

Nuevo enfoque para el estudio de la productividad en la construcción masiva de vivienda

Carlos Enrique Arcudia Abad¹
Rómel Gilberto Solís Carcaño²
José Antonio González Fajardo³

RESUMEN

La investigación de la productividad de la mano de obra puede ser un medio que coadyuve al incremento del nivel de vida y de las condiciones de trabajo de los obreros. En este trabajo se aplica el Modelo de los factores para el estudio de la productividad del trabajo en la industria de la construcción, en cuatro proyectos de vivienda masiva del tipo de interés social.

Se realizaron mediciones de los trabajos efectuados en cuatro proyectos por sendas cuadrilla en el concepto muro a base de bloques de concreto. Los datos obtenidos se analizaron con apoyo en la teoría para la evaluación de la productividad de la mano de obra, que se fundamenta en el concepto de la línea base de cada proyecto, la cual está relacionada básicamente con la complejidad del diseño. Esta relación se establece por medio de un modelo de regresión.

Se definen dos índices con el objeto de medir la calidad en la ejecución de los trabajos: el índice de días de bajo ritmo (IBR) y el índice de administración de proyecto (IAP). El primero mide el porcentaje de días de trabajo anormal o de baja productividad, y el segundo remueve la influencia del diseño en la medida de la productividad para mostrar el efecto de la organización y administración de la obra.

ABSTRACT

The research on labor productivity could be a way to help in increasing the welfare and work conditions of laborers. In this paper, the Factors Model is applied in the study of labor productivity of the construction industry. Four projects of massive construction of low income housing were observed. The masonry work made by a gang in each of the four projects observed was measured. The type of work observed was concrete block layering. The data obtained were analyzed by means of labor productivity assessment theory, based on the concept of the base line for each project. This theory is related to the design complexity. This relationship between the theory and the design is established by means of a statistical regression model.

Two indexes are defined for measuring the quality of performance of the works made. The first one is the disruption index (DI) and the other is the project management index (PMI). The first one is a measure of the percentage of abnormal work days or low productivity in order to show the organization and management effect on the building site.

A methodology was developed in order to assess the performance quality of the four projects. This was done by using

1 Ingeniero químico, M.Ed.
Profesor, Facultad de Ingeniería.
Universidad Autónoma de Yucatán.
Apartado Postal número 150, Administración
número 10 Cordemex, C.P. 97110
Mérida, Yucatán, México.
Correo electrónico: aabad@tunku.uady.mx

2 Ingeniero civil, M.I.
Profesor, Facultad de Ingeniería.
Universidad Autónoma de Yucatán.
Apartado Postal número 150, Administración
número 10 Cordemex, C.P. 97110
Mérida, Yucatán, México.
Correo electrónico: tulich@tunku.uady.mx

3 Ingeniero civil, M.I.
Profesor, Facultad de Ingeniería.
Universidad Autónoma de Yucatán.
Apartado Postal número 150, Administración
número 10 Cordemex, C.P. 97110
Mérida, Yucatán, México.
E-mail: jagonz@tunku.uady.mx

Se desarrolla una metodología para la comparación de los cuatro proyectos, usando las curvas de probabilidad acumulada de IBR e IAP, encontrándose que un proyecto dado puede presentar mejor desempeño en su ejecución, a pesar de tener cuantitativamente menor productividad, considerando la complejidad del trabajo por ejecutar.

PALABRAS CLAVE:

PRODUCTIVIDAD, MANO DE OBRA PARA LA CONSTRUCCIÓN, CONSTRUCCIÓN, ADMINISTRACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN, CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA.

the cumulative probability curves of DI and PMI. It was found that in a given project could be a good performance, despite of a low productivity figure, if the complexity of the work made is taken in account.

KEY WORDS:

PRODUCTIVITY, CONSTRUCTION LABOR, CONSTRUCTION, CONSTRUCTION MANAGEMENT, HOUSING CONSTRUCTION.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace más de tres décadas, la Organización Mundial del Trabajo, OIT, (1968) ha reconocido que el aumento de la productividad puede contribuir a elevar el nivel de vida de los trabajadores. Si se produce más al mismo costo o si se obtiene la misma cantidad de producción a un costo inferior, resulta un beneficio para la comunidad en su conjunto, que puede reflejarse en mayores ingresos reales, y mejoras en las condiciones de trabajo.

La responsabilidad principal, en lo que respecta al aumento de la productividad de una empresa, como lo es una constructora, corresponde a la administración, ya que solamente ésta puede llevar a cabo un programa de aumento de la productividad dentro del sistema, y crear las buenas relaciones humanas para obtener la cooperación de los trabajadores, lo cual es esencial para el buen éxito del programa.

En general, el total del tiempo invertido por un hombre en una actividad constructiva o de cualquier otra industria podemos dividirlo en dos fracciones: el tiempo total invertido en el trabajo y el tiempo improductivo total.

A su vez, la primera fracción se puede subdividir en trabajo directo y en trabajo suplementario. El trabajo directo significa la cantidad de horas invertidas en un concepto de obra, si la operación se llevara a cabo en forma perfecta, con la utilización del mejor procedimiento constructivo, y si el diseño fuera el óptimo; éste sería el tiempo mínimo irreducible para la actividad. Mientras que el trabajo suplementario incluye el tiempo que se invierte debido a deficiencias en el diseño, que provocan, por ejemplo, exceso de cortes en los materiales, demasiada obra falsa, etc.; o bien, las horas de trabajo que son debidas a métodos constructivos ineficientes, por ejemplo secuencia inadecuada en el desarrollo de las actividades, o elección equivocada del equipo y herramientas.

Toda interrupción que obligue a suspender la producción, sea cual fuere la causa, se considera tiempo improductivo, ya que en él no se efectúa labor eficaz alguna para concluir la tarea iniciada y alarga la operación. Este tiempo puede ser atribuible a deficiencias de la administración, en el cual el trabajador permanece inactivo porque la constructora no ha sabido planear, dirigir o coordinar eficaz-

mente (dando como resultado esperas, por falta de materiales, averías en el equipo, accidentes, etc.); y por otro lado, el tiempo improductivo imputable al propio trabajador, en el cual el obrero permanece inactivo por motivos que él mismo puede remediar, o de índole fisiológica que provoquen ausencias de la obra, o disminución del ritmo de trabajo.

En la figura 1 se ilustra la descomposición del tiempo en un proceso de producción típico. En ella se puede apreciar que el aumento de la productividad es difícil de lograr con base en un cambio en la conducta del trabajador, si éste no va acompañado con medidas tendientes a mejorar el diseño del producto, el procedimiento de producción y la eficacia de la administración.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, México, se han realizado investigaciones sobre la productividad de la mano de obra en la construcción masiva de vivienda desde el año de 1993. En ellas se han desarrollado estudios de tiempos y movimientos para calcular los rendimientos promedios de los diferentes conceptos de albañilería, así como la aplicación de la técnica de muestreo del trabajo para determinar la proporción del trabajo directo, así como de las otras actividades suplementarias en el proceso, mismas que en conjunto con las anteriores, constituyen el contenido de trabajo total. Así mismo se determinaron los tiempos improductivos, tanto atribuibles a deficiencias de la administración de las empresas, como los imputables al trabajador (González, Arcudia, 1997).

Desde hace algunos años, Sebestyen (1978) y Koehn y Brown (1986) realizaron estudios en varios países, tendientes a comparar los costos de la mano de obra y el número de horas-hombre requeridas para elaborar una unidad de trabajo. Sin embargo, estas investigaciones no establecieron diferencias entre los diseños de las construcciones y capacidades organizativas de las empresas que ejecutaron los trabajos, por lo que no pudieron interpretarse en un contexto global.

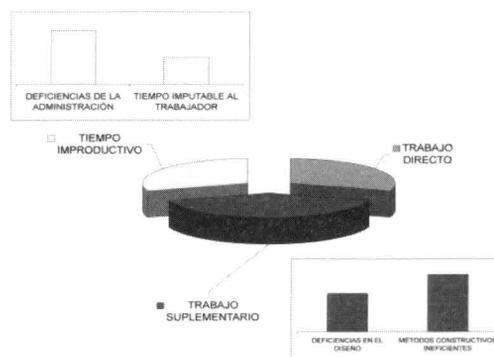


Figura 1. Descomposición del tiempo de construcción.

Para la industria de la construcción en forma específica, Thomas *et al.* (1999A) han dividido los factores que afectan la productividad en el trabajo en dos grupos: los del contenido de trabajo, como aquellos relacionados con los aspectos técnicos de la obra, y los que constituyen el ambiente de trabajo, como el medio interno, asociado a la administración, y el medio externo que está constituido por los eventos no controlables por la empresa constructora. Como ejemplos de estos últimos podemos mencionar el clima, aspectos económicos, culturales, políticos, etc. Este marco conceptual ha permitido medir los desempeños de diferentes ejecutores de obra, tomando en consideración, además del valor de productividad alcanzada, la dificultad para ejecutar el trabajo, implícita en el diseño.

Los factores que según Thomas y Zavrski (1999B) definen el contenido y el ambiente del trabajo en la construcción se presentan en la tabla 1.

En el presente estudio se midió la productividad de cuatro proyectos de edificación de vivienda. Estos resultados son analizados en lo individual para cada proyecto, identificando la influencia del contenido y el ambiente del trabajo en la productividad alcanzada en cada caso. También se compara la productividad lograda por la constructora, tomando en consideración las variaciones en el contenido de trabajo de cada uno.

Contenido del trabajo	Ambiente del trabajo
<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño de los elementos constructivos. • Especificaciones que deben cumplir los conceptos de obra. • Grado de calidad, tanto de los materiales como del proceso de transformación. • Características de diseño que definen la complejidad del proceso constructivo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Congestionamiento del personal. • Secuencia de los trabajos. • Condiciones climáticas. • Labor de la supervisión. • Disponibilidad, manejo y distribución de la información. • Suministro suficiente y oportuno de materiales. • Disponibilidad de herramienta y equipo adecuado. • Condiciones de seguridad en el trabajo • Relaciones laborales.

Tabla 1. Factores que definen el contenido y ambiente del trabajo.

1. METODOLOGÍA

Se aplicó el Modelo de los factores, desarrollado por Thomas *et al.* (1990), enmarcado dentro de una metodología de alcance internacional, con el objetivo de desarrollar un procedimiento de comparación de la productividad de la mano de obra para la industria de la construcción, entre diferentes naciones. El método ha sido aplicado en la última década en proyectos de construcción en los Estados Unidos de América, Australia, Canadá, Finlandia, Suecia, Escocia, Inglaterra y Croacia (Thomas y Zavrski, 1999A). En el presente estudio se han hecho algunas adecuaciones al modelo original, debido a las diferencias que existen en el contexto en que se hicieron las observaciones. Entre éstas, se pueden mencionar en primer lugar, el tipo de construcción, que consistió en vivienda de interés social construida en forma masiva, en contraste con trabajos de edificación reportados con anterioridad; el estado que guarda la organización del trabajo, con poca o casi nula especialización de las labores, y por último, la forma de pagos al trabajador con base en un esquema de precios unitarios, en vez de salario por unidad de tiempo trabajada.

La aplicación del método se efectuó en cuatro proyectos de vivienda en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. Estos proyectos se desarrollaron con financiamiento gubernamental y utilizando diseños típicos, destinados a las clases populares; para este fin se contó con la participación de empresas constructoras que brindaron su colaboración para la realización del estudio. Las observaciones al trabajo se realizaron para la actividad de albañilería que, en el esquema de este modelo, incluye los trabajos de mampostería, ya sea a base de bloques de concreto, tabiques, ladrillos o piedras, ya que este concepto se ejecuta con características similares en todo el mundo, y por tanto, es factible de ser comparado.

Cada uno de los factores, que se han observado que afectan la productividad de la mano de obra, pueden ocasionar que los obreros suspendan las labores temporalmente en espera de que la administración solucione algún problema que se presente, que se retiren temprano acortando la jornada de trabajo, o bien que bajen el ritmo o intensidad de la labor, sin parar de trabajar.

El procedimiento consistió en recolectar los datos de cada proyecto, observando el trabajo realizado por una cuadrilla, la cual constituyó la unidad básica de observación de la productividad de la mano de obra. Las cantidades de obra realizadas en el día, con el esfuerzo combinado de los integrantes del grupo, dio lugar a una base de datos numérica, que es la esencia del modelo.

La unidad de medición de la productividad diaria de la cuadrilla observada en cada proyecto fue el cociente entre la cantidad de horas-hombre (h) utilizadas en realizar el concepto estudiado y el número de unidades de área (m²) de mampostería producida en el día, es decir h/m^2 .

Se realizaron observaciones de campo en cuatro proyectos de vivienda, los cuales fueron identificados con las letras A, B, C y D. Cada observación consistió en seguir el desempeño de una cuadrilla durante una jornada de trabajo, al final de la cual se midió su productividad para el concepto muro de bloques de concreto de 15 x 20 x 40 (ancho, alto y largo) centímetros.

Adicionalmente se tomó nota, por medio de cédulas diseñadas para el caso, de los factores que conformaron el entorno del trabajo y que hipotéticamente pudieron influir en la productividad del día. Así mismo, cada proyecto se calificó dentro de una escala estandarizada de contenidos de trabajo que fue de 1 a 5 de acuerdo con la menor o mayor complejidad del diseño, conforme a la metodología de Thomas *et al.* (1999B). En la tabla 2 se presenta la escala de medición utilizada.

El análisis de los datos se basó en la determinación de los atributos de cada proyecto, que son utilizados para la evaluación de la ejecución individual de cada uno. Los atributos que definieron la ejecución de estos proyectos fueron:

- Variabilidad en la producción diaria
- Línea base de productividad
- Productividad acumulada
- Número de días anormales de trabajo
- Total de días trabajados
- Total de horas trabajadas

Tabla 2. Escala de medición del contenido de trabajo.

Escala	Contenido De Trabajo	Descripción
1	Bajo	Muros en tramos largos de más de 8 metros, sin cambios de dirección, y pocas puertas y ventanas.
2	De bajo a medio	Muros de fachada con número ordinario de puertas y ventanas a intervalos regulares.
3	Medio	Muros de fachada con numerosas puertas y ventanas en tramos rectos, con numerosos cortes de piezas.
4	De medio a alto	Muros confinados por marcos estructurales que requieren numerosos cortes por detalles de diseño; algunos motivos ornamentales o esquinas con ángulos diferentes a 90 grados.
5	Alto	Numerosas esquinas diferentes de 90 grados; se utilizan piezas de diferentes medidas y se observa poca uniformidad en el trabajo.

La línea base de cada proyecto representa el mejor desempeño que cada constructora pudo lograr, tomando en consideración las mejores condiciones en cada uno de ellos; se calculó a partir de los días en los cuales se observó la mejor productividad en cada proyecto. Para obtenerla, se optó por seguir el criterio de considerar los tres días de mayor productividad, tomando el número de observaciones realizadas en cada proyecto. El valor numérico de este parámetro corresponde a la mediana de la productividad observada en los días elegidos de mejor desempeño.

Estando la línea base de productividad fuertemente asociada con el contenido del trabajo, si se cuenta con una base de datos que incluya suficientes proyectos observados, se puede hacer uso de un modelo de correlación lineal para desarrollar una ecuación que tenga como variable dependiente la línea base de productividad y como variable independiente el contenido de trabajo. Este modelo se muestra en la ecuación (1).

$$\text{Línea base} = a (\text{contenido de trabajo}) + b \quad (1)$$

en donde a es la constante de intersección, b el coeficiente de regresión, y sus valores son obtenidos por el método de mínimos cuadrados.

El siguiente paso en el análisis de los datos fue calcular los parámetros de desempeño de cada uno de los cuatro proyectos, en los cuales se consideró el contenido del trabajo y, en forma preponderante, el efecto de la administración de la empresa constructora en la ejecución del proyecto. Estos parámetros fueron:

- **Índice de días con bajo ritmo (IBR).** Es el porcentaje de días anormales que se presentan en relación con los días observados. Se calcula según la ecuación (2):

$$IBR = \frac{\text{Número de días anormales}}{\text{Total de días trabajados}} \quad (2)$$

en donde los días anormales son aquellos en los cuales se presenta una baja en el ritmo de los trabajos.

- **Índice de administración del proyecto (IAP).** Es un parámetro que mide exclusivamente la influencia de la administración en la ejecución del proyecto. Se obtiene restando a la productividad acumulada la influencia del diseño representada por la línea base de productividad estimada para el proyecto; este último valor se calcula de acuerdo con la curva de regresión que se obtiene entre las variables contenido del trabajo y línea base para todos los proyectos de la misma base de datos, es decir, sustituyendo el valor del contenido de trabajo del proyecto en la ecuación (1). El índice se normaliza dividiendo el valor antes descrito entre la línea base estimada para el menor contenido de trabajo de la base de datos (de nueva cuenta sustituyendo en la ecuación (1)). El IAP se calcula de acuerdo con la ecuación (3):

$$IAP = \frac{\text{Producción acumulada} - \text{Estimación a la línea base del proyecto}}{\text{Estimación a la línea base para el menor contenido de trabajo}} \quad (3)$$

Los atributos y parámetros de cada proyecto permitieron hacer la evaluación particular de los mismos. La comparación de proyecto a proyecto, es decir, juzgar entre un par de proyectos cuál tuvo mejor ejecución, tomando en cuenta tanto la productividad acumulada como la complejidad del diseño, se hace con

fundamento en la probabilidad de encontrar dentro la misma base de datos un proyecto que tenga un desempeño intermedio entre los que se comparan.

Para esto se calcularon las distribuciones de probabilidad acumulada de IBR e IAP, usando los valores obtenidos para todos los proyectos de la base de datos local en formación; después se compararon las probabilidades correspondientes a los parámetros IBR e IAP de los cuatro proyectos sujetos a evaluación. La resta de estas probabilidades determinó la diferencia de ejecución entre los dos proyectos confrontados.

3 RESULTADOS

Los resultados de la productividad observada para cada día del estudio se presentan en la tabla 3, en horas-hombre por metro cuadrado. Se puede notar que el número de datos obtenidos en cada proyecto fue desigual; esto se debió a que en cada uno de ellos se realizaron observaciones en grupos con diferente número de vivienda cada uno. En el proyecto A se hizo el seguimiento de la cuadrilla durante la construcción de una vivienda, en el B de dos, en el C de tres y en el D de cuatro.

La experiencia ha demostrado que cuando la obra es competentemente administrada y la complejidad del diseño varía poco dentro del mismo proyecto, la productividad diaria es relativamente consistente. El atributo denominado variabilidad en la productividad diaria es de apreciación visual y se encuentra asociado a los días anormales, en los cuales se presentan factores que provocan una baja en la productividad.

La figura 2 muestra las gráficas de variabilidad diaria para los cuatro proyectos estudiados. En ella se puede apreciar que para el proyecto A, exceptuando el día de arranque en el que es común que los trabajos no inicien con alta productividad, los días subsecuentes en la gráfica muestran una secuencia de leves bajadas y picos que tienden a estabilizarla. En el proyecto B se observa que el día 6 fue notablemente anormal; en él se observó que los peones estuvieron realizando trabajo de oficiales, lo cual redundó en que el rendimiento combinado de la cuadrilla fuera notoriamente bajo. Los demás días muestran una tendencia a mejorar la productividad y una probable estabilización alrededor de la productividad observada en los días 5 y 7.

Tabla 3. Productividad observada, h/m²

Día	Proyecto A	Proyecto B	Proyecto C	Proyecto D
1	2,769	1,619	2,415	0,943
2	0,376	0,938	1,053	0,912
3	0,971	0,814	1,160	0,809
4	1,087	0,678	1,129	0,566
5	0,735	0,488	4,067	0,490
6	1,282	2,862	1,367	0,377
7	0,786	0,565	1,738	0,471
8	0,882		1,864	0,640
9	1,144		1,753	0,483
10			1,721	0,539
11			1,451	1,697
12			1,077	0,754
13			2,088	0,419
14			1,389	0,330
15			1,586	

En el proyecto C, en el cual se observó la edificación de tres viviendas durante 15 días, la gráfica mostró gran variabilidad en la productividad diaria, observándose picos en las jornadas 1, 5 y 13 en los que se presentaron días de bajo rendimiento en la ejecución del concepto en estudio. Los días 1 y 5 corresponden al primer día de colocación de bloques para dos de las viviendas observadas; en ambos casos se efectuaron retrabajos debido a que se tuvo que corregir el trazo. En el día 13, parte del personal fue reasignado por varias horas para participar en el colado de azotea de otra vivienda del mismo proyecto, lo cual provocó además de pérdida en la producción en el frente de trabajo, disminución de la productividad en el concepto observado, debido a la ruptura en el ritmo del trabajo.

En contraste, el proyecto D con observaciones en cuatro viviendas durante 14 días mostró una gráfica más uniforme con poca variabilidad, exceptuando un pico en el día 11, cuando parte de la cuadrilla fue asignada también a desempeñar labores en el colado de la losa de azotea de otra vivienda. En estos dos últimos proyectos, debido al número de datos, las gráficas de variabilidad en la productividad permitieron observar con claridad la falta de uniformidad en el proyecto C y la estabilización de la curva en el caso D. Como un primer juicio se pudo considerar, de acuerdo a los resultados de este atributo, que el proyecto D mostró haber sido administrado en forma más competente que los otros tres, sin tomar en cuenta el valor de la productividad observada o la complejidad del diseño.

Se determinó para cada proyecto la línea base utilizando los tres días de mejor desempeño, obteniéndose para cada caso los valores que se presentan en la tabla 4; en la figura 2, aparecen dibujadas las respectivas líneas base. Para las cuatro obras estudiadas, la línea base representó el menor número de horas que el sistema pudo utilizar para producir un metro cuadrado de muro, de acuerdo con la complejidad del diseño de la vivienda y la mejor utilización de la tecnología disponible.

Dentro de la escala de contenidos de trabajo, se determinó para los proyectos A y C una calificación de 4, debido a que el trazo de las viviendas presentó un diseño complejo, con muchos ejes transversales, gran número de esquinas y diversidad de medidas para los diferentes tramos; también tuvo muros aislados y una esquina con ángulo diferente a 90 grados. A los proyectos B y D se les asignó un contenido de trabajo de 3, por presentar un distribución más uniforme en los ejes transversales, lo cual dio lugar a tener menos esquinas y medidas más uniformes en sus tramos; se necesitaron menos cortes en los bloques y tuvo pocas aberturas para puertas y ventanas.

Se desarrolló un modelo de regresión para establecer una ecuación en la que la variable dependiente fue la línea base y la variable independiente el contenido de trabajo, usando los datos de los cuatro proyectos estudiados. El resultado se muestra en la ecuación (4):

$$\text{Línea base} = 0,358 (\text{Contenido de trabajo}) - 0,524 \quad (4)$$

en donde el coeficiente de determinación (r^2) fue de 0,58 y el coeficiente de Fisher (F) fue de 2,777 con un valor crítico de 0,237 (para $n = 4$ y $\alpha = 0,05$), mostrando significancia estadística.

Como un ejemplo, podemos sustituir en la ecuación (4) la variable independiente contenido de trabajo por el valor 4, el cual fue asignado a los proyectos A y C, y obtenemos:

$$\text{Línea base} = 0,358 (4) - 0,524 = 0,908$$

es decir, que tanto para el proyecto A como para el proyecto B la línea base estimada resultó ser 0.908 h/m². Y de la misma forma para los otros dos proyectos

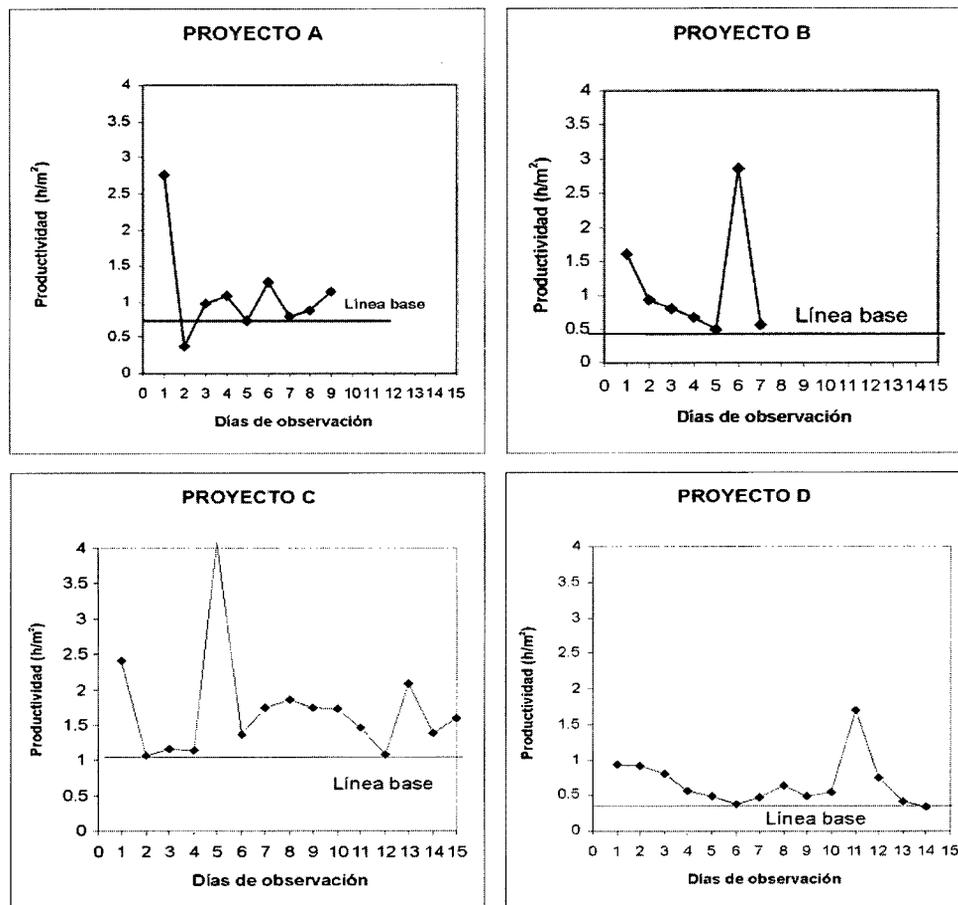


Figura 2. Variabilidad diaria y línea base.

estudiados, con contenido de trabajo 3, la línea base estimada fue 0,550 h/m².

Se calculó la productividad acumulada de los proyectos para el total de días observados en cada caso. Este atributo es una función tanto del diseño como de la influencia de administración. Los resultados se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Resumen de atributos

Proyecto	Contenido De Trabajo	Línea Base	Productividad acumulada	Días anormales	Total de días	Total de horas
A	4	0,735	1,114	1	9	306
B	3	0,678	1,138	2	7	238
C	4	1,077	1,724	8	15	510
D	3	0,419	0,674	1	14	476

Se determinaron los días anormales, en los cuales se presentó una baja en el ritmo de los trabajos. La experiencia de estudiar la productividad del trabajo ha llevado a relacionar la línea base con los días anormales. Se ha llegado a convenir en el uso de este término para calificar la productividad de un día, cuando el número de horas invertidas para producir una unidad de concepto de obra exceda a la línea base estimada del proyecto, en el valor que corresponde a la estimación de la ecuación (4) para el menor contenido de trabajo de la base de datos; en nuestro estudio, este último valor fue de 0,550 h/m², que como se mostró anteriormente, corresponde a un contenido de trabajo de 3. Por tanto, los días anormales se definieron como aquellos en los que la productividad reportó un valor superior a 1,10 (resultado de la suma 0,550 + 0,550) para proyectos con contenido de trabajo de 3, y de 1,458 (resultado de la suma 0,908 + 0,550) para proyectos con contenido de trabajo de 4. El número de días anormales de cada proyecto aparece en la tabla 4, así como el total de días y de horas trabajadas por cada cuadrilla.

Se calculó el índice de bajo ritmo (IBR) de cada proyecto, como el porcentaje de días anormales que se presentaron durante el estudio, de acuerdo con la ecuación (2), así como el índice de administración de los proyectos (IAP), por medio de la ecuación (3), en el cual se resta el efecto del diseño a la medida de la productividad.

Por ejemplo, para el proyecto A:

$$IBR = \frac{\text{Número de días anormales}}{\text{Total de días trabajados}} = \frac{1}{9} = 0,11$$

$$IAP = \frac{\text{Producción acumulada} - \text{Estimación a la línea base del proyecto}}{\text{Estimación a la línea base para el menor contenido de trabajo}} = \frac{1,114 - 0,908}{0,550} = 0,37$$

Los resultados completos se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Parámetros IBR e IAP.

Proyecto	IBR	IAP
A	0,11	0,37
B	0,29	1,07
C	0,53	1,49
D	0,07	0,23

Para ambos índices, un menor valor está asociado a un mejor desempeño de la empresa en la administración del proyecto. Se puede apreciar que el proyecto D es el que presentó los parámetros menores (que corresponden al más alto desempeño), en tanto que el proyecto C, los mayores (que corresponden al más bajo desempeño).

Para comparar la ejecución de los proyectos en parejas, tomando en cuenta las diferencias en su contenido de trabajo, el primer paso fue calcular las distribuciones de probabilidades acumuladas de los índices IBR e IAP. Éstas se muestran en la figura 3.

Posteriormente, con la ayuda de las gráficas de probabilidad acumulada de IBR e IAP se obtuvo la probabilidad correspondiente a cada proyecto de estos índices, que se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Probabilidades de IBR e IAP.

Proyecto	Contenido de trabajo	Productividad acumulada	Probabilidad de IBR	Probabilidad de IAP
A	4	1,114	0,27	0,37
B	3	1,138	0,72	0,57
C	4	1,724	0,82	0,99
D	3	0,674	0,18	0,23

Para comparar los diferentes proyectos se calculó la diferencia de las probabilidades de cada uno de sus dos índices de desempeño. Estos valores representaron la probabilidad de que dentro de la misma base de datos hubiera un proyecto que tuviera un desempeño intermedio entre los que se estaban evaluando, y permitió comparar proyectos con diferente contenido de trabajo, sin que haya sido la productividad acumulada la única medida de desempeño del sistema.

Con base en el IBR e IAP se obtuvieron, comparando en pares los proyectos, los resultados que se presentan en la tabla 7. De acuerdo con el Modelo de los factores, el criterio para decidir si dos proyectos experimentaban en su ejecución diferente influencia en su administración con base a estos índices, es cuando las diferencias de probabilidades exceda al 12,5%, la cual

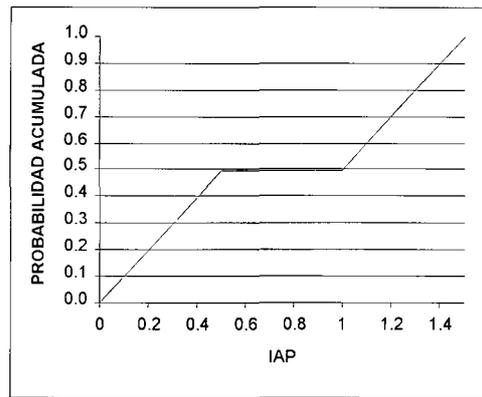
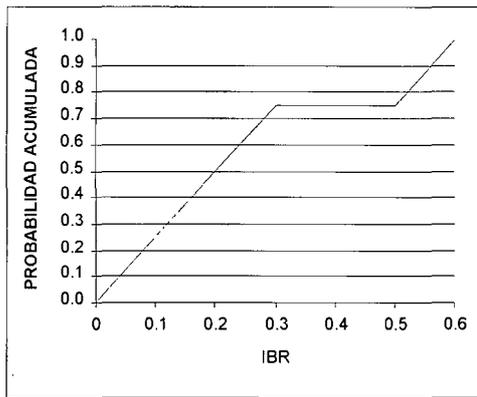


Figura 3. Probabilidad acumulada de IBR e IAP.

representa medio cuartil. Se puede apreciar que, con excepción de los pares 3 y 4, en todos los demás existen firmes evidencias de influencia de la administración en los respectivos desempeños.

Tabla 7.- Comparación de desempeño entre proyectos.

Proyectos comparados		Diferencia en la probabilidad de IBR	Diferencia en la probabilidad de IAP
1	A comparado con B	0,49	0,20
2	A comparado con C	0,55	0,62
3	A comparado con D	0,09	0,14
4	B comparado con C	0,10	0,42
5	B comparado con D	0,54	0,34
6	C comparado con D	0,64	0,76

1. DISCUSIÓN

La cantidad de datos reportados en este estudio representa el inicio de la recolección de información que pueda servir en el futuro para llegar a conclusiones con significancia estadística, válidas para comparar la productividad de la mano de obra en una región determinada de México con las bases de otros países.

Los proyectos que han sido estudiados en los otros países participantes en el proyecto incluyeron edificios comerciales, de oficinas, de apartamentos y bibliotecas (Sanders y Thomas, 1991), mientras que en este trabajo se hicieron observaciones a viviendas para clases populares con área de construcción aproximada de 50 metros cuadrados. El método hace posible la comparación de la productividad de edificaciones tan diferentes, como pueden ser un gran centro comercial y una pequeña casa habitación, siempre que el contenido de trabajo sea adecuadamente evaluado y calificado, y que se cuente, dentro de la base de datos de la región, con suficientes proyectos que cubran todo el espectro de

dicha escala. En el inicio de la base de datos para la región de estudio sólo se han abordado proyectos calificados con 3 y 4 de contenido de trabajo.

De los cuatro proyectos estudiados, se pudo apreciar que el C tuvo un alto número de días anormales, lo cual está directamente relacionado con la variabilidad de la productividad diaria que se presentó, tal como se mostró en la figura 2. Los proyectos A, B y D presentaron pocos días anormales, lo cual también fue consistente.

Si tomamos solamente la productividad acumulada como un parámetro de juicio para determinar qué proyecto tuvo la mejor ejecución, concluiríamos que este calificativo le corresponde al proyecto D (con 0.674 h/m²); de la misma forma, el proyecto C tuvo la menor medida de productividad durante el transcurso de su ejecución (con 1.724 h/m²).

Sin embargo, podemos notar de la tabla 4 que al proyecto D le correspondió una menor calificación dentro de la escala de contenidos de trabajo (3), mientras que al proyecto C se le asignó uno mayor (4). Dentro de estas circunstancias, el hecho de que el primer proyecto mencionado tuviera una mejor productividad es algo que debe esperarse debido a que los trabajos en forma natural deben ser ejecutados con menor número de recursos –en este caso tiempo– por corresponder a formas y métodos constructivos más sencillos. Pero este simple enfoque no nos proporciona información sobre cuál de los dos sistemas ejecutores de los trabajos tuvo un mejor desempeño en su proceso de transformación tecnológica.

En la tabla 7 se presentan las comparaciones entre los cuatro proyectos con base en los índices IBR e IAP, los cuales han definido la influencia de la administración en la ejecución de los trabajos. Comparando las diferencias en las probabilidades acumuladas de ambos índices para las

parejas de proyectos A y B, A y C, B y D, y C y D, se pudo concluir que en todas estas confrontaciones existió una diferencia significativa entre los diferentes desempeños de las constructoras, con base en el criterio del medio cuartil arriba mencionado (Thomas et al. 1999-A). Para los primeros dos casos comparados, se determinó que el proyecto A tuvo mejor desempeño, y para los dos restantes, que el proyecto D fue el de mejor ejecución. En la primera de las comparaciones (A y B) los dos proyectos presentaron productividades acumuladas muy similares, resultando con mejor desempeño el proyecto que presentó un mayor contenido de trabajo; en la última comparación (C y D) el proyecto que presentó mejor ejecución fue el que tuvo menor contenido de trabajo (D), observándose también una notoria diferencia entre las productividades acumuladas. Esta última comparación fue la que reportó mayores diferencias entre las probabilidades acumuladas de los índices IBR e IAP, y la probabilidad de encontrar proyectos con desempeños intermedios entre ellos estuvo muy por encima de un 50%.

Así mismo, entre los pares A y C, y B y D no se manifestaron diferencias entre las ejecuciones, lo cual confirma los resultados reportados por Corona (1999), quien mediante el análisis de varianza determinó que no existían diferencias significativas entre las medias de las productividades diarias observadas en los mismos proyectos.

5. CONCLUSIONES

La metodología aplicada mostró ser una herramienta útil para medir la productividad de la mano de obra en la construcción, con un enfoque más amplio que la va-

loración de la productividad como el cociente entre la producción y los recursos utilizados.

Permitió identificar en forma sistemática los días en los cuales se tuvo una baja productividad, asociando a ellos las circunstancias que provocaron el bajo rendimiento observado. Esta información es importante para las constructoras, ya que les da elementos para tomar acciones preventivas que les lleve a evitar, dentro de lo factible, que dichas circunstancias se repitan en forma permanente. Así mismo, dio la oportunidad de poder comparar el desempeño de diferentes compañías, que ejecutaron proyectos con dos grados de complejidad, pudiendo determinar cuáles de esas compañías tuvieron un mejor desempeño con base en índices que califican la actuación de la administración.

Con un número mayor de proyectos observados será posible establecer una curva que relacione las variables línea base y contenido de trabajo, correspondiente a esta región de México. Lo anterior permitirá insertar los estudios de productividad realizados por la Universidad Autónoma de Yucatán, dentro de un marco global, y valorar cuantitativamente las diferencias en la productividad de la mano de obra que son atribuibles a la variación de los niveles tecnológicos y a las diferencias en la cultura laboral entre nuestra región y otros países.

Una vez que la base de datos para el entorno geográfico de este estudio se amplíe, incluyendo proyectos que cubran todos los contenidos de trabajo de la escala referida, se estará en mejores condiciones para consolidar el desarrollo de la metodología del Modelo de los factores (Thomas, 1999-A) como un nuevo enfoque para la medición de la productividad de la mano de obra.

6. REFERENCIAS

1. Corona, Gilberto (1999). "Cambio de método y de control de materiales en la construcción en serie de viviendas de interés social y su impacto en la calidad". Tesis inédita en opción al grado de Maestro en Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán.
2. Koehn E., Brown D. (1986). "International labor productivity factors". *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 112, Núm. 2, 299-302.
3. OIT (1968). "Introducción al estudio del trabajo". Suiza, 11-24.
4. Sebestyen, G. (1978). "Comparison of construction cost in the United Kingdom and Hungary". *Habitat International*, Pergamon Press, Vol. 3, Núm. 2, 65-69.
5. Thomas, R. Smith, G., Horner, M. (1990). "Procedures manual for collecting productivity and related data of labor-intensive activities on commercial construction projects: masonry". The Pennsylvania State University, 1-45.
6. Thomas, R., Zavrski, I. (1999A). "Theoretical model for international benchmarking of labor productivity". Final report, The Pennsylvania State University, 2-6.
7. Thomas, R., Zavrski, I. (1999B). "Construction baseline productivity: theory and practice". *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 125, Núm. 5, 295-302.
8. Sanders, S., Thomas, R. (1991) *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 117, Núm. 4, 626-640.