

# Identificación de Pérdidas en el Proceso Productivo de la Construcción

Luis Fernando Botero Botero  
Martha Eugenia Álvarez Villa

## RESUMEN

Como resultado de la Investigación *Mejoramiento de la productividad en proyectos de vivienda de interés social (VIS), a través de la filosofía Lean Construction (Construcción sin pérdidas)*; este artículo pretende difundir los conceptos y aplicaciones de la nueva filosofía de gestión en la construcción, que pueden ser aplicados por las empresas constructoras, identificando las pérdidas del proceso productivo, como punto de partida en la búsqueda del mejoramiento de su desempeño.

## ABSTRACT

As a result of their research on *Productivity improvement in building projects through Lean Construction philosophy*, the researches intend to spread the concepts and applications of a new construction management philosophy and explain how a new production focus can be used by building companies identifying waste in the production process, as a starting point in the search for performance improvement.

## PALABRAS CLAVES

Lean Construction / Pérdidas / Productividad / Procesos

## KEY WORDS

Lean Construction / Waste / Productivity / Processes

## LUIS FERNANDO BOTERO BOTERO

(Colombia). Arquitecto constructor. Especialista en gerencia de empresas de Ingeniería. Docente tiempo completo del Departamento de Ingeniería Civil. Universidad EAFIT.

[fbotero@eafit.edu.co](mailto:fbotero@eafit.edu.co)

## MARTHA EUGENIA ÁLVAREZ VILLA

(Colombia) Ingeniera Industrial. Especialista en sistemas de información. Docente de tiempo completo del Departamento de Ingeniería de Sistemas. Universidad EAFIT.

[ealvarez@eafit.edu.co](mailto:ealvarez@eafit.edu.co)

## INTRODUCCIÓN

Ha sido tradicional que la industria de la construcción conserve principios inalterados durante mucho tiempo; los procesos de diseño y construcción están insertos en paradigmas muy arraigados en la cultura de esta industria. Como contraste a las tendencias tradicionales en el desarrollo de proyectos de construcción, surgen nuevas corrientes orientadas a mejorar la concepción de los procesos productivos.

Como consecuencia de la búsqueda de un mejoramiento progresivo de los procesos concernientes a la industria de la construcción desde el punto de vista global del desarrollo de proyectos, surge la filosofía **Lean Construction**, cuyos métodos aplicados en la construcción buscan la optimización de recursos, costos y tiempos teniendo como base conceptual la teoría de la producción lean.

*Lean production* tiene sus orígenes en el sistema de producción desarrollado por Toyota después de la segunda guerra mundial. Este sistema de producción está orientado fundamentalmente a eliminar pérdidas en los procesos productivos, entendiéndose como pérdida en general todo aquello que no genera valor al producto final.

**Lean construction** ha sido implementada con éxito en algunos países del mundo desde 1993. Grupos como el **Lean Construction Institute, Internacional Group For Lean Construction** conformados por una red de investigadores y profesionales en la Arquitectura, Ingeniería y Construcción, plantean que la educación, práctica e investigación en estos campos debe ser renovada con nuevos conceptos para responder a los desafíos que el nuevo mercado impone.

### I. EL NUEVO ENFOQUE DE LA GESTIÓN DE PRODUCCIÓN APLICADO A LA CONSTRUCCIÓN (LEAN CONSTRUCTION)

La baja productividad, los resultados de calidad, las pobres condiciones de trabajo y los problemas de

seguridad industrial, han sido características comunes a la mayoría de los proyectos de construcción.

La industrialización y los sistemas integrados de información han sido presentados como una de las soluciones a los problemas anteriormente descritos, llevando a algunos investigadores a la formulación de sistemas de construcción automatizada y a la robótica como medio para mejorar el desempeño de los proyectos.

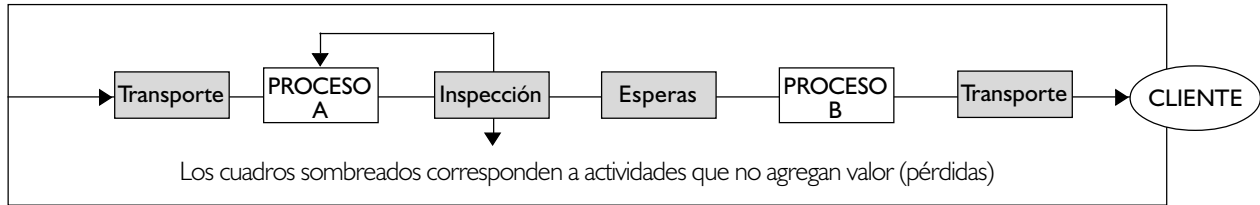
Por muchos años, la industria manufacturera, ha sido tomada como modelo para la realización de innovaciones en la industria de la construcción. Sistemas integrados de producción y la automatización tienen su origen en otras industrias y su aplicación se encuentra muy desarrollada si se compara con la construcción.

Actualmente, se ha desarrollado otra tendencia en la producción manufacturera, cuyo impacto parece ser mayor que el realizado por la aplicación de nuevas tecnologías. Dicho enfoque, basado en una nueva filosofía de producción, denominada **lean production**, enfatiza en la importancia de los principios teóricos del proceso de producción. Sin embargo, sólo hasta principios de los años 1990's, esta nueva filosofía capturó la atención de profesionales y académicos en el mundo, logrando actualmente grandes impactos en industrias como la automotriz, la electrónica y el desarrollo de nuevos productos.

De acuerdo a la nueva orientación, el proceso de producción es en esencia el flujo de materiales y de información hacia el producto final (gráfica 1). En este flujo, los materiales son procesados, se inspeccionan, están en espera y se transportan. Los procesos representan las **conversiones** en la producción, mientras que inspecciones, esperas y transportes, representan los **flujos** dentro de la misma.

Podemos establecer entonces, de acuerdo a lean production, que el proceso productivo se compone de **conversiones y flujos**, a diferencia del sistema tradicional de producción donde sólo se consideran las primeras.

GRÁFICA I



Denominamos *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.

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

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). Una comparación entre el sistema tradicional de producción y la nueva filosofía lean production, se describe a continuación,

TABLA I  
Comparación entre los dos esquemas de producción

	<b>Producción Tradicional</b>	<b>Lean Production</b>
<b>CONCEPTO</b>	La producción está compuesta por una serie de actividades de conversión que agregan valor	La producción está compuesta por flujos (no agregan valor) y conversiones (agregan valor)
<b>CONTROL DE PRODUCCIÓN</b>	Dirigido al costo de las actividades	Dirigido al tiempo, costo y valor de los flujos
<b>MEJORAMIENTO</b>	Incremento de la eficiencia de las conversiones a través de la utilización de nueva tecnología	Eliminación de las actividades que no agregan valor (pérdidas), incrementando la eficiencia de las actividades que lo generan, a través del mejoramiento continuo y la implementación de nueva tecnología

En construcción, el enfoque tradicional de producción para la medición del desempeño de los proyectos, enfatiza en las variables de costo y tiempo. Recientemente y con la implementación de sistemas de gestión de la calidad esta variable también ha sido considerada.

Algunos autores consideran el desempeño, desde una visión más amplia. Oglesby, Parker y Howell en el libro *Productivity improvement in Construction (1989)*, involucran cuatro elementos, productividad, seguridad, tiempo y calidad.

Una definición más amplia que incluye siete elementos en los cuales se deben enfocar todos los esfuerzos para mejorar el desempeño de los proyectos de construcción, fue propuesta por otro autor, Sink (1985). Los elementos incluidos en este modelo son: (1) efectividad, (2) eficiencia, (3) calidad, (4) productividad, (5) innovación, (6) rentabilidad, (7) calidad de vida laboral de los empleados.

Lauri Koskela (1992), académico finlandés y pionero en el mundo en el desarrollo de los conceptos teóricos de la aplicación de lean production en la construcción, ha señalado la necesidad de nuevas mediciones de desempeño en los proyectos de construcción, entre ellas medición de pérdidas, valor, tiempo de ciclo y variabilidad.

Se consideran **pérdidas**, todo lo que sea distinto de los recursos mínimos absolutos de materiales, máquinas y mano de obra necesarios para agregar valor al producto (Alarcón 2002). Ejemplos de pérdidas en los procesos de la construcción son las esperas ocasionadas por falta de instrucción, de materiales, interferencias, etc.; transportes innecesarios de materiales, equipos y obreros, por mala distribución de los recursos o ausencia de planificación; tiempo ocioso por actitudes del trabajador; reprocesos por actividades mal ejecutadas o dañadas por otras cuadrillas de trabajo, entre otras.

## 2. IDENTIFICACIÓN DE LAS PÉRDIDAS COMO HERRAMIENTA DE MEJORAMIENTO EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

La medición del desempeño actual del sistema de producción, se convierte en punto de partida en la implementación de cualquier sistema de mejoramiento. La identificación de pérdidas, a través de sencillas técnicas, como muestreo de trabajo, encuestas de demoras y cartas de balance de cuadrillas, han sido utilizadas como medida indirecta de la productividad, ya que se asume que al identificar las categorías y causas de las pérdidas en la construcción y reducirlas, se incrementa la productividad. (Alarcón 1993).

La herramienta de muestreo de trabajo, consiste en numerosas observaciones cortas de la labor de los operarios en su sitio de trabajo y categoriza en tres grupos principales el trabajo realizado por los obreros. Se requiere un mínimo de 384 observaciones para ser consideradas estadísticamente válidas con un margen de error del 5% y una confiabilidad del 95%. Dichas categorías son las siguientes:

- **Trabajo productivo (TP)**, definido como el tiempo empleado por el trabajador en la producción de alguna unidad de construcción. Ejemplo de trabajo productivo es la colocación de la armadura de refuerzo y el vaciado del concreto en algún elemento estructural, la pega de ladrillos en muros, etc.
- **Trabajo contributivo (TC)**, es el tiempo que emplea el trabajador realizando labores de apoyo **necesarias** para que se ejecuten las actividades productivas, como limpieza de superficies y encofrados, mediciones previas y de inspección, transportes de materiales, armado de plataformas y andamios para trabajo en altura y seguridad industrial, etc.
- **Trabajo no contributivo (TNC)**, se define como cualquier otra actividad realizada por los obreros y que no se clasifica en las anteriores categorías, por lo tanto se consideran pérdidas. Ejemplos de esta categoría son los tiempos dedicados a esperas, tiempo ocioso, reprocesos, descansos, etc.

Como principio de mejoramiento del desempeño de proyectos de construcción y una vez categorizado el tiempo empleado e identificadas las causas de ocurrencia de pérdidas, se propone buscar la eficiencia del trabajo productivo, minimizando el tiempo destinado al trabajo contributivo y eliminando el tiempo no contributivo (pérdidas). Esta técnica presenta múltiples ventajas por su sencillez, tiene validación estadística, permite medir la variabilidad de las diferentes actividades durante la obra y permite detectar oportunidades de mejoramiento en los proyectos de construcción, situación no evidente utilizando los sistemas tradicionales de control de la producción.

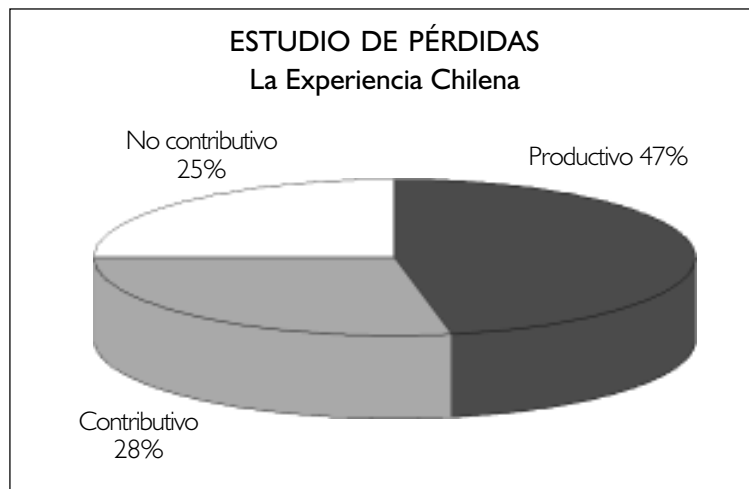
### 3. EXPERIENCIAS DE IDENTIFICACIÓN DE PÉRDIDAS EN LA CONSTRUCCIÓN

#### 3.1 La Experiencia Chilena

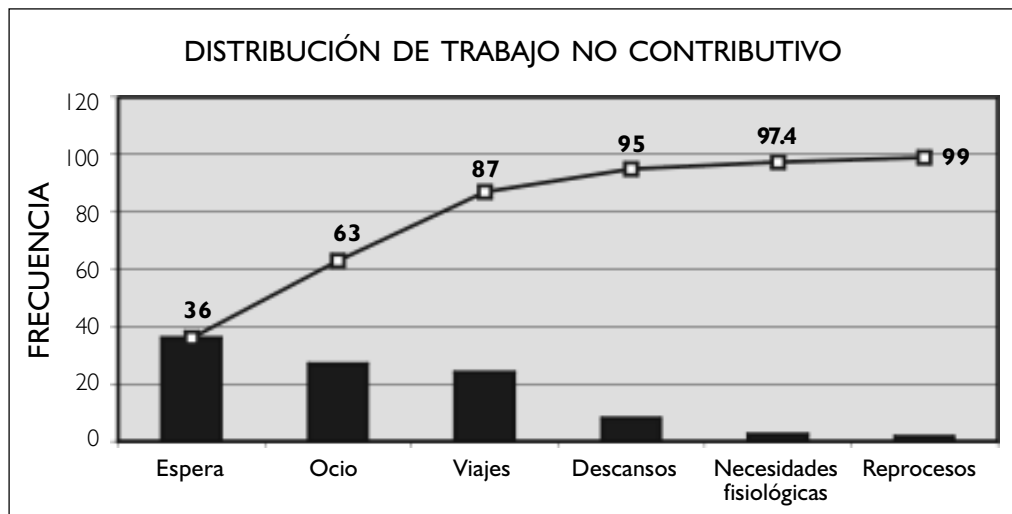
Liderado por el grupo profesional del departamento de Ingeniería Civil y Gestión de la Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile, durante 5 años se realizaron mediciones en mas de 40 proyectos de construcción (oficinas, hoteles, vivienda), en un total aproximado a 370.000 m<sup>2</sup> construidos, demostrando que la identificación de pérdidas es una herramienta efectiva para generar mejoramiento en la construcción.

Las investigaciones realizadas permitieron obtener los siguientes resultados:

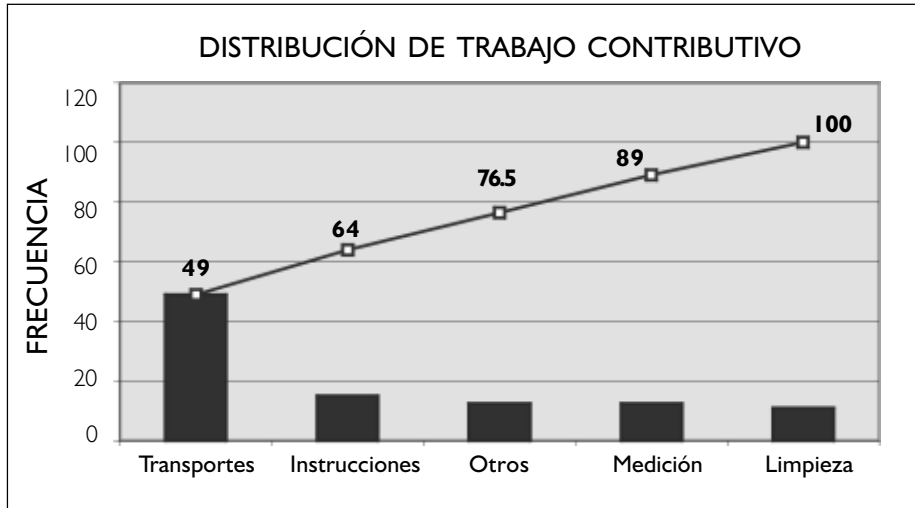
**GRÁFICA 2**  
Distribución general de categorías de trabajo. Experiencia Chilena



**GRÁFICA 3**  
Distribución del tiempo no contributivo. Experiencia Chilena



**GRÁFICA 4**  
Distribución del tiempo contributivo. Experiencia Chilena



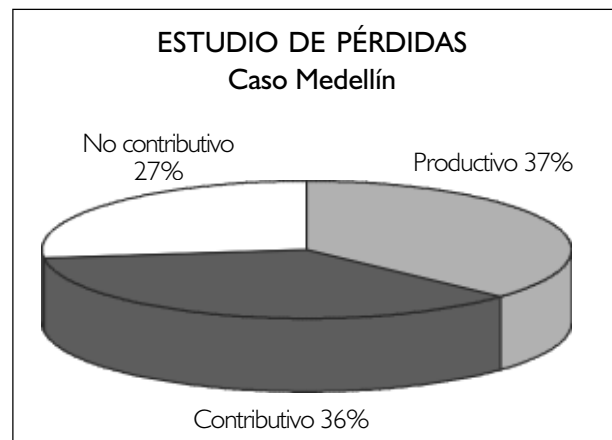
De acuerdo a los resultados anteriores en los proyectos analizados en Chile, se concluye que el 53% del tiempo laborado es dedicado a actividades no productivas. Las causas que originan las pérdidas fueron identificadas y como una de las conclusiones de este estudio se presenta que la falta o inadecuada planeación son una de fuentes principales de improproductividades en los proyectos de construcción. En consecuencia, esfuerzos para incluir las actividades de planeación como se requieren en la labor diaria de profesionales en cabeza del desarrollo de proyectos de construcción deben ser efectuados, si se desea mejorar la productividad y competitividad de esta industria.

### 3.2 La Experiencia en Colombia

El Área de construcción del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad EAFIT conjuntamente con un importante grupo de constructores de la ciudad de Medellín ha liderado el proyecto de mejoramiento de la productividad en la construcción. La primera fase de la investigación, consistente en la identificación de pérdidas se realiza en 3 diferentes proyectos de vivienda, para un total aproximado de 12.000 m<sup>2</sup>.

Los resultados de la obra A (caso Medellín), realizado en una empresa líder de la construcción en Colombia, se presentan a continuación:

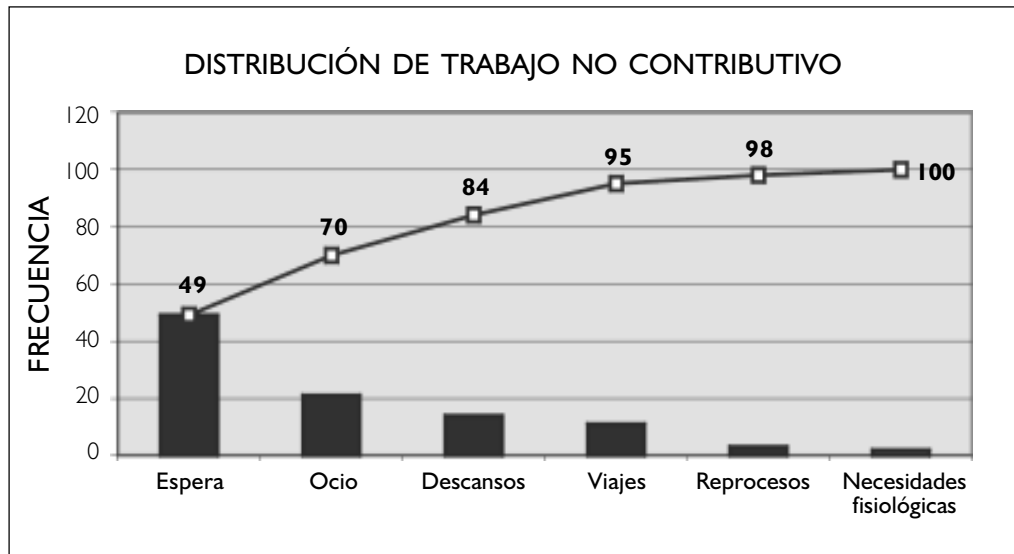
**GRÁFICA 5**  
Distribución general de categorías de trabajo.  
Caso Medellín



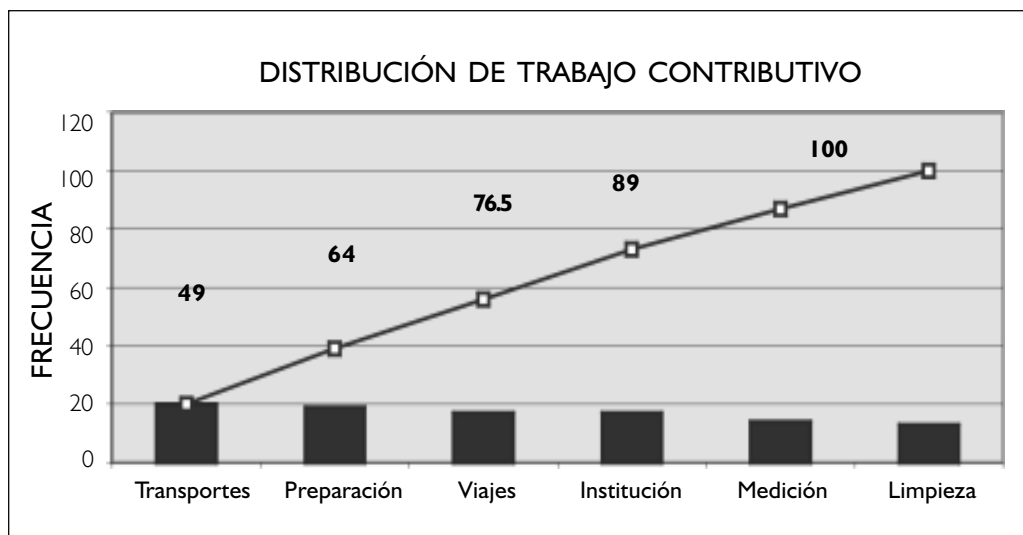
Similar al resultado arrojado por el estudio realizado en Chile, un gran porcentaje del tiempo (63%) se utiliza en actividades no productivas, lo cual se convierte en un reto y una gran oportunidad de mejoramiento en el desempeño del sector de la construcción en Colombia.

Identificadas las pérdidas (Gráficas 6 y 7), la causa de mayor frecuencia de ocurrencia de las mismas (49%), se genera por esperas en el proceso constructivo, lo cual alerta a constructores sobre la necesidad de una mejor planificación para la disposición y localización de recursos, utilización y disposición de cuadrillas de trabajo, entre otras.

**GRÁFICA 6**  
Distribución del tiempo no contributivo. Caso Medellín



**GRÁFICA 7**  
Distribución del tiempo contributivo. Caso Medellín



### 3.3 Análisis de las Pérdidas de la Obra

Teniendo en cuenta las diferentes actividades de construcción y los oficios que las realizan, se efectuaron diferentes tipos de mediciones:

- El promedio de los porcentajes de tiempo productivo, contributivo y no contributivo, evaluados en cada semana (Pérdidas semanales) que permite evaluar la variación en cada semana, con el fin de determinar si el proceso está mejorando o no, además de hacer posible relacionar tal variación con eventos presentados con anterioridad o simultáneamente.
- El promedio de los porcentajes de los mismos tiempos medidos desde el inicio hasta el punto de corte de cada semana (Pérdidas acumuladas). Al graficar tal información, la pendiente de cada curva indica la velocidad de cambio de las pérdidas del proceso. En cada punto de corte la base para calcular el porcentaje es mayor en la medida en que transcurren las semanas, de tal forma que un cambio favorable en dichas pendientes es cada vez más significativo, por pequeño que sea.

Adicionalmente, estas mediciones se realizaron a varios niveles:

- Toda la obra: todas las actividades, todos los oficios
- Por oficios: oficial y ayudante
- Por actividades. Se analizaron tres actividades: Colocación de refuerzo, Vaciado de concreto y Colocación de formaletas, entre todas las realizadas en la obra.

Lo anterior, con el fin de encontrar cuáles actividades u oficios se constituyen en factores a los que se debe tener en cuenta para implementar mejoras en el proceso, sea en los planes de capacitación, condiciones de contratos con proveedores, cambios en la programación, mejora en las comunicaciones, entrega de insumos, controles en la obra etc., como también

establecer políticas de mantenimiento de los niveles de buena calidad, conseguidos.

La evaluación de las pérdidas realizada en la obra se inició el 20 de febrero de 2002 y el primer punto de corte se hizo cinco semanas después, a partir del cual se realizó el seguimiento, semana tras semana, durante siete períodos.

La **Gráfica 8A: Pérdidas acumuladas** muestra el promedio de los porcentajes de tiempos productivos, contributivos y no contributivos de toda la obra (todas las actividades, todos los oficios) desde su inicio hasta el punto de cada corte. Al analizar la serie del porcentaje productivo, es necesario precisar el incremento significativo obtenido entre los puntos de corte de la semana 2 y la semana 6, trayendo como obvia consecuencia un cambio en el sentido de las pendientes de los tiempos contributivo y no contributivo, cambios que son deseables a la luz de la teoría Lean Construction y que en principio son satisfactorios, dado que el estudio no fue interviniente, más allá de hacer las mediciones y dar el informe a los constructores, sin precisar los factores determinantes de los resultados.

En la **Gráfica 8B: Pérdidas semanales** se aprecia el comportamiento semana tras semana de la obra. En la tercera semana de seguimiento, se observa el gran incremento que tuvo el tiempo productivo que coincide con la fecha de entrega del primer informe dado a la constructora.

Para conocer qué factores definen los resultados en forma negativa o no, se analizaron los oficios y las actividades.

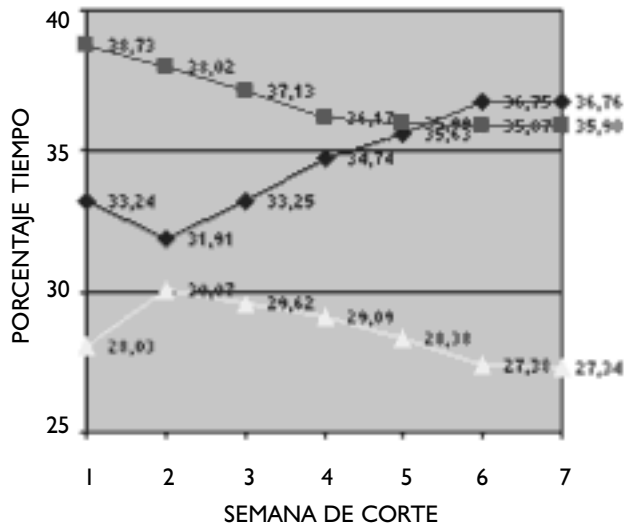
La **Gráfica 9. Estudio de Pérdidas por Oficios**, permite concluir que el tipo de oficio es un factor importante en el momento de cuantificar las pérdidas, ya que su comportamiento es muy diferente. En las gráficas de Pérdidas Acumuladas, los oficiales tienen valores cuya tendencia se acerca al ideal y muestran curvas de aprendizaje positivas. No ocurre igual con los ayudantes, quienes mantienen a lo largo del tiempo valores cercanos a los iniciales.



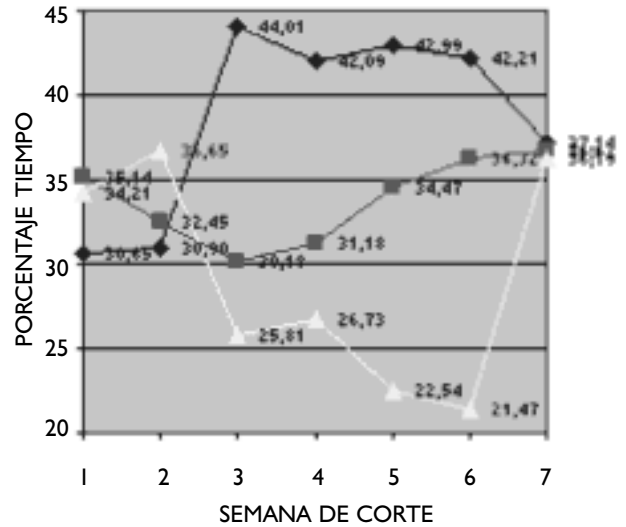
GRÁFICA 8  
Estudio de pérdidas en toda la obra



GRÁFICA 8A  
Pérdidas Acumuladas



GRÁFICA 8B  
Pérdidas Semanales



Las gráficas de Pérdidas Semanales muestran también en la semana tres un repunte en los tiempos productivos tanto para los oficiales como para los ayudantes, como se observó en la gráfica de toda la obra. A diferencia de los oficiales, los ayudantes no mantienen la tendencia de mejoramiento continuo.

¿Por qué puede ocurrir esto? En parte puede explicarse por alta rotación de ayudantes, o por la falta de especialización de sus actividades como sí ocurre con los oficiales, por una mala programación, malas comunicaciones, retraso en la entrega de herramientas e insumos, poca experiencia del ayudante, niveles bajos de compromiso por parte de estos, etc. El resultado del análisis de las posibles causas marca

una oportunidad que se tiene de mejorar, máxime cuando el número de ayudantes es mayor al número de oficiales y la eficiencia entre ellos es mutuamente dependiente.

La posible existencia de factores diferentes al recurso humano y a los oficios que desempeñan, hace necesario clasificar las pérdidas obtenidas por actividades. En el análisis del Caso Medellín se tuvieron en cuenta las tres actividades más representativas de este método de construcción.

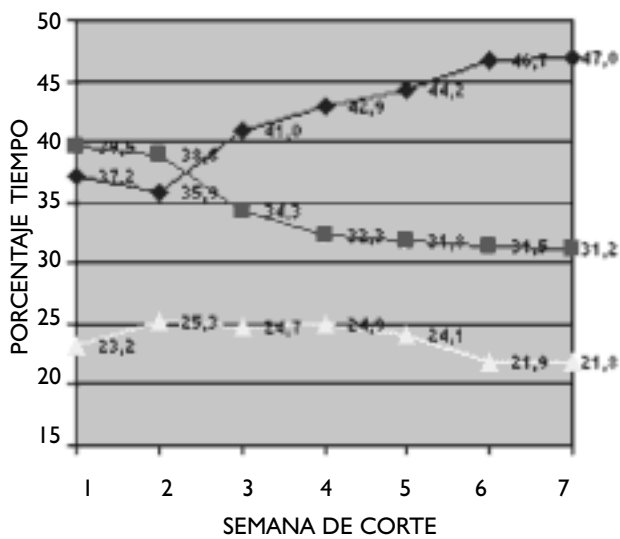
Para cada actividad se obtuvieron las Pérdidas Acumuladas y las Pérdidas semanales, como puede observarse en la **Gráfica 10**.

GRÁFICA 9  
Estudio de pérdidas por oficios

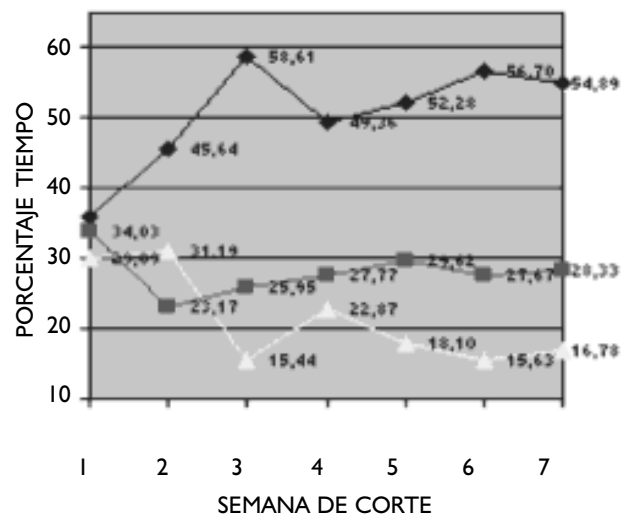
◆ PRODUCTIVO    ■ CONTRIBUTIVO    ▲ NO CONTRIBUTIVO

OFICIALES

GRÁFICA 9A  
Pérdidas Acumuladas

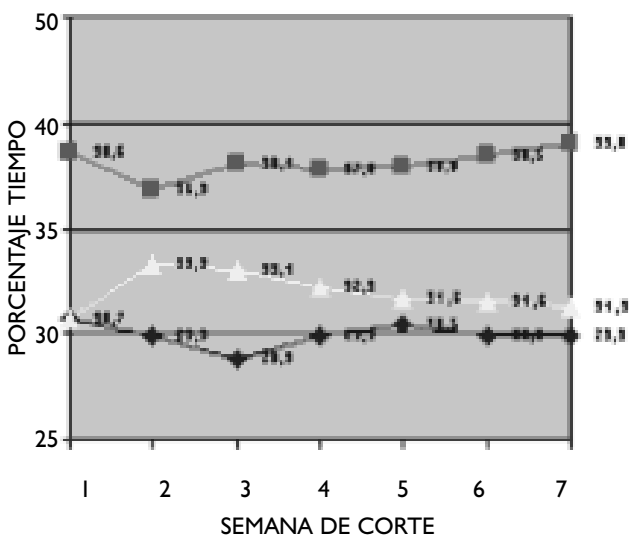


GRÁFICA 9B  
Pérdidas Semanales

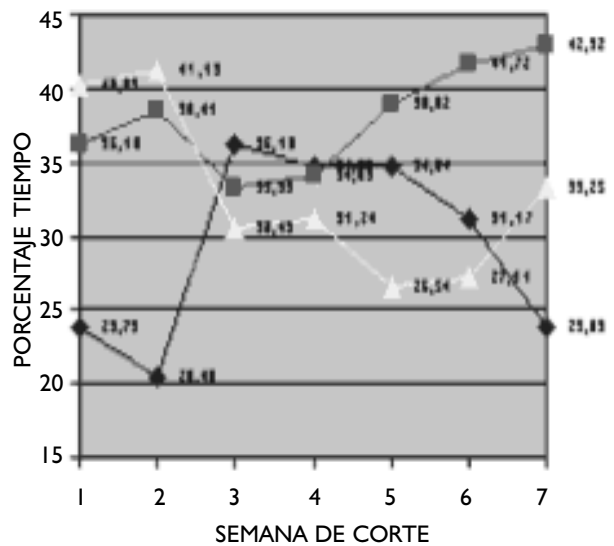


AYUDANTES

GRÁFICA 9C  
Pérdidas Acumuladas



GRÁFICA 9D  
Pérdidas Semanales

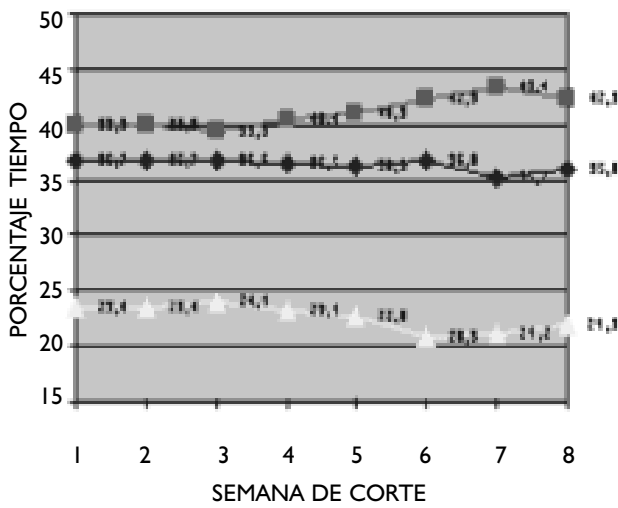


GRÁFICA 10  
Estudio de pérdidas por actividades

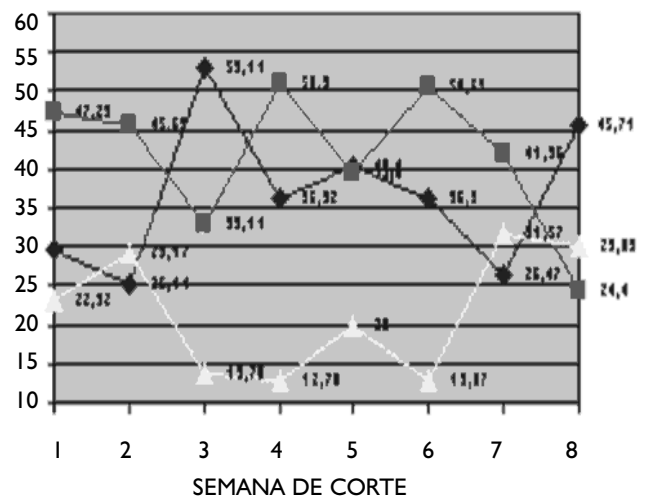
◆ PRODUCTIVO    ■ CONTRIBUTIVO    ▲ NO CONTRIBUTIVO

COLOCACIÓN DE REFUERZO

GRÁFICA 10A  
Acumuladas

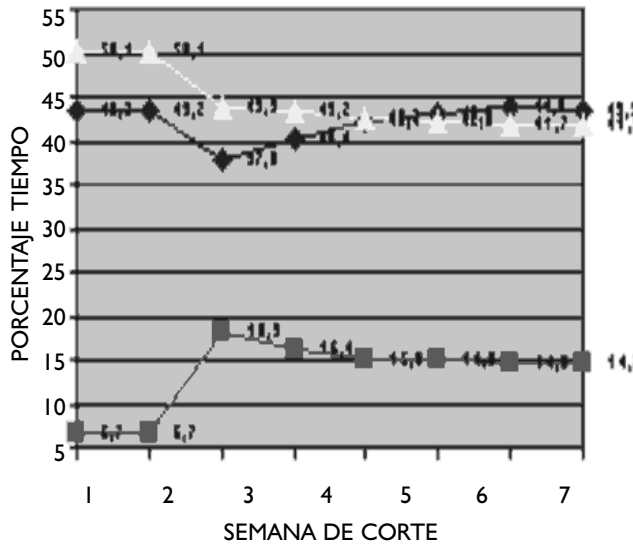


GRÁFICA 10B  
Semanales

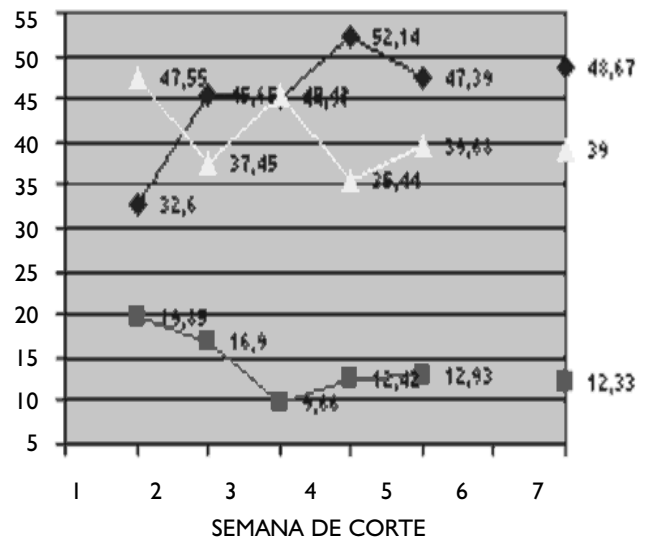


VACIADO DE CONCRETO

GRÁFICA 10C  
Acumuladas

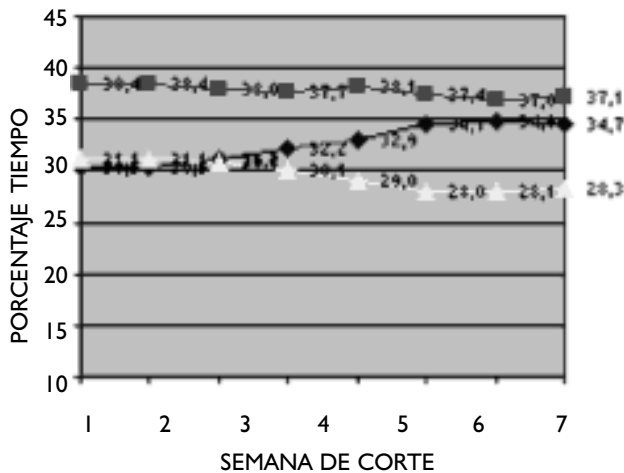


GRÁFICA 10D  
Semanales

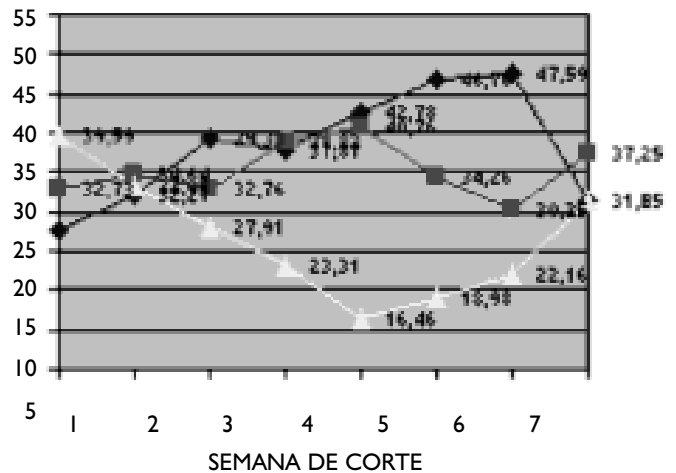


## COLOCACIÓN DE FORMALETA

GRÁFICA 10E  
Acumuladas



GRÁFICA 10F  
Semanales



Las gráficas anteriores posibilitan comparar las actividades, de tal forma que se encuentra un comportamiento muy diferente entre ellas. Al analizar las pérdidas acumuladas de las tres actividades es interesante notar:

1. Ninguna actividad tiene comportamiento aceptable, bajo la teoría Lean Construction, ya que las series de los tiempos contributivo y no contributivo, superan la del productivo.
2. En Colocación de refuerzo, las series son muy estables alrededor de sus valores iniciales, pudiera decirse que no hay mejoramiento a través del tiempo.
3. En Vaciado de concreto se tiene la combinación de los porcentajes de tiempos menos aceptable, pues la serie de los tiempos no contributivos presenta muy altos, la mayoría del tiempo, apuntando a una necesidad urgente de atender este proceso, determinando las causas que dan lugar a estos porcentajes de pérdidas tan altos.
4. Colocación de formaleta tiene un patrón similar a la Colocación de refuerzo aunque presenta

una leve tendencia en el aumento del tiempo productivo entre las semanas tres y seis.

En cuanto a las gráficas de las pérdidas semanales, ellas evidencian un cambio significativo a partir de la semana tres. Dado que tales cambios son comunes a las tres actividades, es probable que se deba a un estímulo externo a ellas. La presentación del informe de evaluación a la constructora, motivó una actitud positiva hacia el mejoramiento.

Es importante además, analizar las pérdidas clasificadas por oficios de cada actividad, a partir de ella se puede reconocer y confirmar lo que ya se había planteado de la Gráfica 9: la gran diferencia en la eficiencia de los oficiales y de los ayudantes. Tal variación se ve afectada en forma negativa por el rendimiento del ayudante, sea por los métodos de trabajo, sea por la cantidad de ayudantes frente a un oficial, que obligaría a realizar un control más cercano del proceso, sea por la naturaleza misma del trabajo del ayudante en cuyo caso, es importante redefinir para el ayudante los conceptos de tiempo productivo, contributivo y no contributivo.

Este análisis facilitó establecer que en alguna medida, las menores pérdidas las da el proceso de Colocación de refuerzo, seguidas por Colocación de formaletas, ambas del oficial. Y, que en tanto que el oficial del Vaciado de concreto tiene los porcentajes más altos de tiempo productivo, su(s) ayudante(s) tienen así mismo el mayor porcentaje de tiempos no contributivos, lo que influye en la evaluación negativa de la actividad, vista en la gráfica anterior.

## CONCLUSIONES

- Implementar exitosamente el nuevo enfoque de gestión de la producción en la industria de la construcción, requiere un cambio cultural a todo nivel de las empresas, que permita establecer nuevos sistemas de medición utilizando herramientas estadísticas básicas y la aplicación de nuevas técnicas de planificación y control del proceso productivo. Para que ello sea posible se requiere capacitar a los profesionales encargados de la planeación, ejecución y control de los proyectos en las nuevas estrategias de gestión, con el fin de que se conviertan en facilitadores en la aplicación de los nuevos conceptos. El enfoque tradicional, de producción a diferencia de éste, no permite identificar ni cuantificar las pérdidas, desperdiciando oportunidades de mejoramiento en el desempeño de los proyectos de construcción.
- Tal como pudo verse en la obra analizada (Caso Medellín) las mediciones realizadas, generaron actitudes positivas y de compromiso de trabajadores y profesionales hacia el mejoramiento. El nuevo esquema de gestión debe convertirse en estrategia empresarial en la búsqueda del incremento de la productividad, la competitividad y el mejoramiento del desempeño del sector de la construcción.
- Se requiere además ampliar el marco muestral realizando mediciones en nuevos proyectos y actividades de construcción, con el fin de definir indicadores globales de desempeño a nivel nacional, que permitan establecer comparaciones entre las empresas del sector y el resultado nacional con estándares de clase mundial.
- La identificación de pérdidas se constituye en la aplicación de uno de los principios básicos de la nueva filosofía lean construction (construcción sin pérdidas). Esfuerzos tendientes a la aplicación de los demás principios deben ser realizados por las empresas del sector, para introducir paulatinamente el nuevo enfoque de gestión de la construcción, evolucionando desde el sistema tradicional de producción en el que principalmente se controlan plazos y costos hacia una visión más global que introduzca nuevas medidas del desempeño.

## NOTA DE LOS AUTORES

Los autores agradecen a los estudiantes Claudia Maria Sánchez, Gina Paola Villalobos, Juan Pablo Ospina y Carlos Augusto Ramírez, de la Universidad EAFIT, por su valiosa participación en el proyecto. Igualmente a las empresas constructoras que permitieron su realización en sus proyectos y a la Compañía de Cemento Argos, por el apoyo económico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, L, Campero M. (1999). Administración de proyectos civiles. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile. 322 p.
- Alarcón, L Editor. (1997). Lean construction. Rotterdam: Balkema publishers. 497 p.
- Howell, G. (1999). What is lean construction. <<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. Technical report No 72*. Center for integrated facility engineering.

Department of civil engineering. Stanford University. 75 p.

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

Torres. C, Isatto, E y Hotomi, E. (1999). Method for waste control in the building industry. <http://www.ce.berkeley.edu/~tommelein/IGLC-7/PDF/Formoso&Isatto&Hirota.pdf> (26 July 1999).