Análisis de la productividad en la construcción de vivienda basada en rendimientos de mano de obra

Analysis of productivity in housing construction based on labor performance

Adriana Gómez cabrera

Magister en Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá (Colombia). adrianagomez@javeriana.edu.co

Diana Carolina Morales Bocanegra

Magister en Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá (Colombia).

dmoralesb@javeriana.edu.co

**Resumen:** *El presente trabajo se basa en los principios de la filosofía Lean Construction, en el cual la identificación y eliminación de pérdidas dentro del proceso constructivo para aumentar la productividad es el principal componente. Muchas de estas pérdidas no están identificadas y muchas de ellas encuentran directamente relacionadas con el recurso humano, por lo cual el objetivo principal es identificar estas pérdidas que afectan la productividad. Para ello se realizó la recolección de información por medio del método de muestreo de campo en diferentes obras de la ciudad de Bogotá. Se tomaron videos y se identificaron las actividades en los que los trabajadores ocupan su tiempo, se identificó el tiempo no contributivo y las actividades asociadas a este. Finalmente se llevó a cabo una simulación en el software Arena de acuerdo con las condiciones encontradas y al flujo de trabajo identificado. Como resultado obtenido se puede concluir que al identificar y disminuir las causas que causan las pérdidas se pueden tener considerables ahorros de tiempos en un proyecto, así mismo al tener en cuenta estos factores al momento de la planeación de los proyectos .*

**Palabras claves:** Construcción sin pérdidas, simulación, productividad, procesos constructivos, mano de obra.

**Abstract:** *This document is based on the principles of Lean Construction philosophy, in which the main*

*component is to identify and eliminate the time losses in the construction process to increase productivity. Many of these losses, are not identified and many of them are directly related to human resources. The main objective of the study is to identify these losses that affect productivity. Using the method of field sampling in different construction sites of Bogotá, the necessary information was recollected. Videos were shot of the activities in which workers spend their time, and with these the non-contributory time and activities were identified. Finally, in Arena, a simulation software, according to the conditions found and identifying the flow of work, various scenarios were simulated to understand the times of the complete process and its time losses. With the results obtained, it can be concluded that identifying and reducing the activities that cause the time losses, there can be a considerable savings of time on a project, which makes it very interesting to consider these factors during the planning stage of a constructive project.*

**Key words:** Lean construction, simulation, productivity in construction, construction processes, labor.

1. **Introducción**

Actualmente en la industria de la construcción es cada vez más común escuchar conceptos relacionados a la productividad, ya que debido a la globalización es una necesidad para las empresas ser cada vez más productivas y competitivas, para así garantizar su permanecía en el tiempo. En Colombia, la construcción es uno de los principales motores de la economía, por lo cual este sector está en búsqueda de métodos que permitan planear y desarrollar proyectos eficientes, que no incurran en sobrecostos ni reprocesos y que disminuya su nivel de incertidumbre. (Céspedes, 2010)

Dentro de estos métodos se encuentran la filosofía de *Lean Construcción* (Koskela, 1992), cuya función principal es buscar la optimización de los recursos, costos y tiempos, orientando sus resultados a la identificación y eliminación de pérdidas y todo aquello que no genera valor dentro el proceso de producción (Botero L. F., 2004). Muchas de estas pérdidas están principalmente dadas por el recurso humano, quien se ve afectado por ciertos factores que en general no están identificados ni se encuentra cuantificado su impacto. (Serpell, 2003)

En este proyecto de investigación se identificaron algunos de esos factores que están relacionados con la mano de obra, por medio del método del muestreo de campo, toma de videos en tres proyectos de construcción objeto de la investigación y entrevistas a los trabajadores para conocer los factores de percepción motivacional que no son fácilmente identificables, y que pueden estar relacionados con la productividad. Finalmente, por medio del software de simulación Arena de Rockwell software, se realizó una simulación del proceso constructivo de una de las obra en su etapa de estructura involucrando actividades de armado de acero, colocación de formaleta y vaciado de concreto. Esta simulación se realizó con los datos recopilados y con el fin de predecir el comportamiento del modelo al eliminar o disminuir los factores que fueron identificaron como pérdidas y que afectan la productividad. Teniendo en cuenta que la simulación es una herramienta para la gestión del conocimiento generando modelos de procesos constructivos es posible considerar en los mismos, lecciones aprendidas en cada proyecto. (Gomez Cabrera, 2010). Por último de acuerdo con lo observado y con los resultados de la simulación se plantearon unas recomendaciones de acuerdo con los aspectos identificados en las obras y factores encontrados en la investigación. Estas recomendaciones servirán de referencia para proyectos futuros de investigación y a las empresas constructoras que quieran aplicar los procesos lean es sus empresas.

Existen factores que afectan la productividad en los procesos de construcción, por lo cual surge la necesidad de conocer y profundizar cuales son estos factores. Al identificar estos aspectos es posible analizarlos y actuar sobre ellos, para así proponer acciones de mejora y optimizar cada vez más los procesos productivos. Esta información y conocimiento serán útiles en la estimación de costos y tiempos de un proyecto. Al tener datos reales de rendimientos de mano de obra y de los problemas más comunes que afectan este rendimiento, se puede lograr estudios de costos que indiquen la viabilidad real de un proyecto al momento de la planeación, esto con el fin de aumentar la productividad del personal, reducir los tiempos de ejecución del proyecto y a la vez los costos. (Céspedes, 2010).

Con las observaciones realizadas en campo se analizará la productividad con respecto a tiempos, movimientos, utilización de recursos, distribución de cuadrillas, etc. del proceso, lo cual también permite realizar observaciones acerca de seguridad industrial y la prevención de riesgos logrando así que se mejoren las condiciones de los trabajadores al interior de la obra (Alarcon, Fuster, Mora, & Sossdorf, 2010) Por lo anterior resulta importante conocer y cuantificar los factores que afectan directamente la mano de obra, entre otras para:

1. Aumentar el conocimiento de la mano de obra y de su situación como ser humano dentro de la obra, así como su desempeño en el trabajo.
2. Generar el conocimiento de la productividad actual de los proyectos.
3. Crear estrategias de mejora para aumentar la productividad, a partir del recurso humano dirigida desde la gerencia de la obra.
4. Mejorar las condiciones de trabajo de todos los participantes dentro de la obra.

En la siguiente figura se enmarca la importancia de enfocar los procesos hacia el mejoramiento de la productividad:

**Figura 1. Importancia del conocimiento de la productividad**

Existen datos de la aplicación teórica de mejoramiento de la productividad, pero la mayoría son producto de investigaciones académicas, ya que en la industria de la construcción no se tienen metodologías claras, es por eso que por medio de la simulación busca predecir estos escenarios óptimos, midiendo los tiempos de duración de las actividades, y determinando los factores fundamentales causantes de las pérdidas de tiempo que generan bajas en la productividad. (Gómez, Echeverry, Giraldo, Cano, & Otálora, 2012).

Se tienen registros de bajos niveles de productividad en el sector de la construcción (Camacol - Consejo Privado de Competitividad, 2008), soportados también por estudios realizados con técnicas como el muestreo de trabajo entre otras, estas técnicas permiten conocer la forma en que los obreros invierten su tiempo para el desarrollo de las actividades. Es así como en general el sector de la construcción (aunque puede variar por actividad), presenta porcentajes de trabajo no productivo de cerca del 40%, tiempo restante se ve invertido en la realización de actividades de desarrollo y apoyo de la actividad principal. Este alto porcentaje, al no contribuir a la realización de la actividad principal, es considerado como una pérdida, la cual gasta recursos y tiempo, pero no da valor.

Particularmente en la construcción, la productividad presenta bajas investigaciones y bajos niveles de aumento respecto a otros sectores económicos: la manufactura ha presentado un aumento en la productividad del 100% en los últimos 30 años, mientras que la construcción se mantiene igual (Radosavljevic & Horner, 2002). El sector de la construcción es para Colombia, uno de los sectores más importantes por la generación de empleo y por su crecimiento anual. En los últimos 5 años el porcentaje de PIB aportado por el sector es en promedio 7.4%, pero durante el primer trimestre de 2013, el sector de la construcción, representó 8,2% del total del Producto Interno Bruto (PIB) de Colombia” (DANE, 2013), mientras que otros sectores (aproximadamente 40 en total) tienen un promedio de 2%. (DANE, 2013).

De otro lado, el recurso humano es el más importante para la ejecución de una obra y es quien con su rendimiento, varía el rendimiento de los otros recursos (Cantúa, Morenoa, Gallina, & García, 2009). Sin embargo y de acuerdo con los análisis realizados por el Consejo Privado de Competitividad, una de las brechas de productividad está dada por el recurso humano, quien desafortunadamente se ve afectado por diferentes factores que reducen directamente los niveles de productividad. En la búsqueda de la medición de la productividad se han diseñado herramientas y estudios en los que se identifiquen estas falencias, ya que se plantea que al identificar dentro del proceso constructivo las causas de estas pérdidas y reduciéndolas, hay un incremento en la productividad. (Alarcón, 1997). Las áreas de mayor impacto en el mejoramiento de la productividad, se centran en la planeación, la gerencia y construcción y no necesariamente implica un mayor costo, consumo de tiempo u otras dificultades. Sin embargo requiere de compromiso para identificar las áreas a mejorar, para aplicar las modificaciones para mejora y mantenerlas en el tiempo. Se presentan recomendaciones sobre 10 áreas para el mejoramiento de la productividad, aplicables a proyectos de vivienda. (Page, 1997)

Muchos de los factores que afectan la productividad están relacionados directamente con el recurso humano, (Serpell, 2003), pero en muchas ocasiones no se les da la importancia que esto merece, teniendo en cuenta que la mano de obra es un componente fundamental del proceso productivo, es por eso que en la presente investigación se profundiza un poco más sobre el tema y con la ayuda de la simulación digital se predice la afectación que estos factores tienen sobre la productividad. De esta forma se plantea una herramienta útil para la toma de decisiones respecto a los métodos constructivos y recursos involucrados, con el fin de minimizar su costo y duración (Gomez Cabrera, 2010).

Dentro de las investigaciones referentes al tema, vale la pena resaltar la realizada por (Botero L. F., 2004) donde se definen los conceptos y aplicaciones de la nueva filosofía de la construcción llamada Lean Construction cuya teoría se basa en la búsqueda de la optimización de recursos, tiempos y costos, esta metodología la cual ha sido implementada en muchas empresas a nivel internacional desde 1993 , esta se basa en la eliminación sin desperdicios o pérdidas como aquellas actividades que no generan valor si no que por el contrario causan re-procesos y demoras en la cadena productiva. El mejoramiento de esta productividad consiste en la identificación de las causas que originan esa perdidas, para proponer acciones de mejora y así al tenerlas identificadas y al conocer estos factores que la afectan tanto positiva como negativamente se pueden actuar sobre ellas, haciendo las respectivas correcciones y acciones de mejora que permitan con el debido seguimiento ir aumentando la productividad en los proyectos de construcción.

En el trabajo realizado por (Botero & Acevedo, 2009) que consistió en una investigación sobre rendimientos y mano de obra empleados actividades para la construcción de vivienda de interés social en mampostería estructural, se tomaron datos reales medidos en obra para conformar una base de datos y se identificaron factores que afectaban esta mano de obra para posteriormente desarrollar un software que permitiera predecir este consumo a partir de la correlación de los diferentes factores. Como conclusión de este estudio realizado se tienen las siguientes premisas: Los sobrecostos a los que se ven asociados los proyectos por una mala identificación y cuantificación de los rendimientos es bastante elevado, el modelo planteado se ajusta a ciertas condiciones propias de un proyecto de VIS, la investigación da unos consumos estándares que se pueden aplicar a otros proyectos, las ecuaciones presentadas muestran una correlación significativa entre el consumo y algunas variables independientes, por lo cual son estadísticamente válidos, se limita a dos obras en la ciudad de Medellín. Pueden no ser suficientes para generalizar la metodología y no se realizó un análisis de impacto de las variables en el rendimiento de la mano de obra.

Otros investigadores realizan una estimación de la productividad real de una obra para un caso específico, por medio del método de “Muestreo del trabajo”. En este trabajo se dan unos valores promedio de caracterización del trabajo productivo, contributivo y no contributivo, también plantea que al identificar y eliminar los problemas que afectan la productividad, se reducirán los costos asociados. El trabajo se realizó a partir un caso puntual en Argentina, pero las prácticas pueden ser extendidas a otras obras. (Cantúa, Morenoa, Gallina, & García, 2009).

Diferentes estudios de caso, generan una serie de recomendaciones para disminuir el tiempo total de la construcción, dando a los encargados de la planeación de los proyectos, las herramientas necesarias que permitan evaluar varios escenarios de manera probabilística, lo cual permitirá una mejor toma de decisiones y una disminución de la incertidumbre del comportamiento del proyecto. (Paez, Echeverry, & Mesa, 2009).

Otra investigación relevante al tema fue desarrollada por (Gomez Cabrera, 2010), en la que después de levantamiento de información en campo para un proceso de construcción de estructura de un proyecto, se llevó a cabo la simulación de eventos discretos. En esta investigación se diseñó un modelo de simulación en el software Arena, el cual permite controlar la duración de las actividades, consumo de materiales y la correcta utilización del recurso, logrando así de acuerdo a las características propias de la obra introducir la información y datos de entrada para el modelo, permitiendo así simular varios escenarios antes de la puesta en marcha del proyecto, y dando herramientas y lecciones aprendidas para una mejora continua del proceso constructivo. Como resultado en una de las alternativas se obtuvo que al disminuir el personal de la obra en oficiales y ayudantes, se puede mantener la duración del proyecto, disminuyendo así los costos asociados a este recurso.

Otro ejemplo de Colombia, analiza las actividades de mampostería y muro en concreto, en la construcción de una edificación cuyo sistema estructural consistía en pantallas de concreto reforzado construido con formaleta manoportable. Se simularon escenarios y se generaron recomendaciones como: revisar el proceso de mampostería, ubicar el material más cerca de su ejecución, cambiar los vehículos para el transporte de material, adquisición de baldes y rodillos con líquidos desencofrantes, garantizar la terminación de las actividades del día anterior, entre otros. Finalmente al realizar el balance del trabajo de acuerdo con las duraciones y a la reubicación del personal, se concluyó que se podría haber una reducción del trabajo de 1 hora al día. (Céspedes, 2010)

Siguiendo esta misma línea de investigación, en el trabajo realizado por (Gómez, Echeverry, Giraldo, Cano, & Otálora, 2012) sepresenta una propuesta mediante el uso de tecnología para capturar imágenes que permitan medir la productividad y aplicando los conceptos de la filosofía Lean Construction se planteen unas posibles soluciones para mejorar estos aspectos que afectan el rendimiento. Esta investigación ofrece un sistema que facilita la toma de decisiones respecto a métodos constructivos y los recursos involucrados para cada proyecto, todo esto con el objetivo que dentro de los proyectos de construcción se logre aumentar los rendimientos y disminuir los costos asociados a estos, los resultados obtenidos dieron como resultado que al ser implementado se redujeron los tiempos de ciclo dando un mejor uso de los recursos lo que se traduce en ahorro de recursos para el proyecto. De los resultados obtenidos se plantearon nuevos escenarios teóricos que posteriormente se simularon y arrojaron como resultado un ahorro en tiempo y costos. Se concluye que una de las causas principales para las pérdidas de tiempo es que los materiales o los equipos no son entregados cerca donde se van a utilizar y que las actividades en las que más se utiliza personal del necesario es en el vaciado de concreto de los elementos estructurales.

Otra investigación se centra exclusivamente en la productividad laboral del recurso humano con el fin de generar ahorros en tiempo y costo por medio de la administración adecuada de los mismos, además de relacionar la productividad con los conceptos de valor ganado. Adicionalmente abarca las definiciones de construcción productividad laboral, aspectos, medidas, factores y algunas técnicas que pueden ser utilizadas para la medición y técnicas de modelado. El resultado principal a partir de la literatura es que no hay una definición estándar de la productividad. Este estudio proporciona una guía para conocer los pasos necesarios para mejorar la productividad del trabajo de la construcción y en consecuencia, el rendimiento del proyecto. Puede ayudar a mejorar el rendimiento global de los proyectos de construcción a través de la aplicación del concepto de puntos de referencia. Especialmente enlista 5 técnicas comúnmente usadas para la medición de la productividad en obra, lo cual nos abre la posibilidad a estudiarlas y elegir la de mayor aplicación en el medio colombiano: técnica de muestreo, técnica de encuesta a empleados, técnica de estudio de tiempo, técnica de análisis de movimiento y técnica de tiempo en grupo. (Shehata & El-Gohary, 2011)

Otro reciente trabajo relaciona la productividad como la estrategia para lograr una alta competitividad frente a otras empresas. Sin embargo haciendo énfasis en que para ello se requiere hacer un aumento de la productividad manteniendo constantes el precio y la calidad. Se indica que la mayoría de los estudios realizados, muestran que en el lugar de trabajo los trabajadores tienen una productividad por debajo del 50% y se realiza un estudio con 25 directores de obra, para definir cinco puntos sobre los cuales se puede aumentar la productividad con los cuales se desarrolló un modelo para hacer mejoras y soluciones alternativas que pueden servir para proyectos futuros. (Hammad, Vahdatikhaki, Zhang, Mawlana, & Doriani, 2012)

Otro trabajo (AbouRizk, Halpin, Mohamed, & Hermann, 2012) demuestra que la simulación computacional es una herramienta fundamental para la planeación y ejecución de la obras civiles. En el caso de estudio realizado en la investigación se plantean los beneficios a largo plazo de la simulación computacional y se plantean lineamientos para desarrollos futuros computacionales que sigan previendo y aportando a la planeación y ejecución de proyectos de construcción. Este estudio complementa muy bien la filosofía de simulación implementada en este trabajo ya que concluye que la simulación es el futuro de la planeación de los proyectos dando así un gran aporte al mejoramiento de los procesos constructivos.

Investigaciones más recientes presentan la simulación de la construcción de un hotel por medio de la simulación de eventos discretos, en este estudio se realizó por medio de la herramienta tecnomatx plant simulation. El resultado obtenido arrojo que la simulación digital es complemento para las etapas de planeación y control durante la etapa de ejecución. (Berner, Kochkine, Habenicht, & Spieckermann, 2013) Una investigación colombiana también relacionan la simulación como una herramienta que no debe utilizarse de manera aislada sino por el contrario se maximizan sus beneficios al analizarla en conjunto con metodologías de modelación digital de edificaciones para integración de proyectos y con herramientas de optimización de programación de obra. (Gómez, Quintana, & Avila, Simulación de eventos discretos y líneas de, 2015)

1. **Metodología**

Para la recolección de información se tomaron datos de tres obras en la ciudad de Bogotá, las obras seleccionadas corresponden a uso residencial y construcción aporticado con muros de concreto reforzado, estas obras son de una misma constructora con características similares en su proceso de ejecución. El proyecto 1 consta de 2 torres de 16 y 26 pisos, El sistema constructivo consiste en un sistema convencional aporticado en muros y losas de concreto reforzado. El proyecto 2 consta de 4 torres de 22 pisos, el sistema constructivo utilizado para este proyecto es el sistema de pórticos que forman un conjunto de vigas y columnas que se conectan rígidamente, el concreto se producía en obra mediante una planta mezcladora. El proyecto 3 consta de 4 torres de apartamentos de 16 pisos y el sistema estructural es aporticado con estructuras de muros y placas en concreto reforzado. En la siguiente figura se espefican los procesos constructivos analizados:

1. **Trabajo de campo y recolección de información**

La obtención y captura de la información se realizó por medio del método de muestreo de campo. Se realizaron visitas a cada una de estas obras en las que se tomaron videos de las actividades que ejecutaban los trabajadores durante diferentes horas del día. Lo anterior con el fin de tener acceso a las actividades en diferentes horas y días de la semana, y así medir e identificar las variaciones en diversas condiciones. Se tomaron datos en las actividades de armado de acero, instalación de formaleta y vaciado de concreto en los procesos de columnas, placa y vigas. La figura 1 muestra un diagrama con los procesos macro y las actividades en cada uno de ellos:

 

Figura 2. Procesos y actividades de la medición

Teniendo en cuenta que no todos los factores son identificables a simple vista, se realizaron entrevistas personalizadas a los trabajadores. Estas entrevistas permitieron tener un acercamiento a ellos para conocer y medir factores intrínsecos y que pueden tener un valor significativo en la afectación de la productividad y de su rendimiento laboral. En esta etapa se determinaron las preguntas a realizar a los trabajadores, las cuales se diseñaron con el fin de identificar esos posibles factores que le afectan. Durante las inspecciones visuales realizadas a la obra, también se identificó el flujo de trabajo con la secuencia de actividades y el personal involucrado en cada una de ellas.

1. **Procesamiento y análisis de la información**

En la segunda etapa se llevó a cabo todo el procesamiento y análisis de la información, caracterizando los factores y las variables involucradas en estos y que afectan la productividad de la mano de obra. Se realizó el análisis estadístico de la información y se cuantificó el impacto que tienen estas variables en la productividad, verificando la distribución y participación de las actividades involucradas en cada uno de los procesos. Se analizó la información y se obtuvieron datos de trabajo productivo, contributivo y no contributivo y con los factores identificados en la fase anterior, revisando detalladamente los videos tomados en obra y clasificando las actividades en los tipos de trabajo anteriormente mencionados

1. **Simulación**

Por último se realizó una fase de análisis de los resultados obtenidos determinado la relación que existen entre las variables, relacionado lo observado en campo con los rendimientos reales obtenidos en obra. En esta fase se realizó una simulación en el software ARENA incluyendo los factores y variables de acuerdo a las condiciones encontradas. Luego se plantearon escenarios mejorados y se dieron recomendaciones a partir al análisis de la información.

1. **Resultados y Discusiones**

Luego del proceso de grabación y análisis de los videos tomados y de las encuestas realizadas en las diferentes obras, se recopiló toda la información en una base de datos, donde los diferentes tiempos por actividad y tipo de procesos se pudieron organizar y presentar de manera gráfica para así lograr ver porcentajes, tendencias y cantidades de los aspectos más relevantes del estudio. A continuación se presentan estos resultados mencionados con su respectivo análisis en la figura siguiente:

Figura 3. Participación por tipo de actividad

En la figura 4 se identifican los principales tipos de trabajos observados en las tres obras. Como era de esperarse el mayor porcentaje de tipo de actividad está comprendido en el trabajo productivo, pero es interesante ver que el 21,8% casi una cuarta parte de todo el tiempo es gastado en actividades no contributivas, lo cual demuestra que las oportunidades de mejora para esta obra son muy significativas y que si se logra distribuir esas pérdidas de tiempo ya sea en tiempo productivo o contributivo se lograría disminuir los tiempos de procesos o aumentar la calidad de este ya que se podría invertir más tiempo en control, medición y limpieza. En la siguiente figura se puede observar que la actividad con mayor contribución de tiempo productivo es el armado de acero, esto demuestra que es la cuadrilla más eficiente.

Figura 4. Tipo de actividad por proceso

A continuación se presenta una figura con el detalle de aquellas actividades no contributivas que representan la cuarta parte del tiempo total como se mencionaba anteriormente

.

Figura 5. Participación de las actividades no contributivas

En la figura 5 se puede observar que casi el 70% de las actividades no contributivas se dividen en tres aspectos: Esperas, desplazamientos y ocio. Los dos primeros se pueden corregir desde una planeación administrativas más adecuadas, donde los puestos de trabajo, y los recursos estén ubicados estratégicamente para evitar pérdidas de tiempo y de energía. El ocio es un tema que se debe atacar directamente por los supervisores en piso y se debe identificar si está directamente ligada a factores motivacionales del personal o a una mala programación de actividades. Por otro lado, al detallar la distribución de actividades contributivas, se puede observar que la preparación de materiales tiene un valor importante con respecto a las otras, esto implica las actividades tales como; corte de acero, verificación de verticalidades, medición de formaletas, entre otras. Es importante resaltar que estas actividades son claves para garantizar una óptima calidad de la ejecución del trabajo.

Los datos también se pueden analizar desde otra perspectiva; detallando las actividades de tipo no contributivo pero para cada proceso constructivo estudiado en este trabajo. De esta manera se puede fácilmente identificar el proceso que más genera pérdidas de tiempos y así poder a su vez proponer mejoras puntuales que afecten positivamente el proceso general de la obra. En la siguiente tabla se presenta la distribución porcentual de cada factor por actividad:

Tabla 1. Contribución de factores por actividad

|  |  |
| --- | --- |
| **FACTOR** | **ACTIVIDAD** |
| **Armado de Acero** | **Colocación de Formaleta** | **Vaciado de Concreto** |
| Esperas | 20.6% | 17.8% | 31.1% |
| Desplazamiento | 25.5% | 27.5% | 18.7% |
| Ocio | 7.8% | 27.3% | 23.9% |
| Descanso | 21.0% | 16.9% | 12.9% |
| Reprocesos | 17.0% | 10,5% | 7.0% |
| Mal clima | 8.0% | 0.0% | 6.5% |

Es interesante ver que para cada actividad se tiene un factor diferente liderando la pérdida de tiempos. En armado de acero resulta ser los desplazamientos los de mayor aporte con un 25.5% del total del tiempo no contributivo de esta actividad. Mientras que para la colocación de formaleta el 37,7% de total de pérdidas se deben al ocio. Finalmente para el vaciado de concreto son las esperas las que más contribuyen a trabajos no contributivos con un 31.1%. Estos porcentajes no son muy dicientes si se comparan entre sí, ya que cada actividad tiene una participación diferente en la obra, por lo que se hace necesario utilizar la simulación para poder identificar realmente que factor es el que más influye en la pérdida de tiempos causando que los procesos sean improductivos. La tabla anterior se presenta también de manera gráfica en la siguiente figura para poder visualizar fácilmente como es la distribución de los factores para cada actividad independiente.

Figura 6. Actividades no contributivas por proceso

Como resumen de los resultados generales de las obras se presenta la siguiente gráfica, donde se ve claramente como es la distribución de tipos de trabajos para cada obra y se identifica una oportunidad de mejora clara en la obra 1 que es la que mayor aporte no contributivo tiene. Esta puede ser un claro reflejo de las obras no productivas que cada día están perdiendo dinero por falta de una buena planeación y organización de los recursos humanos

Figura 7. Distribución de trabajo por obra

Para conocer la percepción que tienen directamente los trabajadores frente a su productividad, las inconformidades y factores que de acuerdo a su percepción afectan su desempeño dentro de la obra, se realizaron unos sondeos en el que se diseñaron una serie de preguntas para indagar y tratar de profundizar más sobre este tema. Como resumen general se presenta la tabla No. 2 con las condiciones e inconformidades encontradas de acuerdo a los sondeos realizados.

Tabla 2. Factores de percepción motivacional

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No** | **PRECEPCION MOTIVACIONAL** | **%** | **No** | **PRECEPCION MOTIVACIONAL** | **%** |
| 1 | Demora en el pago del sueldo, remuneración | 34% | 5 | Reconocimiento del trabajo | 8% |
| 2 | Mal trato por parte del jefe y clima laboral | 15% | 6 | Problemas familiares | 7% |
| 3 | Otros | 14% | 7 | La rutina | 6% |
| 4 | Estado de ánimo y cansancio personal | 10% | 8 | ninguna | 6% |
|  |  |  |  |  |  |

A nivel general se evidencia una gran inconformidad por parte de los trabajadores con respecto a los temas salariales, cambios constantes de actividad y trato por parte del jefe inmediato.

1. **Simulación**

Para conocer el comportamiento del proceso con las situaciones encontradas, se simuló en el software Arena el proceso constructivo de un ciclo de construcción de una torre de 7 pisos. Se analizó la construcción de cada piso como un ciclo del proceso

el cual tiene una duración aproximada de 19 días. Se determinaron tiempos de duración para las siguientes actividades, para luego ingresas estos datos como datos de entrada para la simulación, para esto se contó con la colaboración de la empresa constructora quien suministro la información.

Para la simulación se estableció el flujo de trabajo de las actividades el cual se presenta a continuación en la siguiente figura:



Figura 8. Diagrama de flujo de trabajo

Para la conceptualización del modelo se planteó una distribución por zonas, tal como se hace realmente en el proceso constructivo de la obra. En cada una de las cuatro zonas se llevan a cabo en el mismo orden las actividades de armado de acero y encofrado. Para esto se tuvo en cuenta la secuencia y las actividades que son predecesoras tanto en la misma zona como en la combinación entre ellas.

1. **Planteamiento de escenarios**

A continuación se presentan los resultados del modelo, en los cuales se varió cada uno de los factores utilizando el vector binario mencionado anteriormente. Se plantearon 7 escenarios en los que en cada uno se eliminó uno de los factores para así ver individualmente el impacto de cada uno de ellos, también se planteó un escenario en el que se varia la afectación de los factores, no se eliminan pero si se reduce su impacto. Es importante aclarar que el clima, como factor no contributivo, se mantuvo siempre presente en todos los escenarios ya que es un factor que no se puede controlar a diferencia de los otros 5 factores hallados.

En el escenario 1 se eliminaron las esperas, dando como resultado una disminución del 10,8% con respecto a al tiempo real de ejecución. Luego en el escenario 2 al variar los desplazamientos se obtuvo un 12,5% menos de tiempo total; un resultado muy similar al escenario 1. Siguiendo con la eliminación total de un factor especifico, se planteó un escenario 3 donde se elimina por completo el ocio. En este escenario se obtuvo un 16% total de reducción de tiempo, lo cual es muy interesante ya que el ocio es un factor que puede ser controlado en la obra y que gracias a la simulación es evidente que aporta un gran porcentaje en las perdidas de tiempos. En el cuarto escenario se eliminó el factor de descansos y la disminución de tiempo bajo a solo un 8.4% que es casi la mitad de lo visto en el escenario anterior. En el escenario donde se eliminaron los Reprocesos, escenario 5, solo hubo una reducción del 1.3% lo cual deja de ser interesante al compararse con los otros escenarios. A continuación se presenta la tabla donde de forma matricial se muestra cada escenario con sus respectivos escenarios:

Tabla 3. Escenarios con cada factor

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **FACTORES** | **Esc1** | **Esc2** | **Esc3** | **Esc4** | **Esc5** | **Esc6**  | **Actual** | **Combinado** |
| Esperas | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0.5 |
| Desplazamiento | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0.2 |
| Ocio | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Descanso | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0.8 |
| Reprocesos | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0.7 |
| Mal Clima | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Tiempo Total horas | 992.4 | 973.1 | 934.9 | 1019.6 | 1097.6 | 581.2 | 1112.5 | 918.2 |
| Tiempo por piso (h) | 141.7 | 139.0 | 133.5 | 145.6 | 156.8 | 83.0 | 158.9 | 131.2 |
| **Disminución %** **Tiempo Total** | **10.8%** | **12.5%** | **16.0%** | **8.4%** | **1.3%** | **47.8%** |  | **17.5%** |
|  |
| Días Obra | 124.1 | 121.6 | 116.9 | 127.5 | 137.2 | 72.7 | 139.1 | 114.8 |
| Días por Piso | 17.7 | 17.4 | 16.7 | 18.2 | 19.6 | 10.4 | 19.9 | 16.4 |

El sexto escenario se propone como un proceso ideal que a su vez llega a ser irreal ya que se establece que todos los factores menos el mal clima sean eliminados por completo. Este escenario limita todo el rango que existe de mejora donde al plantear un reducción total de los factores no contributivos se lograría una disminución del 47.8% del tiempo total de la obra. Lograr una obra en la mitad de tiempo implicaría un ahorro económico gigantesco para una constructora. Finalmente se plantea un último escenario donde se propone una disminución porcentual de cada factor. Esto representa un trabajo administrativo de mejoras donde gracias a una buena planeación de los recursos de la obra, el manejo de materiales, la motivación del personal se lograría disminuir parcialmente cada factor logrando mejoras significativas en los tiempos totales de la obra. En el Escenario combinado se modifican los factores con reducciones entre el 20% y 50% dejando el ocio con los valores actuales ya que en el escenario 3 ya se vio la importancia que este factor tiene. Con la disminución combinada se logró proponer un 17.5% de disminución del tiempo total de la obra, pasando de 19.9 días por piso a solo 16.4 días lo cual es una ganancia muy significativa. La estructura de este simulador permite variar los factores según las proyecciones de cada obra para prever si las acciones a implantar se justifican en cuando a reducción de tiempos o no.

1. **Discusión**

En diferentes estudios realizados sobre el tema de productividad y la utilización de la simulación como herramienta de análisis de información, se ven resultados efectivos de forma que se pueda predecir el comportamiento del sistema bajo ciertas condiciones y características especiales, esto se ve reflejado en estudios como el realizado por Echeverry (2012) o como el realizado por Gómez (2010) en el cual se plantea una metodología para disminuir personal, reduciendo así los costos asociados a estos recursos y optimizando el tiempo para disminuir la duración total del proyecto. Con respecto a los resultados obtenidos en la medición de tiempos por medio del método de muestreo de campo, se observan valores similares a los obtenidos por Núñez (2006), quien obtuvo 57,3% de actividades productivas, 21,5% de actividades contributivas y de un 21,1% de actividades que corresponden a tiempo no contributivos y actividades que no generan valor. Los resultados obtenidos en este proyecto son: productivo 55,3%, contributivo 22,9% y no contributivo 21,8%, esto a su vez difieren de los arrojados en el trabajo de Echeverry (2012) donde el 31,2 es productivo, el 46,2 es contributivo y el 22,8 es no contributivo. En el presente trabajo se hace énfasis en las actividades no productivas ya que es el objeto de la investigación, y por medio de la simulación se identifica el comportamiento de estas dentro del proceso productivo. En investigaciones como la realizada por Echeverry (2012) y céspedes (2009) se enfocan en los tiempos de duración de las actividades y en la distribución de los recursos y personal, se identifican las posibles causas de las pérdidas y se dan recomendaciones para disminuirlas, factores como la planeación, reorganizar el tema del desplazamiento por materiales, tener las herramientas adecuadas, mejorar el tema de seguridad industrial entre otros, pero no se hace un análisis detallado del impacto y el comportamiento de los factores que afecta la productividad.

1. **Conclusiones y recomendaciones**
* Después de realizar el análisis de la información se obtuvo que los factores identificados fueron: esperas materiales y equipos, ocio, desplazamiento por traslado de material, reprocesos, descansos y mal clima.
* Los principales factores de acuerdo a la percepción de los trabajadores fueron:
1. Estado de ánimo del trabajador y cansancio personal.
2. Falta de recursos suficientes para desempeñar su labor.
3. Demoras en el pago del salario
4. Reconocimiento de su trabajo
5. Mal trato por parte del jefe y clima laboral
6. La rutina
7. Cuando no llegan los materiales y se alarga la jornada.
8. Cambio de labor de su especialidad
* Luego de ver los resultados y de acuerdo con lo observado, se puede concluir que hay una clara falta de planeación en las obras y esto se ve reflejado durante el proceso de ejecución. Por ejemplo los baños y el almacén implican pérdidas de tiempo significativas que se traducen en sobrecostos y retrasos en la programación. Realizar un análisis de layout puede minimizar este tipo de impactos ya que se planea la logística para tener la menor cantidad de pérdidas por desplazamientos.
* A nivel general los trabajadores presentan inconformidades con respecto a sus condiciones laborales dentro las obras donde trabajan, se evidencia que estos factores están directamente relacionados con la productividad en la ejecución de las actividades. Se podría profundizar en futuras investigaciones sobre el tema realizando las correlaciones que tienen estos factores motivacionales y su afectación específica dentro de la productividad en la mano de obra.
* La simulación digital permite ver alternativas y evaluar un proceso antes de su puesta en marcha, teniendo así datos de duración de los proyectos más acertados con la realidad, evitando así sobrecostos y pérdidas en la etapa de ejecución y disminuyendo su nivel de incertidumbre.
* En futuras investigaciones sería interesante profundizar en las correlaciones que existen entre los factores de percepción motivacional encontrados y su afectación específica en la productividad, para así tener un modelo que incluya estos factores.
1. **Referencias Bibliográficas**

AbouRizk, S., Halpin, D., Mohamed, Y., & Hermann, U. (2012). Research in Modeling and Simulation for Improving Construction Engineering Operations. *JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 844 -854.

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

Alarcon, L., Fuster, S., Mora, M., & Sossdorf, D. (2010). Utilización de imágenes y videos digitales para el mejoramiento de la productividad y prevención de riesgos en operaciones de construcción.

Berner, F., Kochkine, V., Habenicht, I., & Spieckermann, S. (2013). Similation in. *Winter Simulation Conference,*, (págs. 3306-3317).

Botero, L. F. (2004). Construcción sin Pérdidas: Análisis de Procesos y Filosofía Lean Construction. *Revista Universidad EAFIT*, Medellín.

Botero, L. F., & Acevedo, H. (2009). Simulación digital de un proyecto de construccion en Colombia. *Revista Universidad EAFIT*, 3-17.

Camacol - Consejo Privado de Competitividad. (2008). Competitividad de la actividad constructora de edificaciones: diagnóstico y recomendaciones de política. *Consejo Privado de Competitividad*, (pág. 42). Bogotá D.C.

Cantúa, A., Morenoa, J., Gallina, M., & García, G. (2009). Productividad real en obras civiles: análisis de un caso. *Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería 2009*, (pág. 12). Mendoza, México.

Céspedes, J. D. (2010). Mejoramiento de la Productividad en Construcción: Time-Lapse y Simulación Digital como herramientas de Análisis. *Universidad de los Andes*.

DANE. (2013). *Indicadores económicos alrededor de la construcción.* 2013: Dirección de Difusión, Mercadeo y Cultura Estadística del DANE.

Gomez Cabrera, A. (2010). Simulación de procesos constructivos. *Ingeniería de Construcción*, 121-141.

Gómez, A., Echeverry, J. D., Giraldo, M. X., Cano, M., & Otálora, C. (2012). Mejoramiento de Procesos Constructivos de una Edificación a Partir de Simulación Digital y Videos Time Lapse. *Ingeniería de construcción \* Vol 27*.

Gómez, A., Quintana, N., & Avila, J. (2015). Simulación de eventos discretos y líneas de. *Ingeniería y Ciencia Volumen 11*, 157 - 175.

Hammad, A., Vahdatikhaki, F., Zhang, C., Mawlana, M., & Doriani, A. (2012). TOWARDS THE SMART CONSTRUCTION SITE: IMPROVING PRODUCTIVITY AND SAFETY OF CONSTRUCTIONS PROJECTS USING MULTI-AGENT SYSTEMS, REAL-TIME SIMULATION AND AUTOMATED MACHINE CONTROL. *Winter Simulation Conference* (págs. 3687-3698). Laroque: IEEE.

Koskela, L. (1992). *Application of the New Production Philosophy to Construction. Stanford University.*

Paez, H., Echeverry, D., & Mesa, H. (2009). Simulación digital de procesos de construcción de estructura en. *Revista Ingeniería de Construcción Vol. 23*, 64 -71.

Page, J. S. (1997). *Estimator´s general construction man-hour manual.* Houston, Texas: Gulf Professional Puplishing.

Radosavljevic, M., & Horner, M. (2002). The evidence of complex variability in construction labour productivity. *Construction Management and Economics*, 3-12.

Serpell, A. (2003). *Administración de operaciones de construcción.* Chile: Alfaomega.

Shehata, M., & El-Gohary, K. (2011). Towards improving construction labor productivity and project´s performance. *Alexandria Engineering Journal*, 321-330.