

MODELO DE LOS FACTORES PARA EL ESTUDIO DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN MASIVA DE VIVIENDA

FACTORS MODEL FOR THE STUDY OF THE PRODUCTIVITY IN MASS CONSTRUCTION OF HOUSING

Por /By Rómel Solís Carcaño, Carlos Arcudía Abad. José González Fajardo.

Resumen

En este estudio se presentan las bases teóricas para la aplicación del *Modelo de los Factores* para el estudio de la productividad del trabajo en la industria de la construcción, el cual fue aplicado en proyectos de construcción masiva de vivienda tipo popular. Se realizaron mediciones de los trabajos efectuados por una cuadrilla en el concepto muro a base de bloques de concreto. La teoría para la evaluación de la productividad de la mano de obra se fundamenta en la *línea base* de cada proyecto, la cual está relacionada con la complejidad del diseño. Esta relación se establece por medio de un modelo de regresión. Dos atributos se definen para medir la calidad de la ejecución de los trabajos: el *índice de días de bajo ritmo* (DI) y el *índice de administración de proyecto* (PMI). 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. Se desarrolla una metodología para la comparación de dos proyectos diferentes, usando las curvas de probabilidad acumulada de DI y PMI. La comparación se basa en encontrar la probabilidad de hallar otros proyectos, que tengan valores intermedios de DI y PMI respecto a los dos proyectos evaluados.

Palabras Clave: Productividad, mano de obra para la construcción, construcción, administración de la construcción, construcción de vivienda.

Abstract

The theoretical basis for the application of *The Factors Model* in labor productivity studies in the construction industry is presented in this paper. The model was applied in mass production housing projects for the low-income sector. Measurement of the work made by a crew of masons building walls of concrete blocks were carried out. The foundation of the labor productivity evaluation theory is founded on the base line of each project, which is related to the design complexity. This relationship is established by means of a statistical regression model. Two attributes are defined in order to measure the quality of the work execution: The *Disruption Index* (DI) and the *Project Management Index* (PMI). The first measures the percentage of abnormal or low productivity work days, and the second removes the influence of design in productivity measurement in order to show the effect of project organization and administration. A methodology for performance comparison between two projects is developed using the accumulated DI and PMI probability curves. The comparison is based in computing the probability of finding other projects with intermediate DI and PMI values with respect to the two evaluated projects.

Keywords: Productivity, construction labor, construction, construction management, housing construction.

1. INTRODUCCIÓN

Un factor muy importante en la productividad de una empresa, es el elemento humano. Para el estudio de la productividad del trabajo en la industria de la construcción, las empresas del ramo pueden ser analizadas bajo un *enfoque de sistemas*. En general, podemos definir un sistema como un conjunto de elementos interdependientes orientados hacia la realización de un objetivo determinado. Bajo esta definición podemos observar diferentes tipos de sistemas, tales como sistemas naturales, sistemas de clasificación, sistemas de medidas, sistemas de pensamiento, sistemas sociales, etc., los cuales tienen en común que conjugan diferentes ideas, patrones, pensamientos o elementos para formar un conjunto coherente.

De acuerdo lo anterior, en este contexto, se debe considerar a la empresa constructora como un sistema social, dado que en ella se conjugan diferentes elementos humanos organizados en grupos que tienen una misma finalidad: producir un edificio, una casa, un puente, etc. La constructora, como cualquier otro sistema social, ha de responder a unos supuestos básicos, como son el de estar orientada al logro de metas, que pueden ser de carácter económico, social, de desarrollo personal, etc. También debe contener un carácter normativo en donde se espera que cada persona se comporte dentro de ciertas reglas, y asimismo hacerlas respetar estableciendo un esquema de estímulos y castigos; tener una división de funciones y en cierto modo ser burocrática para establecer la formalidad en sus procedimientos; por último, tener una interdependencia entre sus componentes, de modo que si algún proceso es afectado, ocurre una ola de cambios que afecta a todo el sistema.

En general un sistema de producción, como una constructora, se crea para ejecutar una función cuyo cumplimiento implica recursos, los cuales deben estar organizados de la manera más eficiente, y ha de tener un procedimiento específico, para transformar los insumos en productos lo más económicamente posible, de acuerdo la capacidad tecnológica y financiera de la empresa (Stevenson, 1993).

Los elementos típicos de una empresa constructora, bajo un *enfoque de sistemas*, se ilustran en la Figura 1. Consisten fundamentalmente en la *función* del sistema, en este caso la construcción de viviendas, llevada a cabo por medio de una *secuencia* lógica de actividades en la cual con el concurso de un *agente humano* y un *agente físico* se transforman los materiales en viviendas; todo esto dentro de un *medio interno* que es el ambiente inmediato que rodea a los elementos del sistema y un *medio externo* que tiene que ver con los factores social, económico, tecnológico, etc. del entorno. Por último, un proceso de *retroalimentación* que incluye las acciones destinadas a vigilar la eficacia del sistema, es decir que el objetivo se cumpla, y a mejorar su eficiencia o sea asegurar la productividad del mismo (Tawfik y Chauvel, 1992).

Por otra parte, la Oficina Internacional del Trabajo (OIT) (1968), ha reconocido desde hace más de tres décadas que existen dos grupos de factores que tienen influencia en la productividad de la mano de obra. Estos dos grupos son el *contenido del trabajo* y *el ambiente del trabajo*. El primer rubro agrupa todo aquello que define las características intrínsecas del trabajo, como son las especificaciones del producto, sus dimensiones o la complejidad de su diseño; mientras que el segundo define la forma en la cual el trabajo es organizado y dirigido dentro del sistema.

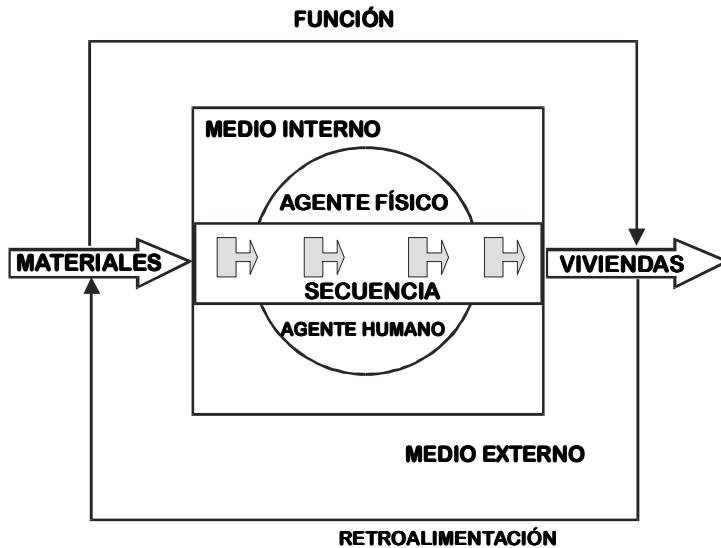


Figura 1. Elementos de una Constructora.

En la industria de la construcción, Thomas, (1999A) ha descrito los factores *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 externo que está constituido por los eventos no controlables por la empresa constructora, como podrían ser: el clima, aspectos económicos, culturales, políticos, etc.

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 tiempo que los obreros de la construcción ocupan en actividades que redundan en avance de obra (trabajo directo), así como en otras actividades complementarias necesarias en el proceso, mismas, que en conjunto con las anteriores, constituyen el tiempo productivo. Asimismo se determinaron también los tiempos invertidos en actividades improductivas tales como esperas, o bien acciones de carácter personal. (González, Arcudia, 1997).

En el presente estudio se mide 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. Finalmente se compara la productividad alcanzada por el sistema ejecutor de cada proyecto, es decir de la constructora, tomando en consideración las variaciones en el contenido de trabajo de cada uno.

2. METODOLOGÍA

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.

En el presente estudio 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).

El estudio se inicia con la recolección de información en campo para diferentes proyectos, por medio de un procedimiento estandarizado, con la finalidad de conformar múltiples bases de datos. El segundo paso, es el procesamiento de los datos, para posteriormente realizar el análisis de los mismos, que consiste en la evaluación de cada proyecto en lo particular y la comparación de sus respectivos desempeños.

La aplicación del método se efectuó en cuatro proyectos de vivienda construidos en forma masiva en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. Estos proyectos fueron típicos, se realizaron con financiamiento gubernamental y estaban destinados a las clases populares; para este fin se contó con la colaboración de empresas constructoras voluntarias. 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, piedras o cualquier otro material que pueda ser utilizado, ya que este concepto es mundialmente ejecutado con características similares y por tanto, es factible de ser comparado.

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.

Cada uno de esos factores, en lo individual o en forma combinada, pueden ocasionar que los obreros suspendan las labores, en espera de que la administración solucione el problema y las reinicien el mismo día; que se retiren temprano acortando la jornada de trabajo; o bien que baje el ritmo o intensidad de la labor, sin parar de trabajar.

El procedimiento para recolectar los datos de cada proyecto consistió fundamentalmente en el seguimiento del trabajo realizado por una cuadrilla, misma que 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 misma del modelo.

La unidad de medición de la productividad diaria de la cuadrilla observada en cada proyecto, fue la razón 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/m²; lo anterior, de acuerdo con la ecuación 1 que define la productividad:

$$Productividad = \frac{Recursos}{Productos} = \frac{Horas - hombre}{Unidades} \quad (1)$$

Tabla 1. Factores que Definen el Contenido y Ambiente del Trabajo

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.

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 (mediante la ecuación 1) para el concepto *muro de bloques de concreto* de 15 x 20 x 40 (ancho, alto y largo) centímetros.

Dada la variabilidad de las horas de entrada y salida de los obreros, en todos los proyectos se consideró una duración promedio en la jornada de trabajo de 8 horas y media por día.

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. Con esta información se conformó una base de datos de atributos para cada proyecto.

Dentro del procesamiento de los datos fue importante revisar cuidadosamente las cédulas para detectar errores o indicios que sugirieran que el observador se apartó del procedimiento estandarizado. En estos casos se entrevistó al observador de campo para corregir los datos o bien se descartaron de la base de datos del proyecto.

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

- Variabilidad en la producción diaria: Es un parámetro que permite, por medio de una gráfica, la apreciación visual de las diferencias en la productividad día tras día.
- Línea base de productividad: Es el valor de la mejor productividad del proyecto, tomando en consideración el contenido del trabajo implícito en el diseño.

- Productividad acumulada: Es la medida general del esfuerzo necesario para producir todas las unidades de obra incluidas en la observación.
- Número de días anormales de trabajo: Son los días en los que ocurre una baja productividad en el proyecto.
- Total de días trabajados: Es el total de días en los cuales se llevan a cabo las observaciones.
- Total de horas trabajadas: Es el número de horas trabajadas por la cuadrilla durante todos los días de observación.

La línea base de cada proyecto se calculó a partir de los días en los cuales se observó la mejor productividad en cada proyecto. Para obtenerla se debió usar el equivalente al 10% de los días observados, escogiendo los de mejor desempeño; sin embargo, la cantidad de datos disponibles en cada proyecto no permitió seguir con exactitud este criterio, optándose por escoger los tres mejores días. El valor numérico de este parámetro corresponde a la mediana de la productividad observada en ellos.

La línea base está en función directa de la complejidad del diseño, es decir, del contenido de trabajo del proyecto. 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 contenidos de trabajo para labores de albañilería.

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.

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 2.

$$\text{Línea base} = a (\text{contenido de trabajo}) + b \quad (2)$$

(en donde a y b son constantes).

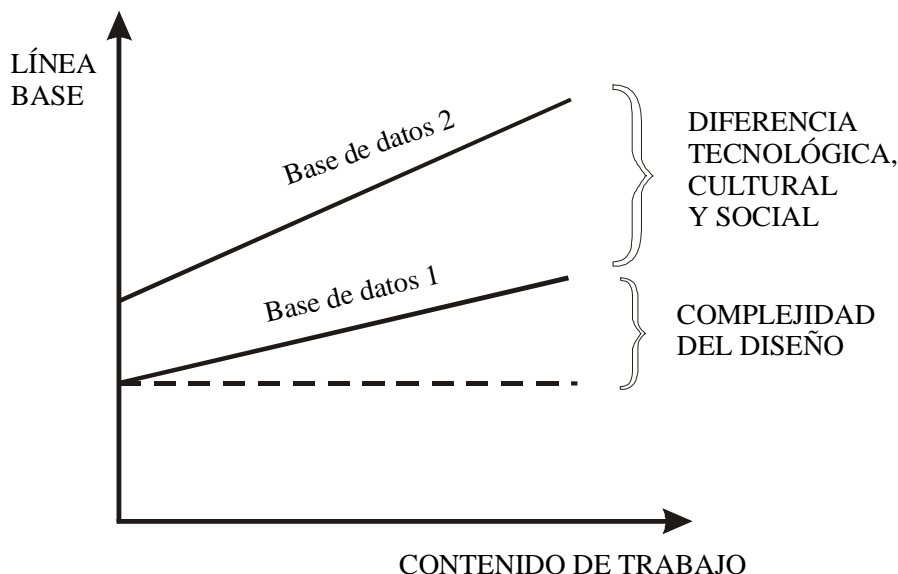


Figura 2. Factores que Influyen en la Línea Base

Si se comparan las trazos de diferentes bases de datos (Figura 2), que correspondan a naciones o regiones distintas, se puede establecer que la diferencia entre los estimados en la variable línea base para cualquier valor arbitrario del contenido de trabajo, está explicada por las distintas tecnologías, culturas y sociedades del ambiente característico de los sistemas en cada país. Asimismo, la intersección de las líneas con el eje de las ordenadas representa el mejor desempeño posible de la administración de una empresa, ejecutando el diseño más sencillo, y con la mejor utilización de la tecnología disponible. Por último, la diferencia de pendiente entre las líneas de dos bases de datos, representa la diferencia entre la capacitación y calificación de los obreros.

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 (DI por sus sigla en inglés de: disruption index): Es el porcentaje de días anormales que se presentan en relación a los días observados. Se calcula de acuerdo a la ecuación 3:

Comentario [F11]:

$$DI = \frac{\text{Número de días anormales}}{\text{Total de días trabajados}} \quad (3)$$

- Índice de administración del proyecto (PMI por sus siglas en inglés de: Project management index): 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 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 que formen parte de la misma base de datos de un país o región. 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. El PMI se calcula de acuerdo a la ecuación 4:

$$PMI = \frac{\text{Producción acumulada} - \text{Estimación a la línea base del proyecto}}{\text{Estimación a la línea base para el menor contenido de trabajo}} \quad (4)$$

Los atributos y parámetros de cada proyecto permiten hacer la evaluación particular de los mismos. La comparación de proyecto a proyecto, es decir, juzgar entre dos proyectos cuál tuvo mejor ejecución, tomando en cuenta tanto la productividad acumulada como la complejidad del diseño, se hace con base en la probabilidad de encontrar dentro la misma base de datos un proyecto que tenga un desempeño intermedio entre los que se comparan.

El primer paso consistió en calcular las distribuciones acumuladas de probabilidades de DI y PMI, usando los valores obtenidos para todos los proyectos de la base de datos local; después se compararon las probabilidades correspondientes a los parámetros DI y PMI de los dos proyectos sujetos a evaluación. La resta de estas probabilidades determinó la diferencia de ejecución entre los dos proyectos confrontados.

La metodología seguida en el estudio, correspondiente al *Modelo de los factores*, se resume en la Figura 3.

1. RESULTADOS

Los resultados de la productividad observada para cada día del estudio se presentan en la tabla 3, en horas 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 realizaron observaciones en diferentes números de viviendas. 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.

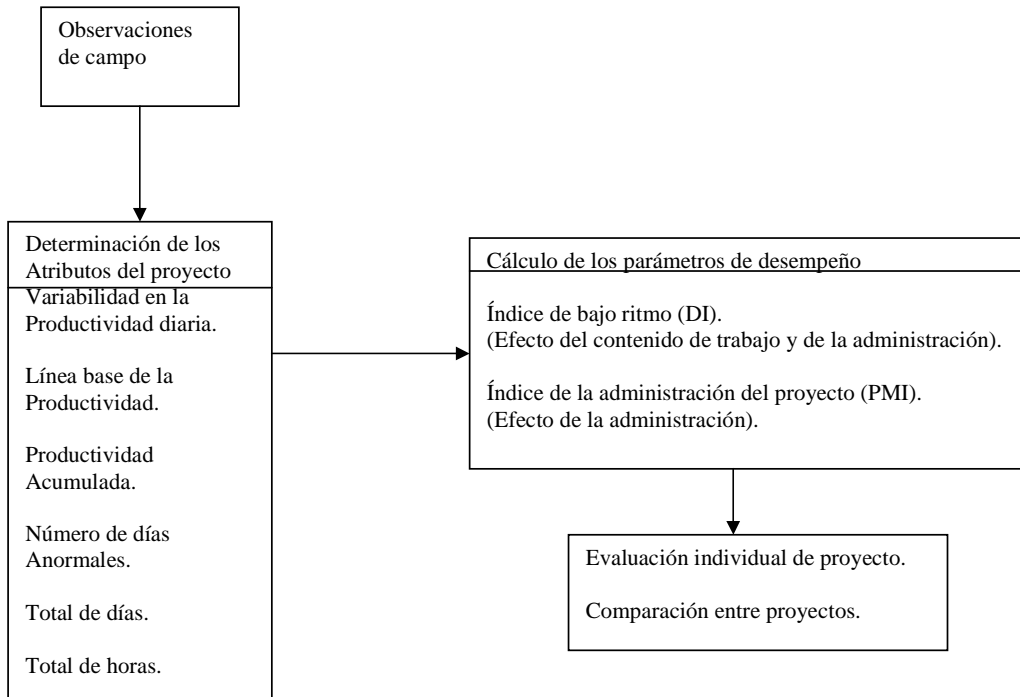


Figura 3. Resumen de la Metodología

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	

Las Figuras 4, 5, 6 y 7 muestran las gráficas de variabilidad diaria para los cuatro proyectos estudiados. En ellas se puede apreciarse 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 subsiguientes 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.

En estos dos primeros proyectos, en los cuales se hicieron observaciones en una y dos viviendas respectivamente, las gráficas probablemente no contengan el número suficiente de datos para poder definir a plenitud una tendencia clara.

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 boques 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.

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 en el cual 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 las Figuras 4, 5, 6 y 7 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 a la complejidad del diseño de la vivienda y a 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. Mientras que a los proyectos B y D se les asignó un contenido de trabajo de 3, por presentar una 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 5.

$$\text{Línea base} = 0,358(\text{Contenido de trabajo}) - 0,524 \quad (5)$$

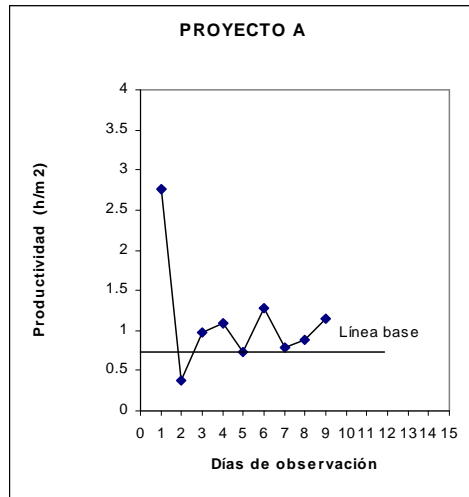


Figura 4. Variabilidad Diaria y Línea Base, Proyecto A

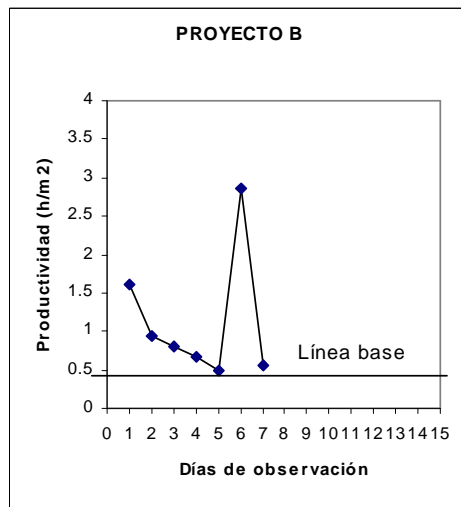


Figura 5. Variabilidad Diaria y Línea Base, Proyecto B

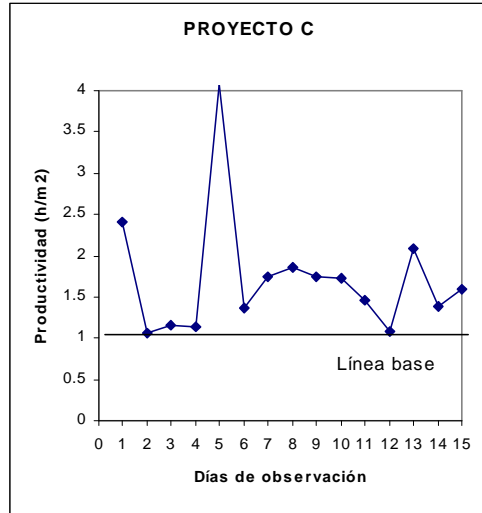


Figura 6. Variabilidad Diaria y Línea Base, Proyecto C

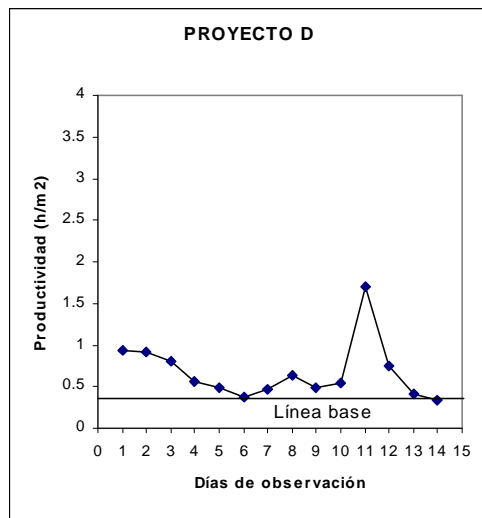


Figura 7. Variabilidad Diaria y Línea Base, Proyecto D

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

Se calculó la productividad acumulada de los proyectos aplicando la fórmula 1 para el total de días trabajados en cada caso. La productividad acumulada es una función tanto del diseño, como de la influencia de la administración. Los resultados aparecen en la tabla 4.

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 5 para el menor contenido de trabajo de la base de datos. En este estudio la línea base estimada para un contenido de trabajo de 3 resultó 0,550 horas por metro cuadrado de muro; y de 0,908 h/m² para contenido de trabajo de 4. Por tanto, los días anormales se definieron como aquellos en los que la productividad reportó un valor superior a 1,100 para proyectos con contenido de trabajo de 3; y de 1,458 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.

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

De los cuatro proyectos se aprecia que el C tuvo un alto número de días anormales, lo cual está directamente relacionado con la variabilidad de la productividad diaria que presentó, tal como se mostró en la Figura 6. En este proyecto se observaron errores en el trazo de los ejes (falta de *supervisión* y de *información* clara en el croquis que suplió al plano de la planta arquitectónica); no se dejaron todos los anclajes para los castillos al ejecutar la cimentación (lo que produjo *retrabajos*); el acarreo de materiales se dificultó porque el lugar de los trabajos estuvo lóbrego y accidentado (problemas *relacionados con el sitio y deficiente manejo de los materiales*); uso de andamios desde el inicio de los muros por ejecutarse este trabajo antes de los rellenos (*secuencia* inadecuada de actividades); se observaron peones desocupados y albañiles realizando labores no calificadas (lo que significa falta de *organización del capataz* o subcontratista); y por último inconformidad y falta de motivación de los obreros por tener bajo ingresos (causados por falta de *incentivos* y malas *relaciones laborales*). Los proyectos A, B y D presentaron pocos días anormales lo que es consistente con el atributo de variabilidad diaria.

Se calculó el índice de bajo ritmo (DI) de cada proyecto, como el porcentaje de días anormales que se presentaron durante el estudio, de acuerdo con la ecuación 3, así como el índice de administración del proyecto (PMI) el cual resta el efecto del diseño a la medida de la productividad. Los resultados se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Parámetros DI y PMI

PROYECTO	DI	PMI
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), mientras que el proyecto C los mayores (que corresponden al más bajo desempeño).

Para comparar la ejecución de dos proyectos, tomando en cuenta las diferencias en su contenido de trabajo, el primer paso fue calcular las distribuciones de probabilidades acumuladas de los índices DI y PMI. Éstas se muestran en la Figura 8.

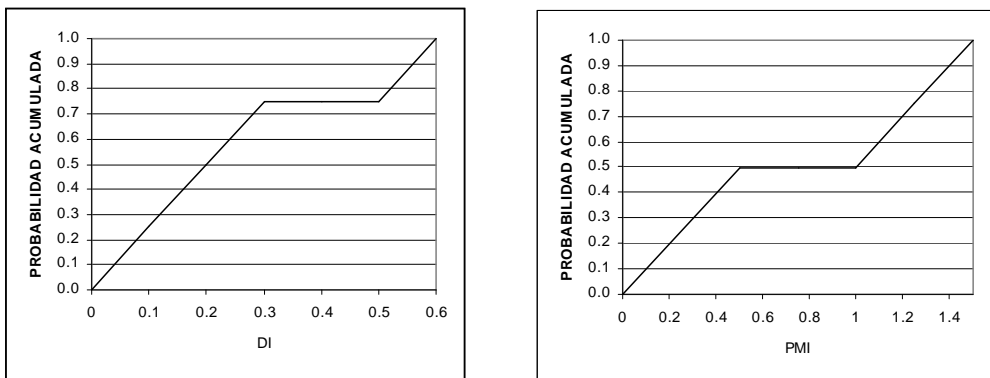


Figura 8. Probabilidad Acumulada de DI y PMI

Posteriormente, con la ayuda de las gráficas de probabilidad acumulada de DI y PMI se obtuvo la probabilidad correspondiente a cada proyecto de estos índices, mismos que se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Probabilidades de DI y PMI

PROYECTO	CONTENIDO DE TRABAJO	PRODUCTIVIDAD ACUMULADA	PROBABILIDAD DE DI	PROBABILIDAD DE PMI
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 dos proyectos específicos 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. Esto 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 DI se obtuvo, comparando por ejemplo los proyectos C y D, que existe una probabilidad del 64% de encontrar un proyecto con un nivel de ejecución intermedio entre ambos; y basándose en el PMI se encontró una probabilidad del 76% de observar proyectos con un índice de administración intermedio entre los proyectos C y D.

1. DISCUSIÓN

Este trabajo inicia la conformación de la base de datos que contiene observaciones de la productividad de la mano de obra de albañilería en México, siguiendo el *Modelo de los Factores* de Thomas. Se estudiaron cuatro proyectos de la ciudad de Mérida, que incluyeron 45 días de observación y un total de 1 530 horas de labor. El modelo aplicado está enmarcado dentro de un proyecto internacional auspiciado por la Universidad Estatal de Pennsylvania (*International Benchmarking of Labor Productivity*), al cual se le deberán agregar ahora los datos de los cuatro proyectos observados en México, creando así una nueva base de datos para comparaciones internacionales.

La cantidad de datos reportados en este estudio representa el inicio de la recolección de información que pueda en el futuro servir 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, 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 contenidos de trabajo. En el inicio de la base de datos para la región de estudio, sólo se han abordado proyectos calificados con 3 y 4 en la escala de contenido de trabajo.

Analizando los resultados reportados en los Estados Unidos por Thomas *et al.* (1999B), se encontró que se tuvieron productividades acumuladas con un rango que va de 0,732 h/m² a 3,174 h/m² con una media de 1,352; en tanto que en el presente estudio se tuvo un rango de valores entre 0,674 (proyecto D) y 1,724 (proyecto C), con una media de 1,163, en las mismas unidades. Para los mismos proyectos de referencia se tuvieron DI de 0,19 y 0,95 para Estados Unidos y de 0,07 y 0,53 para la región de estudio. Mientras que los valores del PMI fueron de 0,11 y de 3,56 para los Estados Unidos y 0,23 y 1,49 para la región de estudio.

Thomas (1999B) ha establecido el criterio que cuando el PMI es menor a 0,30 se puede calificar al proyecto de alta ejecución, mientras que cuando excede a 0,75 de baja ejecución. Con este criterio, podemos calificar que el proyecto D tuvo el nivel más alto de ejecución dentro de los cuatro observados en este estudio.

De la misma forma con el estudio de las bases de datos internacionales, Thomas (1999B) observó que cuando el DI excede de 0.50, el PMI se incrementa rápidamente produciéndose un

efecto de onda, que hace que la productividad de la cuadrilla se vea afectada diariamente, incluso por el efecto de otros grupos de trabajadores. Este fue el caso del proyecto C en el cual más de la mitad de los días fueron anormales.

De acuerdo con el *Modelo de los Factores* el criterio para decidir si dos proyectos experimentaron en su ejecución diferente influencia en su administración con base a DI y PMI es: cuando las diferencias de probabilidades exceda al 12.5%, la cual representa medio cuartil. En el caso de los proyectos C y D este límite fue ampliamente rebasado por lo que se pudo confirmar que el proyecto D fue el mejor ejecutado; en este caso, correspondió al de menor contenido de trabajo entre los dos y el que tuvo mejor productividad acumulada.

Aun cuando no se cuenta con suficientes proyectos en el estudio, se puede notar que la ejecución en la que se observó el más alto desempeño (proyecto D) presentó parámetros superiores al proyecto con más altos niveles de ejecución de la de Estados Unidos.

Los resultados obtenidos en el estudio fueron consistentes con los presentados por Arcudia y González (1999), en los cuales el muestreo del trabajo realizado en proyectos de vivienda similares reportó un 84% de observaciones productivas, valor que está por arriba de los promedios internacionales para la industria de la construcción que están alrededor de 60%, reportados por Christian y Hachey (1993).

Sin embargo, el hecho de que estos estudios de productividad de la región hayan reportado niveles más altos que los que se obtienen en otros países con un grado mayor de desarrollo y organización, debe ser analizado tomando en consideración dos circunstancias.

Por un lado, el tipo de pago predominante a la mano de obra en base a precios unitarios (denominado “destajo”), en el cual los trabajadores solo reciben remuneración por la realización de actividades productivas, lo que lleva a realizar un esfuerzo casi ininterrumpido durante su jornada, a diferencia de otros obreros que reciben un salario por unidad de tiempo trabajada; dentro de este esquema, los trabajadores se ven obligados a superar todo tipo de carencias y deficiencias en las prácticas administrativas de la constructora.

La otra circunstancia que es importante considerar es que comúnmente este incremento en la producción se logra en base a sacrificar la calidad del trabajo. El método aplicado no contempla establecer diferencias de calidad entre los proyectos, ya que supone que todos ellos se llevan a cabo dentro de un esquema de control de estándares, en el cual los productos deben cumplir con los requisitos de calidad establecidos para ser aceptados. Sin embargo, en las construcciones estudiadas se notaron algunas deficiencias en la calidad de los trabajos, provocadas tanto por la falta de supervisión, como por las inadecuadas prácticas administrativas de las empresas; así como por la falta de personal obrero calificado (Corona, 1999).

5. REFERENCIAS

- ARCUDIA C., GONZÁLEZ J. A., (1999), "Estudio del trabajo en la construcción masiva de vivienda". Ingeniería, Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, UADY, Vol. 3, Núm. 2, 19-26.
- 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.
- CHRISTIAN J. C., HACHEY D., (1993), "Effects of delay times on production rates in construction". Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 121, Núm. 1, 20-26.
- GONZÁLEZ J. A., ARCUDIA C., (1997), "Estudio del trabajo y de los rendimientos de la mano de obra en la construcción masiva de viviendas". Ingeniería, Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, UADY, Vol. 1, Núm. 2, 9-22.
- KOEHN E., BROWN D., (1986), "International labor productivity factors". Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 112, Núm. 2, 299-302.
- OIT, (1968), "Introducción al estudio del trabajo". Suiza, 11-24.
- SEBESTYEN G., (1978), "Comparison of construction cost in the United Kingdom and Hungary". Habitat International, Pergamon Press, Vol. 3, Núm. 2, 65-69.
- STEVENSON W., (1993), "Production/ Operations Management". Richard D. Irwin Inc., 21-22.
- TAWFIK Y CHAUVEL, (1992), "Administración de la producción". McGraw-Hill, 41-47.
- 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.
- THOMAS R., ZAVRSKI I., (1999A), "Theoretical model for international benchmarking of labor productivity". Final report, The Pennsylvania State University, 2-6.
- THOMAS R., ZAVRSKI I., (1999B), "Construction baseline productivity: theory and practice". Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 125, Núm. 5, 295-302.

Rómel Solís Carcaño

Ingeniero Civil, M.I.

Profesor, Facultad de Ingeniería

Universidad Autónoma de Yucatán

Apartado Postal número 150, Administración número 10 Cordemex, C.P. 97110

P.O. Box 150, Administration number 10 Cordemex, Zip Code 97110

Mérida, Yucatán, México

Civil Engineer, M.E.

Professor, College of Engineering.

Autonomous University of Yucatan.

Apartado Postal número 150, Administración número 10 Cordemex, C.P. 97110

P.O. Box 150, Administration number 10 Cordemex, Zip Code 97110

Mérida, Yucatán, México.

mrlemor@yahoo.com

Carlos Arcudia Abad

Ingeniero Químico, M.I.
Profesor, Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Yucatán.
Apartado Postal número 150, Administración número 10 Cordemex, C.P. 97110
P.O. Box 150, Administration number 10 Cordemex, Zip Code 97110
Mérida, Yucatán, México

Chemical Engineer, M.E.
Professor, College of Engineering
Autonomous University of Yucatan
Apartado Postal número 150, Administración número 10 Cordemex, C.P. 97110
P.O. Box 150, Administration number 10 Cordemex, Zip Code 97110
Mérida, Yucatán, México.
aabad@tunku.uady.mx

José González Fajardo

Ingeniero Civil, M.I
Profesor, Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Yucatán
Apartado Postal número 150, Administración número 10 Cordemex, C.P. 97110
P.O. Box 150, Administration number 10 Cordemex, Zip Code 97110
Mérida, Yucatán, México.

Civil Engineer, M.E
Professor, College of Engineering
Autonomous University of Yucatan
Apartado Postal número 150, Administración número 10 Cordemex, C.P. 97110
P.O. Box 150, Administration number 10 Cordemex, Zip Code 97110
Mérida, Yucatán, México.
jagonz@tunku.uady.mx