



Carlos Arturo Osorio Sandoval

ORCID: [0000-0002-1922-2610](https://orcid.org/0000-0002-1922-2610)

Jesús Nicolás Zaragoza Grifé

ORCID: [0000-0002-8780-4401](https://orcid.org/0000-0002-8780-4401)

Determinación del impacto del ausentismo de la mano de obra sobre el tiempo de ejecución de las actividades de construcción de vivienda

Páginas 153--169

En:

Compilación de artículos de investigación [2014]. México: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, División de Ciencias y Artes para el Diseño, 2014. ISSN: 2007-7564

Red Académica Internacional UADY, UAM-A, WPI, TAMU e invitados. Administración y Tecnología para Arquitectura, Diseño e Ingeniería.

Universidad Autónoma Metropolitana
Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco
<https://www.azc.uam.mx>



División de Ciencias y Artes para el Diseño

<https://www.cyad.online/uam/>

Procesos
y Técnicas de Realización

Departamento de Procesos y Técnicas de Realización
<http://procesos.azc.uam.mx/>



Área de Administración y Tecnología para el Diseño

<https://administracionytecnologiaparaldiseño.azc.uam.mx/>



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como

Atribución-NoComercial-SinDerivadas

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Determinación del impacto del ausentismo de la mano de obra sobre el tiempo de ejecución de las actividades de construcción de vivienda

Ing. Carlos Arturo Osorio Sandoval

carturoosorio@gmail.com

Mtro. Jesús Nicolás Zaragoza Grifé

zgrife@uady.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN

ABSTRACT

Absenteeism of labour in construction has been identified as one of the main factors delaying construction projects worldwide, including the Yucatan Peninsula. However, its impact on the duration of construction activities has not been studied in the local context.

Studying this impact would help project managers to consider this variable in order to reduce uncertainty while planning, as well as to assess measures to reduce absenteeism with the purpose of delivering their work in time.

The objective of the presented work is to determine the impact of absenteeism of labour on the duration of construction activities in housing projects. To achieve this, a simulation analysis will be conducted using the following methodology:

- Productivity and absenteeism data will be collected by observing the activities of mass housing construction.
- A simulation model will be performed to estimate the duration of the activities observed based on their productivity.
- A sensitivity analysis will be performed, with a manipulation level of presence-absence for the absenteeism variable.

KEYWORDS

Absenteeism, productivity, simulation model.

RESUMEN

El ausentismo de la mano de obra en la construcción se ha identificado como uno de los principales factores que retrasan los proyectos de construcción en todo el mundo, incluyendo la Península de Yucatán. Sin embargo, su impacto sobre el tiempo de ejecución de las actividades de construcción no ha sido estudiado en el contexto local.

Estudiar dicho impacto ayudaría a los administradores de proyectos a tomar esta variable en cuenta para disminuir la incertidumbre al planificar y a evaluar medidas que disminuyan el ausentismo con el objetivo de entregar sus obras en tiempo.

El objetivo del trabajo que se presenta es determinar el impacto del ausentismo de la mano de obra sobre el tiempo de ejecución de las actividades de construcción de vivienda. Para conseguirlo, se llevará a cabo un análisis de simulación siguiendo la siguiente metodología:

- Se recolectarán datos de productividad y ausentismo mediante la observación de las actividades de construcción de vivienda masiva.
- Se realizará un modelo de simulación para estimar los tiempos de ejecución de las actividades observadas con base en su productividad.
- Se realizará un análisis de sensibilidad con un nivel de manipulación presencia-ausencia de la variable ausentismo.

PALABRAS CLAVE

Ausentismo, productividad, modelo de simulación

INTRODUCCIÓN

Las demoras en la ejecución de los proyectos han sido siempre un tema de preocupación de los investigadores (Eizakshiri, et al., 2011) debido a que éstas provocan pérdidas tanto a los inversionistas como a los constructores y, además, suelen provocar disputas legales entre ellos (Solís Carcaño, et al., 2009). En la construcción existen muchas variables y factores impredecibles que provienen de múltiples fuentes y causan retrasos (Assaf & Al-Hejji, 2006; Muñoz & Muñoz, 2010).

En diferentes investigaciones llevadas a cabo por la facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán se ha identificado al ausentismo como uno de los principales factores que retrasan los proyectos de construcción (Martínez Delgadillo, 2006; García Ibarra, 2011), su efecto sobre la productividad (Arcudia Abad, et al., 2003) y los factores individuales y grupales que lo producen (Padilla Espadas, 2003).

El impacto del ausentismo de la mano de obra sobre el tiempo total de ejecución de los proyectos de construcción no ha sido estudiado en el contexto local y hacerlo ayudaría a los administradores de proyectos a tomar esta variable en cuenta para disminuir la incertidumbre al planificar y a implementar medidas que traten de disminuir el ausentismo con el objetivo de entregar sus obras en tiempo.

La dificultad de estudiar esta variable de manera aislada en un proyecto de construcción se puede sortear mediante la experimentación en laboratorio, utilizando para ello las técnicas de simulación de proyectos de construcción, que es además un enfoque que no se ha abordado en el contexto local.

OBJETIVO GENERAL

Determinar el impacto del ausentismo de la mano de obra sobre el tiempo de ejecución de las actividades de construcción de vivienda.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener la distribución de las duraciones de las ausencias de los trabajadores en la ejecución de las actividades de construcción de vivienda.
- Realizar un análisis de simulación que permita la estimación del impacto del ausentismo de la mano de obra sobre el tiempo de ejecución de las actividades de construcción de vivienda.

DESARROLLO

DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL AUSENTISMO

No existe una definición ni una clasificación homogénea para el ausentismo entre los diferentes investigadores que la han abordado. A continuación se presentan algunas de las definiciones y

clasificaciones encontradas en la literatura existente.

Fayek et al. (2011) definen al ausentismo en la construcción como la ausencia del trabajador en actividades programadas por un periodo igual o mayor a dos horas consecutivas. El periodo de dos horas fue seleccionado debido a que los expertos a los que consultaron al realizar su estudio opinaron que perder dos horas o más es casi igual de perjudicial para el flujo de trabajo y la productividad de las cuadrillas que faltar un día entero al trabajo. Sin embargo, recomiendan considerar plazos diferentes de acuerdo a las condiciones del trabajo.

Pino (2002) define al ausentismo como la inasistencia de un obrero a su sitio de trabajo durante una o más jornadas de trabajo, siempre y cuando éste regrese posteriormente al mismo dentro de un periodo de tiempo máximo de una semana.

Padilla (2003) cita a Chiavenato, quien define al ausentismo como el término empleado para referirse a las faltas o inasistencias de los empleados al trabajo. En sentido más amplio, el ausentismo es la suma de los períodos en que, por cualquier motivo, los empleados se ausentan o no asisten al trabajo.

Hinze et al. (1985) identifican dos tipos de ausentismo: el voluntario y el involuntario. El ausentismo voluntario ocurre cuando el trabajador tiene control sobre la ausencia, es decir, cuando tiene la capacidad de trabajar pero por alguna razón decide no acudir al trabajo. Por otro lado, en el ausentismo involuntario el trabajador tiene poco o ningún control sobre la ausencia, la cual ocurre por una causa justificada por ejemplo por enfermedad o lesiones. Esta clasificación fue utilizada por Hanna et al. (2005) en el contexto internacional y por Pino (2002) y Padilla (2003) en el contexto local.

En los estudios conducidos en la Península de Yucatán, Pino (2002) y Martínez Delgadillo (2006) contabilizaron el ausentismo sin tomar en cuenta si se trataba del tipo voluntario o involuntario. Padilla (2003) contabilizó el ausentismo voluntario y el involuntario y pudo apreciar la predominancia del primero.

MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL AUSENTISMO

Hanna et al. (2005) utilizaron un cuestionario cuantitativo en el cual los contratistas reportaron el ausentismo como porcentaje del número de trabajadores ausentes en un proyecto respecto del número de empleados.

Pino (2002) registró en una cédula de asistencia la hora de entrada y salida de cada uno de los elementos que conformaban las brigadas observadas en su estudio. Dicha cédula tenía la finalidad de registrar los días en que los elementos de la brigada faltaron a su trabajo y calcular el índice de ausentismo de la brigada para cada jornada de trabajo.

Al mismo tiempo, registró en otra cédula las diferentes actividades realizadas durante la jornada, así como las cuadrillas que se formaron para desarrollar cada una de éstas. Entre otros datos, el índice de ausentismo de la actividad en la jornada era calculado con ayuda de esta cédula.

Pino (2002) estableció una serie de criterios de recomendación para diferenciar las incidencias de

ausentismo y rotación. Explica que de la lista de asistencia diaria, fueron consideradas como ausentismo las faltas de los elementos de las cuadrillas siempre y cuando hubieran regresado a laborar antes de concluir la semana en curso. Se consideró de esta manera pensando que al no regresar el trabajador a lo largo de la misma semana, éste pudo haberse dedicado a otras actividades en otro sitio, lo cual, para el estudio de Pino (2002), era tomado en cuenta como rotación.

Padilla (2003) desarrolló un instrumento de medición para determinar el índice de ausentismo voluntario en la construcción de viviendas de interés social. Dicho instrumento recolectaba la siguiente información: nombre del trabajador, tipo de cuadrilla y número de integrantes, actividades realizadas durante el día, horario de actividades, tiempo ausente, imprevistos generados durante el día y observaciones. Se creó además otra cédula en la cual se resumía específicamente la asistencia de los trabajadores durante una semana.

El registro de la información de campo se llevó a cabo diariamente durante toda la jornada laboral utilizando la cédula correspondiente al registro de actividades. Al finalizar cada día se realizaba una recopilación de todas las cédulas llenadas durante el mismo. Finalmente, cada semana se sintetizaba toda la información relacionada con el ausentismo en la cédula semana correspondiente.

DEFINICIÓN Y UNIDAD DE MEDIDA DE PRODUCTIVIDAD

La productividad es la relación entre lo producido y lo consumido o recursos utilizados. Es posible hablar de productividad de los materiales, de los equipos, del terreno o espacio y de la mano de obra. En la construcción, siendo todas importantes, no cabe duda que la más impredecible es la última (Serpell B., 1986). Esto se debe a que la productividad de la mano de obra es normalmente el recurso que fija el ritmo de trabajo de la construcción, del cual depende la productividad de otros recursos (Botero Botero & Álvarez Villa, 2004).

Se define a la productividad como la cantidad de bienes o servicios que la mano de obra produce en un tiempo dado. Es uno de los aspectos más importantes de la construcción ya que afecta al desempeño de cualquier proyecto en cuanto a tiempo y costo (Mahamid, 2013).

Según Sonmez y Rowings (1998), la productividad puede ser medida de diferentes formas dependiendo del uso que se le dará a los datos. La razón entre las unidades terminadas y las horas-hombre trabajadas (tasa de producción) o la razón entre las horas-hombre trabajadas y las unidades terminadas (inverso de la tasa de producción) se utilizan comúnmente para medir la productividad en la industria de la construcción.

Por ejemplo, Pino (2002) y Arcudia et al. (2003) definen a la productividad como la relación entre el volumen ejecutado del trabajo realizado en una determinada actividad y la cantidad de horas-hombre invertidas durante la jornada para la ejecución de la misma. Con base a esta definición, en su estudio utilizó la siguiente fórmula para calcularla:

$$\textit{Productividad} = \frac{\textit{Volumen de la actividad ejecutada durante la jornada}}{\textit{Cantidad de horas hombre invertidas para su ejecución}}$$

RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA PRODUCTIVIDAD

Es necesario definir las unidades en las que se va a medir el trabajo ejecutado para la actividad que se esté estudiando. Es necesario también que la unidad de producción pueda ser medida fácilmente (Halpin & Riggs, 1992). Además, se debe establecer el periodo de tiempo que será considerado, que puede ser horas, días o cualquier otro según las características de la actividad (Halpin, 2006).

El procedimiento para recolectar los datos consiste fundamentalmente en el seguimiento del trabajo realizado por una cuadrilla, misma que constituye la unidad básica de observación de la productividad de la mano de obra. Las cantidades de obra realizadas en el día dan lugar a una base de datos numérica (Baeza Pereyra, et al., 2003).

Pino (2002) y Arcudia et al. (2003) registraron en una cédula las diferentes actividades realizadas durante una jornada de observación, así como las cuadrillas que se formaron para desarrollar cada una de éstas. Ésta cédula fue utilizada para medir el índice de ausentismo de la actividad en la jornada y la productividad de la cuadrilla para dicha actividad al mismo tiempo.

RELACIÓN DEL AUSENTISMO Y LA PRODUCTIVIDAD

Mediante una revisión de literatura, Mahamid (2013) identificó 31 factores que podrían afectar la productividad de la mano de obra en la construcción. Entre ellos se encontraba el ausentismo. Posteriormente elaboró un cuestionario para evaluar la importancia de los factores identificados desde la perspectiva de los contratistas.

Hanna et al. (2005) desarrollaron un análisis de regresión por mínimos cuadrados y concluyeron que cuando el ausentismo se encuentra entre el 0% y 5%, no hay pérdida de productividad, sin embargo, cuando el ausentismo se encuentra entre 6% y 20%, se experimenta una pérdida de productividad.

Con el objeto de averiguar si existía alguna asociación entre el ausentismo y la productividad, Pino (2002) realizó un análisis de correlación bi-variada en dos niveles: brigada y cuadrilla, para cada una de las actividades de los dos proyectos involucrados en su investigación. Para ello empleó el índice de correlación de Kendall. De tal análisis, Pino (2002) observó que, aunque no se presentaron con mucha frecuencia, las ausencias a nivel brigada parecen impactar negativamente en la productividad. Asimismo, el ausentismo a nivel cuadrilla se presentó con mayor frecuencia y se presentó un impacto negativo en la productividad. Por lo anterior, Pino (2002) concluye que cuando se presenta el ausentismo, en cualquiera de los dos niveles que analizó, deteriora en cierto grado la productividad de los trabajadores.

SIMULACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

La simulación de la construcción es la ciencia de desarrollar y experimentar con representaciones computacionales de sistemas constructivos para entender su comportamiento (AbouRizk, 2010). Ésta logra una imitación de los procesos constructivos permitiendo analizar diferentes escenarios respecto a cantidad, tipo de recursos e interacción entre los mismos, lo cual puede ayudar al reto

de aumentar la productividad con el fin de balancear las variables tiempo y costo (Gómez Cabrera, 2010).

En un proyecto real, las actividades usualmente están sujetas a incertidumbre debido a diferentes factores, por ejemplo, las actividades pueden durar más o menos tiempo que el estimado originalmente, los recursos podrían no estar disponibles, el material podría llegar después de lo programado, las condiciones del clima podrían causar severos retrasos, los obreros podrían estar ausentes, etc. La duración de las actividades no se conoce por adelantado y usualmente se representa como una variable aleatoria, que puede ser modelada con datos históricos o distribuciones de probabilidad (Li, et al., 2012).

Los modelos de simulación generalmente ofrecen oportunidades para modelar fenómenos probabilísticos que se encuentran frecuentemente en la construcción. La duración de las actividades, la derivación aleatoria de los recursos, las fallas en los equipos, los procesos de entrega de materiales o planos y especificaciones, las incidencias del clima, la disponibilidad de cuadrillas y la calidad del trabajo completado son solo algunos de los procesos que se pueden modelar probabilísticamente (AbouRizk, 2010).

De acuerdo con el Project Management Institute (2004), la simulación utiliza un modelo que traduce las incertidumbres especificadas a un nivel detallado del proyecto a su impacto potencial en los objetivos del mismo. En una simulación, el modelo del proyecto se calcula muchas veces (iterado), con los valores de entrada, (por ejemplo, la productividad de cada actividad) asignados al azar a partir de una función de distribución de probabilidad elegida para cada iteración de acuerdo con las distribuciones de probabilidad de cada variable. Al final, se calcula una distribución de probabilidad (por ejemplo, la fecha de finalización del proyecto).

La comprensión de este tipo de modelos es de gran ayuda para llegar a una aproximación de un problema dado. Por esta razón, el estudio de estos modelos se justifica y ayuda al administrador a dimensionar situaciones dadas y hacerse una idea de los aspectos relevantes de los problemas existentes o potenciales (Halpin & Riggs, 1992).

Entre otros beneficios de la simulación, figuran la identificación de elementos críticos de un sistema, por ejemplo, los puntos débiles del mismo; la prueba de hipótesis, que puede ser usada para examinar los efectos de cambios en el sistema que serían caros de implementar en el sistema real; el entrenamiento y la educación; la definición de sistemas formales, que puede traer muchos beneficios, ya que hace explícitos elementos que podrían no haber sido comprendidos antes del modelado; el análisis de sistemas complejos; entre otros (Long, 2010).

SIMULACIÓN ESTOCÁSTICA VS SIMULACIÓN DETERMINISTA

En términos simples, una simulación estocástica utiliza elementos aleatorios y puede producir un resultado diferente cada vez que se hace una corrida mientras que una simulación determinista producirá el mismo resultado por un número determinado de entradas. Las técnicas de simulación generalmente utilizan una combinación de elementos estocásticos y deterministas (Long, 2010).

SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS

El enfoque más apropiado para modelar operaciones de construcción es la simulación de eventos discretos (Hassan & Gruber, 2008). Ésta permite el modelado dinámico de un sistema tal como evoluciona en el tiempo al hacer una representación en la cual el estado de las variables cambia instantáneamente en puntos separados en el tiempo (Law & Kelton, 2000). Dichos puntos en el tiempo son medidos cuando el evento ocurre, y con cada ocurrencia el estado del sistema y su desempeño son actualizados tomando en cuenta el hecho de que un evento ha ocurrido. La mayoría de las actividades de la construcción pueden ser modeladas eficientemente utilizando una simulación de eventos discretos ya que los eventos ocurren solo en puntos específicos del tiempo (Hassan & Gruber, 2008).

La simulación de eventos discretos puede llevarse a cabo a mano, sin embargo, debido a la gran cantidad de datos que se almacenan y analizan durante la simulación, una gran cantidad de herramientas computacionales se han desarrollado y diseñado específicamente para modelar operaciones de construcción (Hassan & Gruber, 2008).

La simulación de eventos discretos como técnica computacional para entender el comportamiento de los sistemas constructivos puede ser usada para describir las perspectivas dinámicas y estocásticas de un proyecto, y también para ayudar al administrador a entender la estructura de un proyecto de manera simple y conveniente, sin tener la necesidad de desarrollar modelos matemáticos (Li, et al., 2012).

La simulación de eventos discretos a nivel de operaciones es utilizada para modelar procesos de construcción y analizar su productividad a nivel de operaciones. Por otro lado, los sistemas de programación de proyectos basados en simulación de eventos discretos también modelan la incertidumbre de la duración de las actividades y la variabilidad de los parámetros de la construcción a nivel de proyecto (Lee, et al., 2010).

Los pasos para llevar a cabo un estudio que implique la simulación de eventos discretos se enlistan a continuación (Martínez, 2010):

- Determinar el grado al cual el modelo de simulación de eventos discretos permitirá la comprensión del sistema en cuestión o la obtención de medidas de desempeño cuantitativas para el problema de interés.
- Establecer el alcance del modelo y especificar las preguntas que el modelo debe contestar.
- Definir el modelo para la operación. Esto incluye establecer el nivel de detalle del modelo, la selección de elementos que serán usados para representar el sistema real (por ejemplo, los recursos o las actividades) y capturarlos con la lógica adecuada.
- Recolectar datos propios de la operación que sean apropiados para el modelo. Esto incluye determinar distribuciones de probabilidad apropiadas y pruebas de bondad de ajuste.
- Verificar el modelo y los datos para asegurarse que son compatibles con el entendimiento del sistema del modelador.
- Validar el modelo para asegurarse que es compatible con el sistema real. Si un modelo ha sido

verificado, la validación busca determinar si el modelar realmente comprendió el sistema real.

- Analizar el resultado de una sola corrida de la simulación.
- Diseñar y ejecutar experimentos de simulación.
- Analizar el resultado de los experimentos para determinar el desempeño de varios sistemas configurados o seleccionar la mejor de varias alternativas.
- Documentar y presentar los resultados.
- Utilizar los resultados para la toma de decisiones.

HERRAMIENTAS PARA LA SIMULACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

Una de las primeras técnicas diseñadas específicamente para modelar operaciones de construcción es la "Cyclic Operations Network" (CYCLONE) (Hassan & Gruber, 2008). En esta técnica, los modelos de los procesos son representados mediante redes Petri cíclicas. La naturaleza cíclica de las redes de CYCLONE proporciona un medio natural para describir procesos repetitivos y puede ser utilizada tanto para análisis como para estimación de niveles de productividad en construcción en general. Simuladores basados en la técnica CYCLONE han sido desarrollados para mejorar y extender las capacidades de dicha técnica, por ejemplo, RESQUE, COOPS, CIPROS y AP3, DISCO y STROBOSCOPE-CPM (Baeza Pereyra, et al., 2004).

Otra técnica de simulación desarrollada desde la aparición del CYCLONE en la década de los 70 es la "Activity Based Construction" (ABC), que se enfoca en la actividad de construcción para modelar el proceso de construcción (Shi, 1999).

En 1999 se introdujo también SIMPHONY como ambiente integrado para la construcción de herramientas de simulación con propósitos especiales (SPS por special purpose simulation) (Hajjar & AbouRizk, 1999). La SPS permite al practicante con conocimientos en un dominio dado, aunque no necesariamente en simulación, modelar un proyecto dentro del dominio de su conocimiento utilizando herramientas visuales de modelado que tienen una alta semejanza con los sistemas reales (Song, et al., 2005). SIMPHONY provee varias características que permiten evaluar diferentes características del modelo desarrollado, tales como el comportamiento de la simulación, representaciones gráficas, estadísticas y animación (Hassan & Gruber, 2008). SIMPHONY permite al usuario implementar herramientas de simulación muy flexibles que soportan modelado gráfico, jerárquico, modular e integral (Song, et al., 2005).

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación tiene un alcance descriptivo ya que su objetivo es describir la relación que existe entre dos variables que se observan en un proyecto de construcción: el ausentismo y el tiempo de ejecución de las actividades de construcción. La descripción se analizará mediante un análisis de simulación de proyectos de construcción.

Debido a que para realizar un análisis de simulación de proyectos de construcción se requiere

una gran cantidad de datos, se ha considerado pertinente obtenerlos mediante la observación de proyectos de construcción de vivienda masiva. Esto se debe a las siguientes razones:

- La disponibilidad, en el contexto local, de proyectos de construcción de vivienda masiva.
- La naturaleza repetitiva de este tipo de proyectos permite la recolección de suficientes datos en el periodo disponible para la presente investigación.

Por lo anterior, se establece que la investigación se llevará a cabo de la siguiente manera:

- Se recolectarán los datos de productividad y ausentismo mediante la observación de las actividades más representativas de la construcción de vivienda en proyectos de construcción de vivienda masiva.
- Se obtendrá la distribución de las duraciones de las ausencias de los trabajadores en la ejecución de las actividades observadas.
- Se calculará la productividad de los trabajadores que ejecutan cada una de las tareas en las que se descomponen las actividades observadas.
- Se obtendrá la distribución de probabilidad más apropiada para la duración de cada una de las tareas que componen las actividades observadas.
- Se realizará un modelo de simulación para estimar los tiempos de ejecución de las actividades observadas.
- El modelo se validará comparando el tiempo estimado mediante la simulación con el tiempo real de ejecución de las actividades de construcción de vivienda observado en campo.
- Se realizará un análisis de sensibilidad comparando dos escenarios del modelo con un nivel de manipulación presencia-ausencia de la variable ausentismo. Para ello se incorporará el factor ausentismo al modelo para estimar su efecto sobre el tiempo de ejecución de las actividades observadas.

RECOLECCIÓN DE DATOS DE PRODUCTIVIDAD Y AUSENTISMO

Antes de recolectar los datos se deben seleccionar las actividades más representativas de la construcción de vivienda. Se considerarán más representativas las actividades cuyo costo directo de la mano de obra tenga mayor impacto en el costo del proyecto. Las actividades seleccionadas serán descompuestas en tareas y éstas serán codificadas para facilitar el manejo de datos.

La recolección de los datos se llevará a cabo mediante la observación directa en campo y el llenado de formatos especialmente diseñados para el registro de la información que se requiere.

La información que debe ser recolectada se enlista a continuación:

- La duración de cada una de las ausencias que tenga cada trabajador durante el periodo de observación.

- La duración de los periodos entre cada ausencia durante el periodo de observación.
- La productividad de cada trabajador mientras ejecuta las tareas pertenecientes a las actividades observadas, considerando únicamente los periodos en los que el trabajador no esté ausente, para que los datos de productividad no se vean afectados por el ausentismo.

Se requerirán por lo menos cincuenta observaciones de productividad para cada una de las tareas pertenecientes a las actividades observadas, en periodos aleatorios durante la ejecución de los trabajos.

CONSIDERACIONES PARA LA MEDICIÓN DEL AUSENTISMO

Como se mencionó anteriormente, no existe una definición clara para el ausentismo entre los diferentes autores que lo han abordado. Para este estudio se considerará a un trabajador como ausente si éste no se encuentra en el sitio de los trabajados en un periodo igual o mayor a quince minutos durante la recolección de datos.

Se plantean tres métodos para la medición de las duraciones de las ausencias:

- Observación de una jornada completa y registro de los datos en la cédula correspondiente. Si se decide utilizar este método se requiere de la observación de por lo menos treinta jornadas de trabajo.
- Observación de periodos aleatorios con duración estándar de dos horas en diferentes jornadas de trabajo y registro de los datos en la cédula correspondiente. Posteriormente se debe realizar una estimación de las duraciones de las ausencias en la jornada mediante el porcentaje de ausencias en los periodos observados. Se requieren por lo menos cien observaciones de este tipo.
- Una combinación de los métodos anteriores.

CÁLCULO DE LA PRODUCTIVIDAD

Se calcularán las productividades diarias para cada tarea de cada actividad mediante la siguiente expresión:

$$Productividad = \frac{Volumen\ de\ ejecutado}{Tiempo\ de\ observación}$$

OBTENCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS DURACIONES DE LAS AUSENCIAS DE LOS TRABAJADORES EN LA EJECUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA

Con el objetivo de modelar el ausentismo se requiere obtener la distribución de las duraciones de las ausencias de los trabajadores en la ejecución de las actividades de construcción de vivienda

durante la jornada de trabajo. Dichas duraciones se obtendrán con los datos registrados en la cédula de registro del ausentismo de la mano de obra.

Utilizando el software EasyFit, que permite seleccionar rápidamente la distribución de probabilidad que mejor se ajuste a los datos de las duraciones, mediante las pruebas de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, de Anderson-Darling y la prueba de χ^2 , se seleccionará la distribución más apropiada para el conjunto de datos de las duraciones obtenidas en campo..

De la misma manera, se obtendrá la distribución de las duraciones de los periodos entre cada ausencia durante la ejecución de las actividades observadas.

ELABORACIÓN DEL MODELO ESTÁTICO DEL PROYECTO

La siguiente etapa del estudio consiste en la elaboración del modelo estático de un proyecto que se someterá al análisis de simulación y que incluya las actividades observadas en campo.

Se elaborará un modelo estático de las tareas pertenecientes a las actividades observadas, es decir, una red que explique gráficamente la relación entre las ellas y la secuencia en la que se ejecutarán.

Se deben identificar además los recursos que requiere cada tarea y que sean pertinentes para el objetivo de la modelación.

OBTENCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD MÁS ADECUADA PARA LA DURACIÓN DE LAS TAREAS PERTENECIENTES A LAS ACTIVIDADES SELECCIONADAS.

Para poder alimentar al modelo de simulación del proyecto, es necesario obtener la distribución de probabilidad más apropiada para la duración de cada una de las tareas que lo componen. Para ello se emplearán los datos de productividad que se han obtenido anteriormente.

Con cada uno de los datos de productividad se obtendrá una posible duración para completar cada tarea de acuerdo con la siguiente fórmula paramétrica:

$$D_{ij} = \frac{Q_{ij}}{P_{ij}^k * N_{ij}}$$

Donde D_{ij} es la duración de la tarea, Q_{ij} es el volumen total de unidades que se realizarán en el proyecto que se someterá al análisis de simulación, P_{ij}^k es la productividad del recurso que se requiere y, como se mencionó, se utilizará cada uno de los datos de productividad obtenidos anteriormente, y N_{ij} es el número de recursos asignados a la tarea.

Utilizando el software EasyFit que permite seleccionar rápidamente la distribución de probabilidad que mejor se ajuste a los datos utilizando las pruebas de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, de Anderson-Darling y la prueba de χ^2 se seleccionará la distribución más apropiada para el conjunto

de datos de las posibles duraciones obtenidas con la fórmula paramétrica explicada anteriormente.

MODELO DE SIMULACIÓN DEL PROYECTO

Para el modelado del proyecto se utilizará el software Symphony.NET 4.0, el cual permite al usuario la creación de plantillas en un ambiente integrado para la construcción de herramientas de simulación con propósitos especiales.

El primer paso para el modelado del proyecto será la identificación de actividades y recursos y la lógica con la cual se relacionan.

Una vez que la lógica del modelo se considere adecuada, se procederá a la alimentación del modelo utilizando las distribuciones de probabilidad de las duraciones de las actividades que se obtuvieron anteriormente.

VALIDACIÓN DEL MODELO

Para la validación del modelo se deberá comparar el tiempo de simulación de la ejecución de las actividades con el tiempo real de ejecución de las mismas y observar que ambos coincidan con un intervalo de confianza del 5%.

En caso de que la validación del modelo no se haya logrado con éxito, el modelo deberá ser revisado minuciosamente y se deberán realizar los ajustes y modificaciones pertinentes hasta lograr validarlo.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Una vez que el modelo del proyecto haya sido validado con éxito, el siguiente paso consiste en modelar un escenario diferente para poder llevar a cabo el análisis de sensibilidad.

Para este efecto se tomarán en cuenta las siguientes consideraciones:

DEFINICIÓN DE VARIABLES

El ausentismo será la única variable que será manipulada durante la simulación del modelo, es decir, el ausentismo será la variable independiente del análisis.

El tiempo de ejecución de las actividades de construcción de vivienda será la variable sobre la que se medirá el efecto del ausentismo, por lo que será la variable dependiente.

Se conoce de antemano que existen otras variables que afectan el tiempo de ejecución de las actividades de construcción de vivienda, pero éstas no serán manipuladas y su efecto sobre la variable

dependiente estará presente con la misma incidencia que en todos los grados de manipulación de la variable independiente.

MANIPULACIÓN DEL AUSENTISMO

Se plantean dos escenarios para el análisis del efecto de la variable independiente sobre la variable dependiente.

El primer escenario que se analizará será aquel que provenga de los datos de productividad tomados en campo. En este escenario no se tendrá presencia de la variable independiente, ya que los datos habrán sido recolectados cuando los trabajadores estén presentes en el sitio de los trabajos, es decir, sin ausentismo.

Posteriormente se incorporará el factor ausentismo mediante la distribución de las duraciones de las ausencias de los trabajadores en la ejecución de las actividades de construcción observadas y la distribución de las duraciones de los periodos entre cada ausencia durante la ejecución de las actividades observadas.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de las corridas de ambos escenarios serán comparados para determinar el impacto del ausentismo de la mano de obra en el tiempo total de ejecución del proyecto de edificación simulado.

Lo anterior puede realizarse analizando diferentes proyectos, con diferentes condiciones, que incluyan las actividades observadas en campo.

AVANCES

Actualmente el proyecto se encuentra en la etapa de recolección de datos. Se han identificado diferentes proyectos de construcción de vivienda masiva, en los cuales, en periodos aleatorios, se han recolectado datos de productividad para las actividades que se están ejecutando en cada uno, así como los primeros datos de ausentismo que se han presentado.

CONCLUSIONES PARCIALES

En el corto periodo de observación que se ha llevado a cabo para esta investigación hasta el momento de escribir el presente artículo, se ha constatado que efectivamente el ausentismo de la mano de obra en los proyectos de construcción es un fenómeno que ocurre con alta frecuencia y que produce retrasos evidentes en la ejecución de las tareas.

Además, se ha percibido que los residentes de obra y administradores del proyecto no tienen conocimiento del impacto de dicho fenómeno en el tiempo de ejecución de las actividades que componen sus proyectos. Sin embargo, han mostrado interés en conocer los resultados que podría arrojar la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

AbouRizk, S., 2010. Role of simulation in construction engineering and management. Journal of Construction Engineering and Management, pp. 1140-1153.

Arcudia Abad, C. E., Corona Suárez, G. A. & Pino Rosado, G. E., 2003. Absentismo y rotación en la construcción masiva de vivienda. Efecto en la productividad. Industrial, pp. 53-59.

Assaf, S. A. & Al-Hejji, S., 2006. Causes of delay in large construction projects. International Journal of Project Management, pp. 349-357.

Baeza Pereyra, J. R., Arcudia Abad, C. E. & González Fajardo, J. A., 2004. Simulación estocástica de rendimientos de mano de obra en procesos de construcción. Ingeniería, Revista Académica de la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán, 8(2), pp. 103-115.

Baeza Pereyra, J. R., Solís Carcaño, R. & Arcudia Abad, C. E., 2003. Utilizando información acerca de productividad de mano de obra y simulaciones computacionales en el salón de clase. Revista Ingeniería de Construcción, 18(1), pp. 14-21.

Botero Botero, L. F. & Álvarez Villa, M. E., 2004. Guía del mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean construction como estrategia de mejoramiento). Revista Universidad EAFIT, 40(136), pp. 50-64.

Eizakshiri, F., Chan, P. W. & Emsley, M., 2011. Delays, what delays? A critical review of the literature on delays in construction. Bristol, UK, Association of Researchers in Construction, pp. 839-848.

Fayek, A. R., SangHyun, L. & Salehi Sichani, M., 2011. Understanding construction workforce absenteeism in industrial construction. Canadian Journal of Civil Engineering, p. 849+.

García Ibarra, A. J., 2011. La administración del tiempo de ejecución en proyectos de obra pública de edificación. Mérida: Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Yucatán.

Gómez Cabrera, A., 2010. Simulación de procesos constructivos. Revista Ingeniería de Construcción, 25(1), pp. 121-141.

Hajjar, D. & AbouRizk, S., 1999. SIMPHONY: An environment for building special purpose construction simulation tools. s.l., Society for Computer Simulation, pp. 998-1006.

Halpin, D. W., 2006. Construction Management. Tercera ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc..

Halpin, D. W. & Riggs, L. S., 1992. *Planning and analysis of construction operations*. s.l.:John Wiley & Sons, Inc..

Hanna, A. S., Menches, C. L., Sullivan, K. T. & Sargent, J. R., 2005. *Factors affecting absenteeism in electrical construction*. *Journal of Construction Engineering and Management*, pp. 1212-1218.

Hanna, A. S., Russell, J. S., Nordheim, E. V. & Bruggink, M. J., 1999. *Impact of change orders on labor efficiency for electrical construction*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(4), pp. 224-232.

Hassan, M. M. & Gruber, S., 2008. *Simulation of concrete paving operations on Interstate-74*. *Journal of Construction Engineering and Management*, pp. 2-9.

Hinze, J., Ugwu, M. & Hubbard, L., 1985. *Absenteeism in construction industry*. *Journal of Management in Engineering*, pp. 188-200.

18 Law, A. M. & Kelton, W. D., 2000. *Simulation modeling and analysis*. Tercera ed. New York: McGraw-Hill.

Lee, D.-E., Yi, C.-Y., Lim, T.-K. & Arditi, D., 2010. *Integrated simulation system for construction operation and project scheduling*. *Journal of Computing in Civil Engineering*, pp. 557-569.

Li, S., Jia, Y. & Wang, J., 2012. *A discrete-event simulation approach with multiple-comparison procedure for stochastic resource-constrained project scheduling*. *Int J Adv Manuf Technol*.

Long, G., 2010. *A detailed investigation of the applicability and utility of simulation and gaming in the teaching of civil engineering students*. Nottingham: Tesis de doctorado, University of Nottingham.

Mahamid, I., 2013. *Contractors perspective towards factors affecting labor productivity in building construction*. *Engineering, Construction and Architectural Management*, Volumen 20, pp. 446-460.

Martínez Delgadillo, J. G., 2006. *Análisis de las diferencias entre el tiempo programado y el tiempo real de ejecución de un edificio de condominio*. Mérida: Monografía de licenciatura, Universidad Autónoma de Yucatán.

Martínez, J. C., 2010. *Methodology for conducting discrete-event simulation studies in construction engineering and management*. *Journal of Construction Engineering and Management*, pp. 3-16.

Muñoz, D. F. & Muñoz, D. F., 2010. *Planeación y control de proyectos con diferentes tipos de precedencias utilizando simulación estocástica*. *Información tecnológica*, pp. 25-33.

Padilla Espadas, A. E., 2003. *Estudio de los factores que inciden en el ausentismo voluntario de la mano de obra en la construcción de viviendas masivas*. Mérida: Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Yucatán.

Pino Rosado, G. E., 2002. *El absentismo y la rotación de los albañiles en la construcción masiva de vivienda: Variables que afectan la productividad*. Mérida: Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Yucatán.

Project Management Institute, 2004. A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Third Edition ed. Newtown Square(Pennsylvania): PMBOK® Guide.

Serpell B., A., 1986. Productividad en la construcción. Revista de Ingeniería de la Construcción, Issue 1, pp. 53-59.

Shi, J. J., 1999. Activity-based construction (ABC) modeling and simulation method. Journal of Construction Engineering and Management, pp. 354-360.

Solís Carcaño, R. G., Martínez Delgadillo, J. & González Fajardo, J. A., 2009. Estudio de caso: demoras en la construcción de un proyecto en México. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 1(13), pp. 41-48.

Song, L., Al-Battaineh, T. & AbouRizk, S., 2005. Modeling uncertainty with an integrated simulation system. Canadian Journal of Civil Engineering, pp. 533-542.

Sonmez, R. & Rowings, J. E., 1998. Construction labor productivity modeling with neural networks. Journal of Construction Engineering and Management, pp. 498-504.