras de la ciudad de Medellín y del inicio de un programa de mejoramiento en gestión de la construcción en el 2003, basado en los principios de Lean Construction (Construcción sin Pérdidas), se presenta una guía para el mejoramiento de la productividad en la construcción de proyectos de vivienda, con la cual se pretende mejorar el desempeño aumentando la competitividad de las empresas del sector. Los resultados obtenidos en los proyectos estudiados muestran la efectividad de la metodología propuesta.

Palabras Clave

Proyectos de construcción
Construcción sin pérdidas
Pérdidas
Productividad

Guide for continuous improvement for the productivity in the construction of housing projects

Abstract

After carrying out a test in 2002 with an important group of construction companies of the city of Medellin, and the beginning of the Construction Management Improvement Program in 2003, based on lean construction concepts, a guide for productivity improvement in building projects is presented. This guide pretends to improve the projects performance increasing competitiveness in the construction industry. The results obtained in the projects studied reveal the effectiveness of the proposed methodology.

Key Words

Building projects
Lean construction
Waste
Productivity

Introducción



La construcción como sector productivo de nuestro país, es de gran importancia en el desarrollo económico, ya que su dinámica, es un motor que impulsa permanentemente el progreso de la sociedad. A través de la construcción se da respuesta a las necesidades de la población, con el desarrollo de proyectos de infraestructura y soluciones de vivienda, constituyéndose en fuente permanente de trabajo, con la utilización de mano de obra de manera intensiva y generando una importante actividad indirecta en otros sectores de la economía del país.

A pesar de su importancia, la industria de la construcción es, incomprensiblemente, uno de los sectores que menor grado de desarrollo presenta en la mayoría de los países latinoamericanos, convirtiéndose en una actividad caracterizada por grandes deficiencias y falta de efectividad. Lo que se traduce en la poca competitividad y coloca a las empresas constructoras en desventaja frente a los mercados de la economía internacional.

Como industria, el sector de la construcción presenta características únicas que explican, aunque no justifican, el grado de desarrollo en que se encuentra: curva de aprendizaje limitada, influencia de las condiciones climáticas, trabajo permanente bajo presión, fragmentación de los proyectos e incentivos negativos, poca capacitación, relaciones opuestas entre participantes de los proyectos, deficiente planificación o ausencia de la misma, actividad basada en la experiencia, falta de investigación y desarrollo, actitud mental del sector. No obstante las anteriores consideraciones, algunos gremios, empresarios y académicos relacionados con el sector han detectado la necesidad de mejoramiento, debido al constante cambio de escenarios en que se desarrolla la actividad actualmente. Algunos de esos cambios son los siguientes:

- Mercados globalizados más competitivos, con la participación cada vez más creciente de empresas internacionales.
- Proyectos cada vez más complejos, que requieren la aplicación de nuevas tecnologías.

- Mayores exigencias de calidad por parte de los contratantes y usuarios finales de los proyectos.
- Presión para reducción de plazos y costos de los proyectos.

Por las características expuestas, se ha considerado la construcción como un sector diferente de la producción industrial, por lo que las soluciones a ciertos problemas han sido desarrolladas particularmente para este sector. Podría entonces considerarse que las herramientas y estrategias que se aplican a los procesos industriales, no serían aplicables a la construcción, pero los proyectos están compuestos por una serie de operaciones de que presentan características similares a la producción industrial:

- Procesos de producción en serie y repetitivos, como colocación de refuerzos, moldes y formaletas.
- Productos pequeños y en grandes cantidades o grandes volúmenes, como el hormigón.
- Ciclos cortos y repetitivos de producción.

Tanto la producción industrial como los proyectos de construcción, requieren de una eficiente administración, aunque estos últimos presentan mayor dinámica y son influenciados por una serie de eventos e incertidumbres, como las condiciones climáticas, las características del terreno, los rendimientos de la mano de obra, con comportamientos totalmente impredecibles, el entorno general del proyecto y las condiciones contractuales.

1. Conceptos de productividad en la construcción

Una aproximación a la definición de productividad presenta la relación existente entre lo producido y lo gastado. De una manera mas amplia, podemos definir la productividad en la construcción como "la medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un proyecto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado" (Serpell, 1999).

El logro de la productividad involucra entonces la eficiencia y la efectividad, ya que no tiene sentido producir una cantidad de obra si ésta presenta problemas de calidad.

El objetivo de cualquier proceso productivo es lograr una alta productividad, lo que se consigue mediante la obtención de alta eficiencia y efectividad, como puede verse en la siguiente figura:

Figura 1. Relación entre la eficiencia, efectividad y productividad

UTILIZACIÓN DE LOS RECURSOS		
Pobre	Alta	
EFFECTIVO PERO INEFICIENTE	EFFECTIVO Y EFICIENTE <u>ÁREA DE ALTA PRODUCTIVIDAD</u>	Alto
INEFFECTIVO E INEFICIENTE	EFICIENTE PERO INEFFECTIVO	Bajo

OBTENCIÓN DE LAS METAS

Un sistema productivo como la construcción, se caracteriza por la transformación de insumos y recursos en productos deseados, los principales son los siguientes:

- Materiales
- Mano de obra
- Maquinarias, herramientas y equipos
- Información

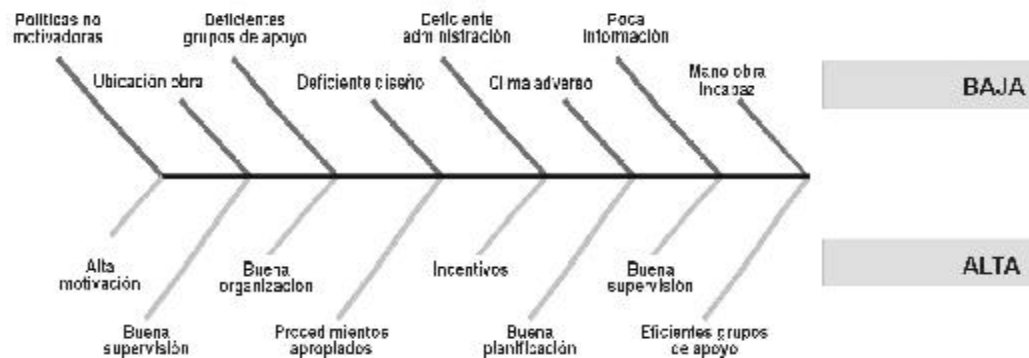
Se puede hablar entonces de diferentes clases de productividad en la construcción, de acuerdo con los recursos considerados:

- **Productividad de los materiales**, por su costo es importante evitar los desperdicios
- **Productividad de la mano de obra**, factor fundamental ya que normalmente es el recurso que fija el ritmo de trabajo de la construcción, del cual depende la productividad de otros recursos
- **Productividad de la maquinaria**, muy importante por el alto costo que representa, por lo tanto es necesario racionalizar su uso en los proyectos, evitando tiempos muertos.

Existe gran cantidad de factores que afectan de diferentes formas la productividad en los proyectos de construcción. El profesional encargado de la administración de la obra, debe conocer cuales de ellos son positivos y cuales negativos, para actuar sobre los últimos y disminuir o eliminar su efecto.

Algunos factores con incidencias negativas sobre la productividad en proyectos de construcción, son:

- Errores en los diseños y falta de especificaciones
- Modificaciones a los diseños durante la ejecución del proyecto
- Falta de supervisión de los trabajadores
- Agrupamiento de trabajadores en espacios muy reducidos (sobrepoblación en el trabajo)
- Alta rotación de trabajadores
- Pobres condiciones de seguridad industrial que generan altas tasas de accidentes
- Composición inadecuada de las cuadrillas de trabajo

Figura 2. Factores que inciden sobre la productividad

- Distribución inadecuada de los materiales en la obra
- Falta de materiales requeridos
- Falta de suministro de equipos y herramientas
- Lotes con condiciones difíciles para su desarrollo
- Excesivo control de calidad
- Características de duración y tamaño de la obra que no motivan al personal
- Clima y condiciones adversas en la obra

2. Mejoramiento de la productividad en la construcción

Teniendo en cuenta los factores que inciden negativamente en la productividad, el administrador de obra debe adoptar acciones correctivas conducentes a la solución de los problemas identificados, como objetivo del mejoramiento de la productividad. Para realizar lo anterior, se recomienda seguir el ciclo del mejoramiento de la productividad, descrito en la siguiente figura:

Figura 3. Ciclo del mejoramiento de la productividad

Las diferentes etapas para el mejoramiento, requieren la realización de distintas actividades en el proyecto.

- **Medición de la productividad**, realizada mediante la toma de datos y su posterior procesamiento y análisis estadístico. Para ello se utilizan formatos diseñados para tal fin, denominados *formulario de muestreo general del trabajo*.
- **Evaluación de la productividad**, utilizando los datos obtenidos para diagnosticar la situación de la obra identificando los problemas. De esta forma se puede determinar el plan de acción a seguir una vez evaluadas las diferentes alternativas.
- **Implementación de planes de mejoramiento**, formulando estrategias y acciones de mejoramiento, con seguimiento permanente para evaluar la eficacia y los resultados obtenidos

El sistema implementado para la medición de la productividad tiene los siguientes objetivos:

- Evaluar de manera objetiva el desempeño del proyecto
- Referenciar el ciclo de mejoramiento para próximas etapas de construcción
- Realizar análisis de tendencias, proyectando resultados para futuras obras y terminación de la obra
- Determinar por qué una obra o actividad es más productiva que otras similares

3. *Lean construction* y el mejoramiento de la productividad

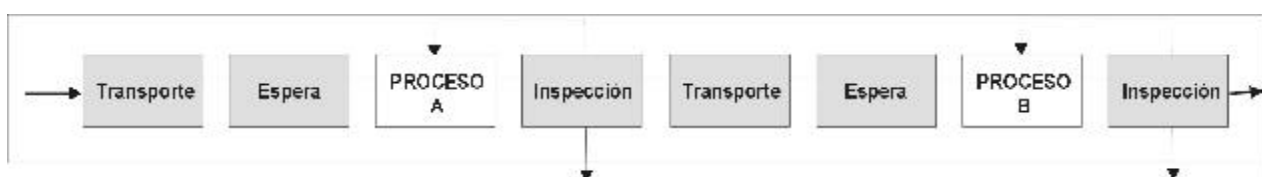
En 1992, Lauri Koskela, académico finlandés presenta el estudio “Application of the new production philosophy to construction”, en el cual analiza el impacto de los nuevos enfoques de producción en la industria de la construcción. Dicho estudio identifica, que las nuevas tendencias comparten un fundamento común: el concebir la producción y sus operaciones como procesos. De acuerdo con Koskela, la nueva filosofía de producción puede ser definida como un flujo de materiales y/o información desde la materia prima hasta el producto final. En este flujo el material es procesado (conversiones), inspeccionado, se encuentra en espera o es transportado. Estas actividades son diferentes entre sí. Los procesos representan las conversiones en la producción, mientras que los transportes, esperas e inspecciones son los flujos de la producción (figura 4).

En resumen, el nuevo concepto de producción (*Lean production*), establece que el proceso productivo se compone de conversiones y flujos, a diferencia del sistema tradicional de producción en el que solo se consideran los primeros.

Se denominan conversiones a todas las actividades de transformación que convierten los materiales y la información en productos, pensando en los requerimientos del cliente, por lo tanto en el proceso de producción son las actividades que agregan valor.

Las pérdidas, por el contrario, se consideran todas las actividades que no agregan valor pero que consumen tiempo, recursos y espacio, generando costos en el proceso de producción (actividades de flujos).

Figura 4. Esquema del proceso de producción*



* Los cuadros sombreados representan las actividades de flujos, que no agregan valor, en contraste con las conversiones

Como objetivo de la utilización del nuevo enfoque de producción, se encuentra el hacer más eficientes las actividades de transformación que agregan valor, minimizando o eliminando las actividades que no lo generan (pérdidas), logrando una mayor productividad en el proceso constructivo.

4. Eficiencia en el control de proyectos de construcción a través del sistema de planificación el último planificador (last planner)

Como conclusión del estudio de pérdidas en diferentes investigaciones realizadas, se generan actividades que no agregan valor por ausencia o deficiente planificación de los proyectos. Debido a esto en los últimos años, dentro de las actividades realizadas por el lean construction Institute, se ha desarrollado un nuevo sistema de planificación y control de proyectos, enfocado en la teoría de construcción sin pérdidas (*Lean construction*).

El profesor Glenn Ballard, desarrolló conceptualmente el modelo denominado *último planificador* (*Last planner*), cuya finalidad es aumentar la confiabilidad, rebajando la incertidumbre de la planificación de los proyectos, que trae como consecuencia mejoras sustanciales en su desempeño.

Dicho aumento en la confiabilidad se logra introduciendo planificaciones intermedias y semanales, enmarcadas dentro de un plan maestro o general del proyecto, analizando las restricciones (cuellos de botella) que se interponen al desarrollo de las tareas. Conocidas las restricciones, es posible actuar antes de que sucedan, evitándolas, con lo que se logra desarrollar las actividades sin interrupciones.

Adaptado de la industria manufacturera, el Sistema

Último Planificador, se presenta de modo que ejemplifique el control como causante de que los eventos se ajusten a un plan, en contraposición al concepto tradicional de control de proyectos en términos de detección de varianzas después de los hechos. Una aplicación apropiada del sistema de control de la producción es mostrada para mejorar la confiabilidad del flujo de trabajo, la cual promete sustanciales beneficios en reducción del costo y duración de los proyectos.

Los controles de proyectos de Arquitectura, Ingeniería y Construcción se han enfocado en detectar varianzas de los objetivos del proyecto tanto en costos como en programación y no han tratado directamente con la administración de la producción. El Sistema Último Planificador es una herramienta efectiva para mejorar la productividad de las unidades de producción que implementan sus procedimientos y técnicas (Ballard y Howell, 1997). Este modelo cambia el enfoque desde la productividad de la unidad inmediata de producción a la confiabilidad del flujo de trabajo entre unidades de producción y también extiende la aplicación del sistema al diseño.

El Sistema Último planificador necesita medir el desempeño de cada plan de trabajo semanal para estimar su calidad. Esta medición, que es el primer paso para aprender de las fallas e implementar mejoras, se realiza a través del Porcentaje de Asignaciones Completadas (PAC), que es el número de realizaciones divididas por el número de asignaciones para una semana dada. El PAC así evalúa hasta qué punto el Sistema Último Planificador permite anticiparse al trabajo que se haría en la semana siguiente. Es decir, compara lo que será hecho según el plan de trabajo semanal, con lo que realmente fue hecho, reflejando así la fiabilidad del sistema de planificación.

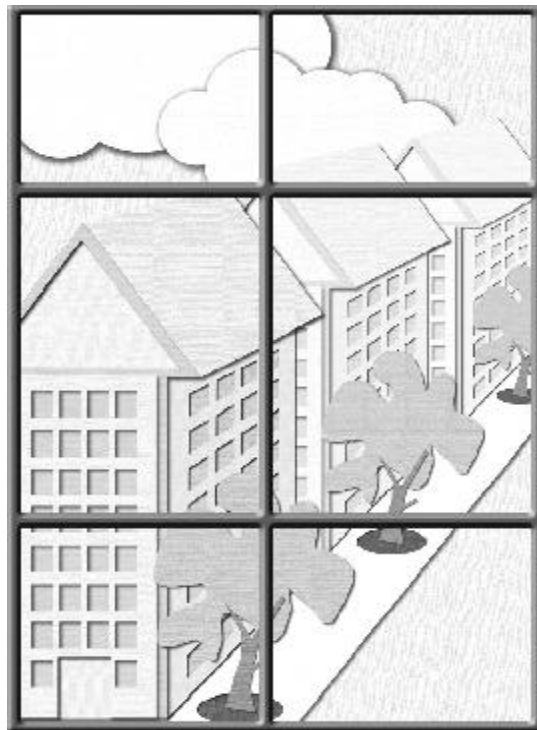


Figura 5. Esquema del proceso de producción

5. Implementación de un programa de mejoramiento de la productividad en la construcción

Con la participación de nueve empresas constructoras de la ciudad de Medellín, se llevó a cabo la investigación denominada Implementación de un programa de mejoramiento en gestión de la construcción. Teniendo en cuenta los principios de *lean construction* y utilizando las herramientas prácticas definidas en la prueba piloto desarrollada en el 2002, se siguió la metodología propuesta, obteniendo excelentes resultados en el desempeño de los proyectos.

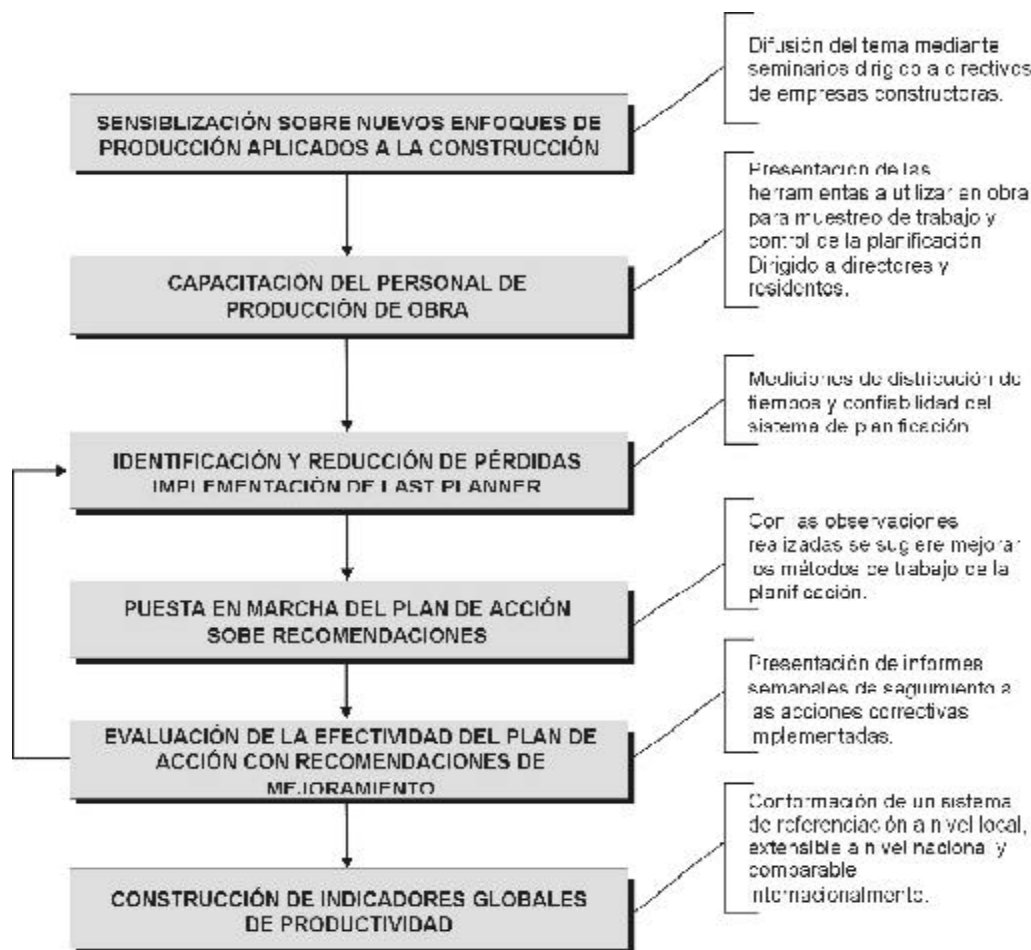
5.1 Características de obras participantes en programa de mejoramiento

Tabla 1. Obras participantes en el programa

Empresa	Obra	Tipo de Obra	No. de pisos	No. uds. construidas	Área construida (M ²)	Tiempo de Observación
1	90	Edificios	15	90	14,293	9 meses
	170	Casas	Unifamiliar	96	9,240	6 meses
2	100	Edificio	15	43	9,035	4 meses
	160	Edificio	17	34	9,298	6 meses
	180	Casas	Unifamiliar	69	3,060	6 meses
3	60	Edificios	11	176	9,930	6 meses
	200	Edificios	11	308	18,537	5 meses
4	110	Casas	Unifamiliar	100	16,063	6 meses
	110	Edificios	5	150		
5	140	Pavimento				5 meses
6	80	Edificios	11	866	9,800	8 meses
	190	Edificio	9	36	9,900	6 meses
7	70	Edificios	5	112	7,046	5 meses
8	150	Edificio	16	94	5,130	3 meses
	120	Edificio	8	32	1640	1 mes
	210	Edificio	20	80	5,940	4 meses
9	130	Edificio	20	80	7,660	4 meses
Totales	17 Obras			2,366 UD	136,572 M²	

5.2 Guía para el mejoramiento de la productividad

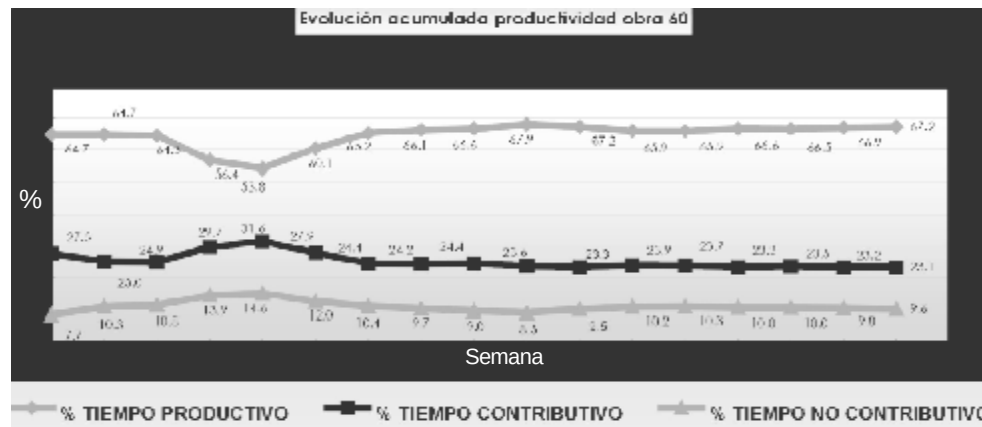
Figura 6 Diagrama de flujo metodología para el mejoramiento continuo de la productividad en proyectos de vivienda



5.3 Resultados de obras estudiadas

- Estudio de pérdidas (distribución del tiempo laborado)

Figura 7. Evolución de la productividad en la obra de mejor desempeño de la muestra observada en Medellín 2003



La obra 60 presentó el mejor desempeño en cuanto a la utilización de la mano de obra, de acuerdo con el estudio de distribución del tiempo realizado durante 18 semanas. El resultado obtenido se considera como excelente, de acuerdo con los estándares obtenidos en investigaciones realizadas anteriormente, como lo muestra la tabla 2:

Tabla 2. Desempeño de proyectos de acuerdo con la distribución del trabajo

Categoría	TP	TC	TNC	Observaciones
Obra 60 Medellín (2003)	67.28%	23.13%	9.57%	Mejor desempeño de la muestra observada en Medellín 2003
Óptimo	60%	25%	15%	Estudio Chile 1995, muestra de 370.000 m ²
Normal	55%	25%	20%	Estudio Chile 1995, muestra de 370.000 m ²
Promedio Medellín 2003	47.2%	37.5%	15.2%	Promedio de la muestra observada en 136.572 m ²
Promedio Chile	47%	28%	25%	Estudio Chile 1995, muestra de 370.000 m ²

TP: Tiempo productivo, el utilizado para realizar actividades que agregan valor

TC: Tiempo contributivo, realizando labores de soporte y necesarias para realizar trabajos productivos

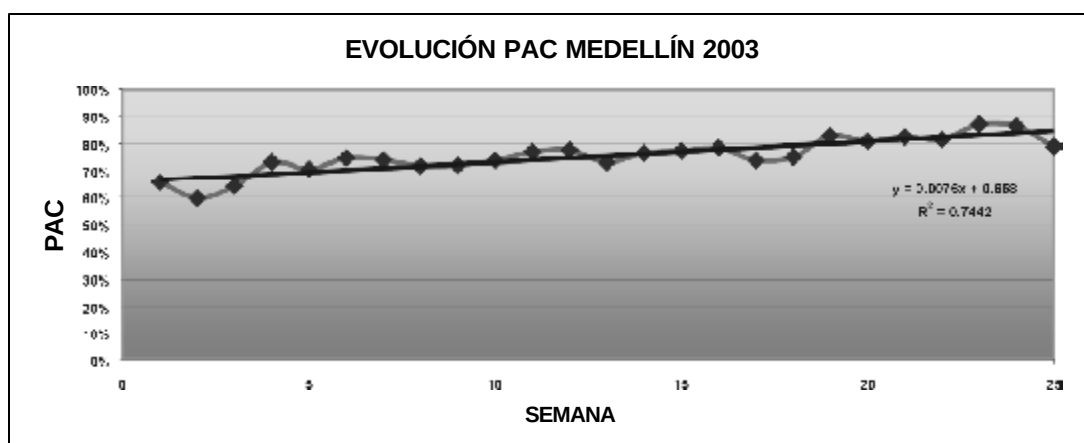
TNC: Tiempo no contributivo, pérdidas, actividades que no agregan valor.

• PAC (Porcentaje de asignaciones completadas)

De acuerdo con la teoría sobre implementación del sistema de planificación y control *last planner* (último planificador), a medida que la obra aplica el sistema, aumenta la confiabilidad, rebajando la incertidumbre en cuanto al cumplimiento de lo planificado.

Durante el año 2003, se realizó seguimiento a las obras que implementaron el sistema de planificación y control. La Figura 8 presenta el resultado de la evolución del porcentaje de asignaciones completadas (PAC) por semana de implementación en la ciudad de Medellín durante 2003.

Figura 8. Evolución del PAC general en la ciudad de Medellín durante 25 semanas



El R^2 igual a 0,7442 indica el porcentaje de error corregido al estimar el PAC mediante el modelo lineal hallado, con relación a aquel que se cometería si se estimara el PAC por su promedio. Este valor corresponde a un coeficiente de correlación lineal de 0,863, lo que representa un valor muy significativo de la forma como se correlacionan linealmente el PAC con las semanas transcurridas en la implementación del *Last Planner*.

La pendiente de la recta 0.0076 es el porcentaje semanal que, en cada semana, las empresas incrementaron en promedio el valor del PAC y finalmente, el intercepto establece el valor promedio con el cual empezaron las empresas al implementar el programa *Last Planner*.

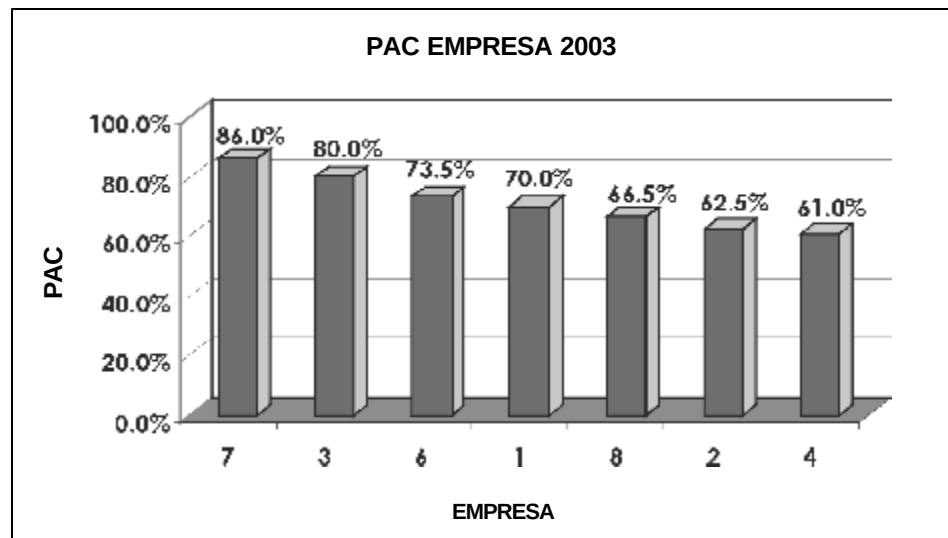
Si se mantuviera la tendencia, se necesitarían 45 semanas para que el promedio del PAC de las empresas llegue al 100%. Si se logra generar cultura de mejoramiento a través de la implementación del programa, un proyecto en varias etapas, lo lograría. En su defecto,

es ideal que el componente autónomo (intercepto) se diera en valores cercanos a 0.80, en cada empresa.

Un buen desempeño del indicador PAC está por encima del 80%, un desempeño pobre está por debajo del 60%. Equipos con experiencia mantienen un desempeño por encima del 85% (Howell, 2002).

El desempeño general de la ciudad de Medellín, teniendo en cuenta todas las obras observadas en el 2003 fue del 75.5%, por debajo de lo considerado como bueno, aunque debe tenerse en cuenta que el sistema se aplica por primera vez en la ciudad de Medellín de manera sistemática.

Sin embargo, desempeños individuales (obras 60, 70 y 90) están por encima del 80%. Las obras 70 y 60 alcanzan resultados del indicador PAC, por encima del 85%, lo cual puede calificarse como muy bueno. El promedio PAC por empresa estudiada se muestra en la Figura 9.

Figura 9. PAC por empresas ciudad de Medellín 2003

- **Indicadores de productividad (horas – Hombre / m³ construido)**

La construcción de indicadores directos de productividad demuestran cómo, al aumentar los tiempos productivos y disminuir los no contributivos (pérdidas), se aumenta la eficiencia en la utilización de la mano de obra, generando aumentos considerables de la productividad en las obras ejecutadas.

El comparativo dado en la Tabla 3, corresponde a obras que utilizan el mismo sistema constructivo (muros vaciados en concreto), donde se estableció como unidad de medida de producción, cada metro cúbico de concreto fundido en moldes metálicos, haciendo comparable las diferentes obras. Se consideran como horas hombre invertidas, las dedicadas a la realización de las actividades: Colocación de refuerzo en muros y losas, colocación de formaletería en muros y losas, vaciado del concreto en muros y losas.

Tabla 3. Eficiencia de la productividad mano de obra, Medellín 2003

Empresa	Obra	INDICADOR PRODUCTIVIDAD			
		h-H/M3 Ordinarias	h-H/M3 Extras	h-H/M3 Totales	Relación H Extras H Totales
8	150	13.99	2.3	16.29	14.13%
8	210	15.17	1.6	16.77	9.54%
7	70	19.82	0.99	20.81	4.75%
6	80	18.71	11.23	29.94	37.51%
3	200	31.77	0.78	32.55	2.40%
3	60	31.43	5.57	37.00	15.05%

La mejor eficiencia en la utilización de la mano de obra corresponde a los proyectos ejecutados por la empresa 8 (obras 150 y 210). Puede explicarse dicho resultado, a la luz de ciertas características especiales que la diferencian de las demás empresas:

- Aprovechamiento de la curva de aprendizaje con cuadrillas estables durante varios años en la empresa. Los trabajadores conocen rápidamente el proyecto, logrando estabilizar su rendimiento en periodos cortos, como se muestra en la figura 10.

- Disminución gradual de los tiempos no contributivos (pérdidas) e incremento de los productivos de acuerdo con el desarrollo de la obra. Nótese cómo a partir de la semana 3 (Figura 10), cuando se logra el mínimo de horas Hombre invertidas por cada m3 y se estabiliza en las semanas siguientes, se debe a la disminución progresiva de las pérdidas en la obra, como se ve en la Figura 11.

Figura 10. Curva de aprendizaje expresada en h-H invertidas en obra, constructora 8

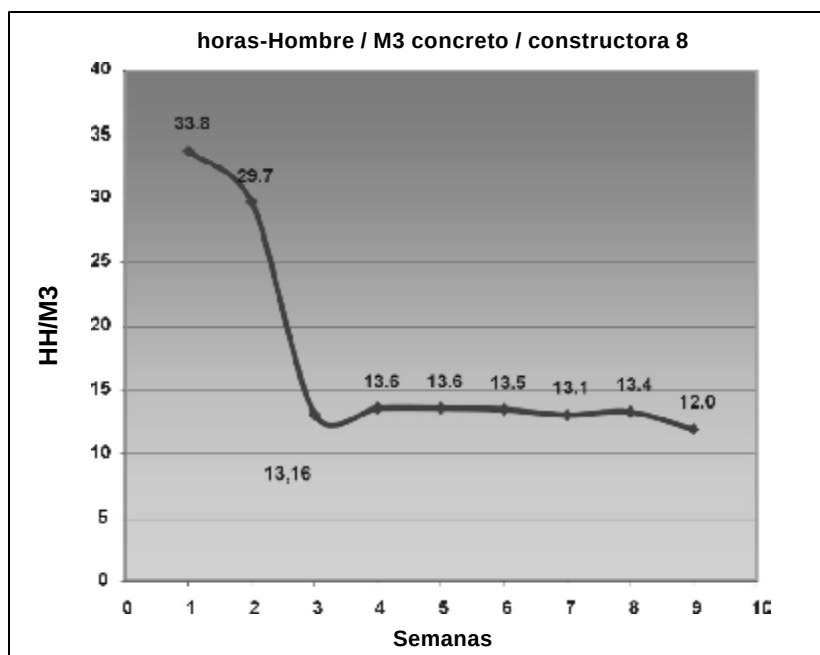
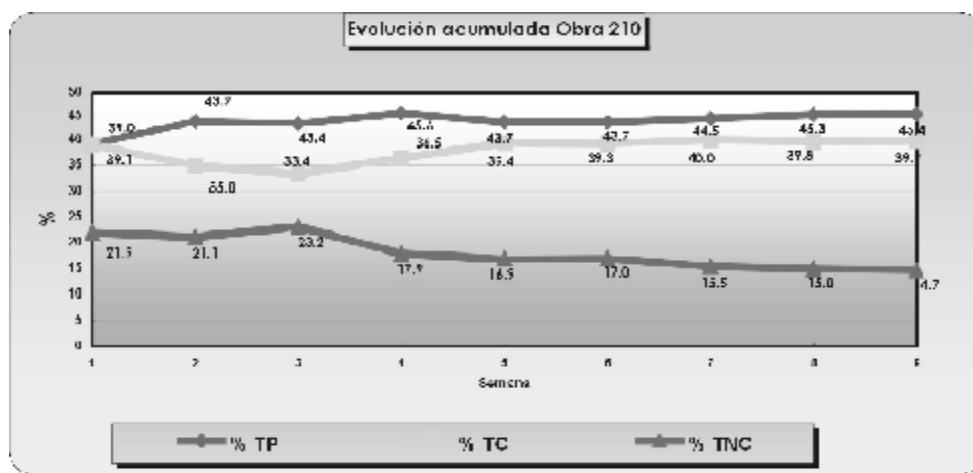


Figura 11. Evolución distribución del tiempo, obra constructora 8

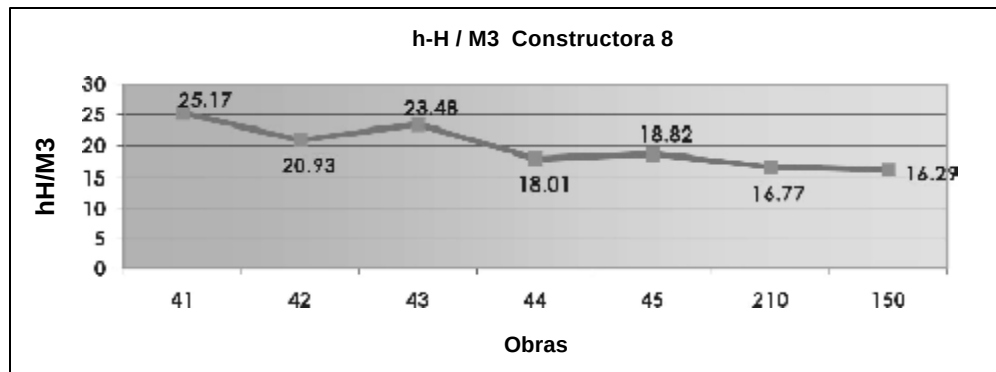


- Se muestra un mejoramiento sustancial en la eficiencia de la mano de obra, si se consideran los dos años en los cuales dicha empresa se ha comprometido en la implementación de nuevas estrategias en gestión de la construcción, 2002,

participante de la prueba piloto de mejoramiento de la productividad, 2003, participante del programa de mejoramiento como lo muestra la Figura 12.



Figura 12. Evolución eficiencia mano de obra, constructora 8



Conclusiones

La implementación de programas enfocados al mejoramiento, deben iniciarse con la creación de una cultura de medición y evaluación. Modelos cuantitativos, como el muestreo de trabajo, se convierten en herramientas útiles para medir pérdidas, variabilidad y otras variables en el desempeño de los proyectos en ejecución.

La muestra observada y utilizada para el diagnóstico (17 obras de 9 constructoras, cuatro diferentes sistemas constructivos y 136,572 m2), se convierte en representativa de las constructoras de la ciudad de Medellín, para la determinación de las condiciones en las cuales se realizan los trabajos y la precisión de los factores que influyen directamente sobre la productividad en los proyectos de construcción. La cantidad de proyectos es amplia y las conclusiones obtenidas pueden cobijar el resto de las constructoras de la región.

La implementación del sistema de planificación y control Último planificador (*Last Planner*), aumenta la confiabilidad del sistema de planificación de las empresas que lo utilizan. El resultado obtenido en la muestra Medellín, con la evolución del PAC general de las obras estudiadas, demuestra la efectividad del sistema. Su implementación obliga a los administradores de las obras a actuar de una manera proactiva, dando la importancia que la planificación requiere y evitando la improvisación constante en las obras.

La utilización de los conceptos de *Lean Construction* bajo la metodología propuesta en la investigación, favorece el mejoramiento de la productividad, como lo demuestran los resultados de la constructora 8, participante durante 2 años en la investigación aplicada (2002-2003). Se requieren algunas condiciones especiales para que los resultados sean positivos, como el compromiso a nivel gerencial, la capacitación y activa participación del personal de producción y la implementación de planes con acciones de mejoramiento propuestas después de las observaciones realizadas y el diagnóstico inicial de las obras.

Bibliografía

Alarcón, L., Campero, M. (1999). *Administración de proyectos civiles*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile. 322 p.

Alarcón, L., (1997). *Lean construction*. Rotterdam: Balkema publishers. 497 p.

Botero, L. (2002). *Mejoramiento de la productividad en proyectos de vivienda, a través de la filosofía Lean construction (construcción sin pérdidas)*. Proyecto de investigación. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad EAFIT. 164 P.

Botero, Luis Fernando; Álvarez, Martha. (2003). "Identificación de pérdidas en el proceso productivo de la construcción". En: *Revista Universidad EAFIT*. No. 130. pp.66-78.

Howell, G. (1999). "What is lean construction". In: <http://www.ce.berkeley.edu/~tommelein/IGLC-7/PDF/Howell.pdf> (26 July 1999).

Koskela, L. (1992). "Application of the new production philosophy to construction". In: *Technical report*. No 72. Center for integrated facility engineering. Department of civil engineer. Stanford University. 75 p.

Oglesby, C., Parker, H. y Howell, G. (1989). *Productivity improvement in construction*. New York: Mc Graw Hill. 588 p.

Torres, C.; Isatto, E. y Hotomi, E. (1999). "Method for waste control in the building industry". In: <http://www.ce.berkeley.edu/tommelein/IGLC/PDF/Formoso&Isatto&Hirota.pdf> (26 de Julio de 1999)