

Modelo estocástico del aprendizaje de la mano de obra en actividades de colocación de muros en bloques de concreto, en construcción masiva de vivienda en México

Stochastic model of labor learning for concrete block layering activities in massive housing construction in Mexico

Julio Baeza, Carlos E. Arcudia*, Gilberto Corona**

** Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, MÉXICO*

*** School of Engineering, University of Alberta, CANADÁ*

bpereyra@tunku.nady.mx

*Fecha de recepción: 14/10/2003
Fecha de aceptación: 13/03/2003*

Resumen

En este trabajo se describe la manera en la que se aplicó el modelo de Estes para estudiar y simular el aprendizaje de la mano de obra en una tarea específica de construcción. Se presenta el modelo estocástico de dicho autor, para luego aplicarlo utilizando datos de productividad de mano de obra correspondientes a la actividad de elaboración de muros en bloques de concreto, en la construcción masiva de vivienda de interés social, en la ciudad de Mérida, México. Se recopilaron datos de productividad de dicha actividad en 15 casos, involucrando diferentes cuadrillas que trabajaban para diversas compañías. Con los datos recabados se calcularon tanto los valores teóricos, como los promedios reales de las tasas de aprendizaje. Este trabajo concluye que con base en los datos obtenidos, las cuadrillas llegan a tener su productividad máxima a partir del segundo día de haber iniciado la ejecución de la actividad. Asimismo, que la variabilidad entre los niveles de producción de las cuadrillas analizadas no se puede imputar solamente a las destrezas de los individuos, sino a la organización de las cuadrillas, la situación en el sitio de trabajo y la administración de las empresas en las que trabajan.

Palabras Clave: Curva de aprendizaje, modelo William Estes de aprendizaje, colocación de muros en bloques de concreto

Abstract

This work presents how the Estes model was applied for studying and simulating labor learning rates in a specific construction task. The basic theory of this model is presented, and then applied for concrete block layering labor productivity data from massive housing construction in Merida, Mexico. Productivity data from 15 cases of this activity, performed by different crews and companies were compiled. Theoretical and mean values of the learning rate were calculated from the compiled information. This work concludes that with the given information, the crews reach their maximum productivity at the second day of the task execution. Also the variability in the productivity levels is not all due to the individual laborers abilities, but also to the crew organization, the worksite conditions and companies' management.

Keywords: Learning curve, William Estes learning model, concrete blocks layering

1. Introducción

Muchas actividades de la construcción están sujetas a procesos en los que la mano de obra que en ellas interviene adquiere destreza en la ejecución durante el desarrollo del propio trabajo. Esto es conocido como efecto o curva de aprendizaje. Como resultado de este efecto, la productividad de la mano de obra en dichas tareas debe verse incrementada conforme transcurre el tiempo de ejecución.

Si se cuenta con un cierto número de observaciones de una actividad repetitiva, es posible construir un modelo matemático que prediga resultados

equiparables al comportamiento que eventualmente será observado. En la corriente americana de psicología, el trabajo de Clark Hull (Stice, 1980) ha tenido el mayor impacto en el desarrollo de modelos matemáticos del aprendizaje desde mediados de la década de 1950.

Farghal y Everett (1997a) mencionan que la curva de aprendizaje puede ser expresada en términos tanto de horas-hombre, dinero, tiempo, etc., por ciclo de ejecución; dependiendo de como se desee medir. Estos autores mencionan que la manera tradicional para representar la curva de aprendizaje es por dato unitario



(cantidad producida por ciclo de trabajo) o por promedios acumulados (tiempo o costo para completar una actividad). También señalan a las técnicas: de medias móviles y de medias ponderadas exponencialmente, como alternativas viables para representar el comportamiento del aprendizaje. En el referido trabajo, los autores concluyen que las representaciones por dato unitario son las más eficaces para representar resultados de productividad. Farghal y Everett (1997b) utilizaron información de horas hombre por ciclo de repetición, en un total de 60 actividades de construcción, cuyos datos habían sido publicados con anterioridad. Con esta información, se probaron diversos modelos para extrapolar las curvas de aprendizaje. Con base en este análisis, proponen una metodología para predecir, en un momento dado, el costo de completar las tareas que están siendo realizadas, basándose en información previa que ya ha sido recabada durante la etapa inicial de su ejecución.

En el campo de la construcción con elementos repetitivos en Latinoamérica, (Almeida et al., 1998) estudiaron el efecto del aprendizaje en actividades tales como: colocación de cimbras para elementos de concreto, colado de concreto y albañilería, en la región de Curitiba, Brasil. En dicho estudio se menciona que la ausencia del aprendizaje en la mano de obra de construcción se debió principalmente a las discontinuidades propias de los procesos constructivos que se estudiaron.

En la construcción masiva de vivienda de interés social, estudios como los de Pinzón (1995) se centraron en la tarea de capturar los niveles de productividad de mano de obra de la ciudad de Mérida, México, pero de manera particular no se estudió el comportamiento del aprendizaje por parte de la mano de obra, en las actividades de construcción.

Con respecto al proceso mismo del aprendizaje humano Bower y Hilgard (2000) mencionan que William Estes fue quien publicó el primer artículo acerca de la teoría del registro de estímulos (SST, por sus siglas en inglés), también llamada teoría estadística del aprendizaje. Prácticamente todos los modelos generados con posterioridad dentro de esta teoría tratan al aprendizaje y al desempeño de una persona como una probabilidad o un proceso estocástico. Un proceso estocástico es una secuencia de eventos que se pueden analizar en términos de probabilidad. Se han desarrollado diversos modelos específicamente orientados para el cálculo de dichas probabilidades. En este trabajo se utiliza el modelo desarrollado por Estes el cual ha sido difundido por Hilgard y Bower, en el cual se define la probabilidad de obtener un resultado con la siguiente Ecuación 1.

$pn(p1, \theta, n) = 1 - (1 - p1)(1 - \theta)^{n-1}$	(1)
Modelo estocástico de Estes para la predicción de la probabilidad de obtener resultados aprendidos	

Donde:

$pn=$	La probabilidad de obtener un resultado específico, en un intento n
$p1=$	La probabilidad de que en el primer intento se obtenga un cierto valor
$\theta =$	La tasa promedio de aprendizaje, específica para la tarea estudiada
$n=$	La cantidad de repeticiones de una tarea cualquiera

Aunque este modelo surgió del estudio del aprendizaje bajo condiciones de laboratorio, puede ser susceptible de ser aplicado para estudiar el aprendizaje humano en actividades de construcción en campo. En este trabajo se presenta cómo se utilizó el modelo anterior para estudiar y modelar el aprendizaje de una tarea específica de construcción (muros en bloques de concreto), en términos de la productividad acumulada diaria de esta actividad.

2. Metodología

Los valores de la Ecuación 1 para este trabajo se especifican de la misma manera que en los expuestos en la Ecuación, pero ya contextualizados en la actividad de construcción estudiada (muros en bloques de concreto). La Tabla muestra las adecuaciones correspondientes para este estudio:

Tabla 1. Variables de estudio

$pn=$	La probabilidad de obtener una productividad específica, al día n (m^2/hh).
$p1=$	La probabilidad de que en el primer día se obtenga una productividad establecida
$\theta =$	La tasa promedio de aprendizaje, específica para los muros en bloques de concreto
$n=$	La cantidad de días en que la cuadrilla se dedica a la actividad

La metodología que se siguió para este estudio fue la siguiente:

1. Se calcularon los valores teóricos del parámetro θ , para los primeros 15 días en que la cuadrilla se dedicó a dicha actividad
2. Se obtuvieron los valores calculados de pn , utilizando la Ecuación 1, con los valores $p1$ y θ
3. Se recopilaron datos de productividad en construcción de muros en bloques de concreto para viviendas de interés social en la ciudad de Mérida, Yucatán, en un



3. Resultados

período de 10 meses lo que comprendió 15 casos, en cada uno se tomaron datos durante 15 días. Esto involucró a diferentes cuadrillas, así como a varias compañías que en ese tiempo se dedicaban a la construcción de dichas viviendas.

4. Se promediaron los resultados de dichas observaciones en el periodo observado, así como los límites mínimos y máximos de los totales de cada día
 5. Se calculó el valor de θ calculada, a partir de la Ecuación 1.

6. Se obtuvieron los nuevos valores de productividad estimada, con los valores de θ calculada,
 7. Se seleccionó el valor de θ calculada que se aproximaba a las observaciones.

1. Cálculo de los valores teóricos a pn

Obteniendo los valores de la pn en función del número de días que dura la actividad, utilizando la Ecuación 1, se obtienen los valores de la Tabla 2. Dicha Tabla presenta los valores de pn calculados con la Ecuación 1, para una probabilidad inicial de alcanzar la producción óptima de 20% para el primer día ($\theta = 0.20$) y para valores de θ iguales a 0.10, 0.20, 0.30 y 0.40 respectivamente.

2. Cálculo de los valores teóricos de pn

La Figura 1, presenta los valores calculados de pn , obtenidos a partir de la Ecuación 1, con los valores p_1 y θ que se presentaron en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores teóricos de pn , en función de n , p_1 y θ

p_1	pn , según			
	θ			
0.20	0.10	0.20	0.30	0.40
Días (n)	0.10	0.20	0.30	0.40
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	0.20	0.20	0.20	0.20
2	0.28	0.36	0.44	0.52
3	0.35	0.49	0.61	0.71
4	0.42	0.59	0.73	0.83
5	0.48	0.67	0.81	0.90
6	0.53	0.74	0.87	0.94
7	0.57	0.79	0.91	0.96
8	0.62	0.83	0.93	0.98
9	0.66	0.87	0.95	0.99
10	0.69	0.89	0.97	0.99
11	0.72	0.91	0.98	1.00
12	0.75	0.93	0.98	1.00
13	0.77	0.95	0.99	1.00
14	0.80	0.96	0.99	1.00
15	0.82	0.96	0.99	1.00

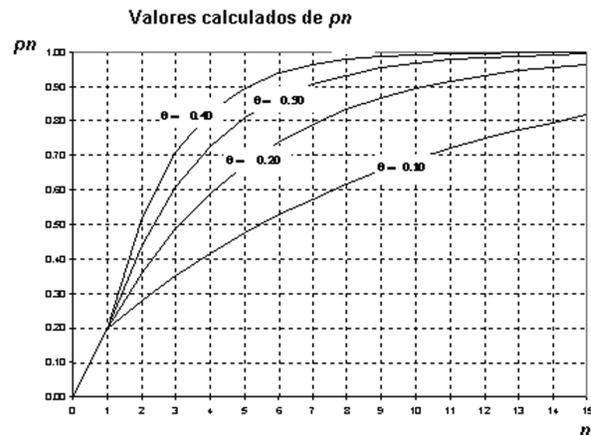


Figura 1. Cálculo de las tasas promedio de aprendizaje para los datos de campo

3. Recopilación de datos de casos productividad en construcción de muros en bloques de concreto para viviendas de interés social en la ciudad de Mérida La Tabla 3 muestran las productividades acumuladas de los 15 casos que se estudiaron para este trabajo. En la segunda columna de la Tabla 3, el número que aparece corresponde a la duración máxima en días, para la actividad de colocación de muros en bloques de concreto, para un caso particular. Se ha resaltado el proyecto (104) con la menor duración total (15 días), con el objeto de analizar la misma cantidad de datos en todos los demás proyectos.

4. Resultados promedio, mínimos y máximos de las observaciones en el periodo de estudio

La Figura 2 presenta una imagen del comportamiento promedio de la productividad, a todo lo largo del periodo comprendido entre 0 y 15 días, para los casos registrados en la Tabla 3:



Tabla 3. Productividad acumulada para los datos de campo, por proyecto

Proyecto	No.	Días														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
101	23	0.57	0.81	0.56	0.70	0.77	0.83	0.91	0.96	0.87	0.91	0.91	0.87	0.90	0.90	0.90
102	42	2.50	2.08	2.08	2.08	2.00	2.07	2.03	2.00	1.85	1.85	1.85	2.05	2.05	2.05	2.05
103	29	1.35	1.36	1.36	1.36	1.62	1.77	1.77	1.77	1.77	1.61	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69
104	15	0.74	1.60	1.60	1.40	1.40	1.38	1.33	1.23	1.23	1.23	1.23	1.22	1.21	1.20	1.19
105	16	0.74	1.34	1.47	1.53	1.55	1.54	1.54	1.44	1.48	1.53	1.58	1.60	1.60	1.59	1.56
106	34	0.79	1.13	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.12
107	28	1.05	0.92	1.05	1.05	0.81	0.82	0.95	1.22	1.35	1.50	1.56	1.62	1.66	1.70	1.68
108	37	1.16	1.29	1.10	1.10	0.90	0.83	0.81	0.87	0.87	0.91	0.91	0.87	0.87	0.89	0.89
109	32	0.93	0.93	1.30	1.27	1.22	1.22	1.23	1.24	1.28	1.20	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23
110	56	1.50	1.32	1.32	1.32	1.22	1.22	1.40	1.37	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34
111	56	0.70	0.69	0.67	0.66	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.75	0.77
112	34	1.17	1.11	1.13	1.02	0.91	0.94	1.03	0.98	0.98	1.03	1.04	1.07	1.06	1.06	1.07
201	30	1.89	1.85	1.84	1.78	1.78	1.30	1.23	1.18	1.20	1.21	1.24	1.26	1.28	1.28	1.27
202	29	0.43	0.71	0.82	0.89	0.92	0.93	0.93	0.92	0.92	0.91	0.92	0.90	0.90	0.89	0.88
301	31	0.42	0.67	0.70	0.71	0.65	0.67	0.71	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.82	0.82
Media (M)		1.06	1.19	1.21	1.20	1.18	1.16	1.18	1.18	1.18	1.19	1.20	1.22	1.22	1.24	1.23
Des. estándar		0.57	0.42	0.43	0.40	0.42	0.40	0.38	0.36	0.35	0.34	0.35	0.39	0.39	0.38	0.38
Mínimo		0.42	0.67	0.56	0.66	0.65	0.67	0.71	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.75	0.77
Máximo		2.50	2.08	2.08	2.08	2.00	2.07	2.03	2.00	1.85	1.85	1.85	2.05	2.05	2.05	2.05
Error estándar		0.15	0.11	0.11	0.10	0.11	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10

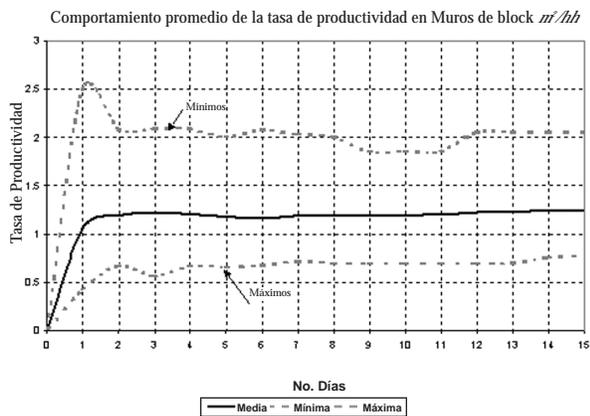


Figura 2. Productividad acumulada promedio de los datos estudiados (Tabla 3)

5. Cálculo de los valores promedio de θ

Para calcular los valores de tasa de aprendizaje θ , es necesario primero despejarla de la Ecuación 1. Dicho proceso da como resultado la expresión mostrada en la Ecuación 2.

$$\theta(p_n, p_1, n) = 1 - e^{-\frac{\ln\left(\frac{p_n-1}{p_1-1}\right)}{n-1}} \quad (2)$$

Cálculo de la tasa de aprendizaje, en función de p_1 , p_n y n , a partir de la Ecuación 1

Se debe de hacer notar que para calcular los valores de θ utilizando la Ecuación 2, se requiere proporcionar los valores de p_n y p_1 .

Para estimar los posibles valores de θ , p_n se definió como el resultado de dividir la productividad acumulada del día n , entre el valor del Horizonte Estimado de la Productividad (HEP, en la Tabla 4). Para este caso, se definió que HEP fuera el último valor de la productividad promedio (la productividad promedio a los 15 días). Esto dio como resultado un HEP igual a $1.23 \text{ m}^2/\text{hh}$. El parámetro p_1 resultó ser una variable libre, por lo que se estudiaron cuatro posibles valores de la misma: 0.65, 0.70, 0.75 y 0.80 respectivamente. En sí, el valor de θ promedio para cada valor posible de p_1 estudiada, sería el promedio de todos los resultados de la Ecuación 2 para cada día (n), durante el lapso estudiado (15 días). Sin embargo, observando de manera detenida la Figura 2, después del día 3 prácticamente la variación de la productividad acumulada de un día con respecto a los días subsecuentes, es mínima. Así pues, se decidió que θ fuese el promedio de los tres primeros resultados posibles de la Ecuación (la cual está definida a partir del día 2), para cada valor de p_1 . Los resultados del



análisis anterior se muestran en la Tabla 4 .
 6. Valores de productividad estimada, con base en la θ calculada

Para predecir los valores de la probabilidad de obtener un resultado de productividad acumulada específica (pn), basta utilizar de nuevo la Ecuación 1, pero con los valores de θ obtenidos en la sección anterior. Pero a diferencia del proceso anterior, en este caso la variable libre será $p1$. Recuérdese que en la sección anterior, se consideró que θ fuese el promedio de los tres primeros resultados posibles de la Ecuación 2, que a su vez está definida a partir del día 2. En los datos de la productividad acumulada promedio para todos los casos estudiados con respecto al HEP elegido para el segundo día es igual a 0.82. Dicho valor se tomó como el valor correspondiente a $p1$. Para este trabajo, se consideró también un valor $p1$ igual a 0.84. Los valores para el cálculo de la pn predicha se obtuvieron utilizando la Ecuación 1.

$$\text{Productividad Acumulada Esperada} = \text{HEP } p1 \lambda(p1, \theta, n) \quad (3)$$

Donde:

HEP=	El Horizonte Estimado de Productividad
$p1 \lambda(p1, \theta, n)$	Los valores de pn , calculados utilizando la Ecuación (1)

7. Ajuste de los valores de θ estimada, contra las observaciones de campo

Los resultados de estas suposiciones se muestran en la Tabla 5. El suponer que $p1$ es igual al 82 u 84% de la productividad global resulta de asumir que la productividad de la mano de obra en esta actividad es muy cercana a la productividad máxima, desde el primer día de desarrollo de la actividad. La Tabla 6 muestra los resultados del modelo, para valores de $p1$ de 0.82 y 0.84, y de 0.35, así como su diferencia con respecto a los datos observados. El mejor ajuste en términos de valor absoluto es $p1=0.84$, con una tasa de aprendizaje $\theta=0.35$.

Tabla 4. Valores estimados de θ promedios

Días (n)	Promedio (M)	pn (M HEP)	p1			
			0.65	0.70	0.75	0.80
1	1.06	0.74	-	-	-	-
2	1.19	0.82	0.50	0.41	0.30	0.12
3	1.21	0.84	0.33	0.27	0.20	0.11
4	1.20	0.84	0.22	0.18	0.13	0.06
5	1.18	0.82	0.15	0.12	0.07	0.02
6	1.16	0.81	0.11	0.08	0.05	0.01
7	1.18	0.82	0.09	0.08	0.05	0.02
8	1.18	0.82	0.08	0.07	0.05	0.02
9	1.18	0.82	0.07	0.06	0.04	0.01
10	1.19	0.82	0.07	0.06	0.04	0.01
11	1.20	0.84	0.07	0.06	0.04	0.02
12	1.22	0.85	0.07	0.06	0.04	0.02
13	1.22	0.85	0.07	0.06	0.04	0.02
14	1.24	0.86	0.07	0.06	0.04	0.03
15	1.23	0.85	0.06	0.05	0.04	0.02
θ Promedio			0.35	0.29	0.21	0.10



Tabla 5. Productividad predicha, en función de θ y $p1$

Días (n)	$p1 = 0.82$				$p1 = 0.84$			
	Predicha				Predicha			
	θ				θ			
	0.35	0.29	0.21	0.10	0.35	0.29	0.21	0.10
1	1.03	1.03	1.03	1.03	0.84	0.84	0.84	0.84
2	1.10	1.09	1.08	1.05	0.90	0.89	0.87	0.86
3	1.15	1.13	1.11	1.07	0.93	0.92	0.90	0.87
4	1.18	1.16	1.13	1.09	0.96	0.94	0.92	0.88
5	1.20	1.18	1.15	1.10	0.97	0.96	0.94	0.89
6	1.21	1.19	1.17	1.11	0.98	0.97	0.95	0.90
7	1.22	1.21	1.18	1.12	0.99	0.98	0.96	0.91
8	1.22	1.21	1.19	1.13	0.99	0.99	0.97	0.92
9	1.22	1.22	1.20	1.14	0.99	0.99	0.98	0.93
10	1.23	1.22	1.21	1.15	1.00	0.99	0.98	0.94
11	1.23	1.22	1.21	1.16	1.00	0.99	0.98	0.94
12	1.23	1.23	1.22	1.17	1.00	1.00	0.99	0.95
13	1.23	1.23	1.22	1.17	1.00	1.00	0.99	0.95
14	1.23	1.23	1.22	1.18	1.00	1.00	0.99	0.96
15	1.23	1.23	1.22	1.18	1.00	1.00	0.99	0.96

Tabla 6. Aproximación del modelo a la productividad observada, para dos valores de θ y $p1$

Días (n)	pn Calculada	$p1 = 0.82 @ \theta = 0.35$			pn Calculada	$p1 = 0.84 @ \theta = 0.35$		
		Productividad				Productividad		
		Predicha (Ec. 1)	Observada (M)	Desviación		Predicha (Ec. 1)	Observada (M)	Desviación
0	0.000	0.000	0.000	0.00%	0.000	0.000	0.000	0.00%
1	0.820	1.009	1.063	5.34%	0.840	1.034	1.063	2.83%
2	0.883	1.086	1.186	9.19%	0.896	1.102	1.186	7.60%
3	0.924	1.137	1.211	6.56%	0.932	1.147	1.211	5.59%
5	0.950	1.169	1.203	2.91%	0.956	1.176	1.203	2.31%
6	0.968	1.191	1.176	-1.28%	0.971	1.195	1.176	-1.65%
7	0.979	1.205	1.160	-3.72%	0.981	1.208	1.160	-3.95%
8	0.986	1.214	1.183	-2.54%	0.988	1.216	1.183	-2.69%
9	0.991	1.220	1.183	-2.99%	0.992	1.221	1.183	-3.09%
10	0.994	1.224	1.180	-3.54%	0.995	1.224	1.180	-3.60%
11	0.996	1.226	1.186	-3.29%	0.997	1.227	1.186	-3.34%
12	0.998	1.228	1.204	-1.90%	0.998	1.228	1.204	-1.93%
13	0.998	1.229	1.218	-0.84%	0.999	1.229	1.218	-0.85%
14	0.999	1.229	1.223	-0.50%	0.999	1.230	1.223	-0.51%
15	0.999	1.230	1.237	0.59%	0.999	1.230	1.237	0.58%
16	1.000	1.230	1.231	0.04%	1.000	1.230	1.231	0.04%
				0.25%				0.17%

4. Discusión

Se puede observar de las gráficas, que prácticamente se tiene la productividad máxima entre el primer y segundo día de haber iniciado la actividad de la cuadrilla. De hecho, la actividad que se observó (muros en bloques de concreto) es una de las que en las cuadrillas de la localidad se concentran más en su hechura. Esto se debe a que históricamente, esta actividad es una de las que más ganancias retribúan a los obreros, por lo que las cuadrillas están más adiestradas y más interesadas en realizarla. A diferencia de Almeida (1998), la atención se centró más en la observación de las cuadrillas, que en el desarrollo de la actividad. Si a esto se suma que la actividad de muros es una de las más solicitadas por las cuadrillas, éstas procurarán realizar de manera más continua dicha actividad. Esto disminuye la posibilidad de tener interrupciones de la actividad, aunque muchas otras actividades pueden sufrir de baja productividad debido a esta práctica.

Previamente se había mencionado que Farghal y Everett (1997a y 1997b) plantean que la curva de aprendizaje puede ser expresada en términos generales como cantidad de recursos invertidos en la actividad por ciclo de ejecución. En el caso de este trabajo, se utilizó el esquema de unidad de trabajo por recursos invertidos. Se podría pensar que es una manera diferente de medir la productividad; sin embargo, no es la única diferente pues Solís et al., (2001), miden la productividad como la cantidad de recursos humanos (medida como el total de horas hombre en una jornada de trabajo), dividida entre el total de producción de la cuadrilla en la jornada de trabajo. Ambas medidas dan como resultado que en la productividad resultante se mida de manera implícita al ciclo de trabajo en jornadas.

Se tiene que hacer notar también que debido a las experiencias de las cuadrillas en el desarrollo de tareas como la estudiada en este trabajo, en obras previas, el tiempo que emplean al retomar la actividad está más concentrado en adecuar sus procedimientos. También, los obreros pueden emplear más o menos tiempo de obra en obra, en organizarse internamente y adaptarse a las condiciones físicas de los nuevos lugares de trabajo, así como en ajustarse a las condiciones laborales predominantes que las empresas imponen en los sitios de las obras.

La amplia variabilidad que se encuentra inherente en los datos (Figura 2) también revela que existen diferentes niveles de productividad, para un día cualquiera. En otras palabras, para un día determinado,

se pueden observar diferentes valores de producción por hora de trabajo empleada por el obrero. Lo anterior podría significar que entre las cuadrillas observadas, existen diferentes niveles de destrezas. Sin embargo, debido a que las curvas de dichas cuadrillas tienden a un nivel constante entre el primero y tercer día y no existen aumentos en la productividad a partir de este punto, se puede pensar que los obreros ya se encuentran trabajando al máximo de sus destrezas personales. Esto obliga a observar que la manera en la que una cuadrilla podría mejorar su productividad recaería no tanto en mejorar las destrezas de los obreros en la actividad per se, sino más bien en mejorar la organización interna de las cuadrillas, así como las condiciones de trabajo. Como ejemplo se puede citar a Solís et al., (2001), quienes concluyeron que existen diferencias significativas en el desempeño de los trabajadores si la empresa implementa o no un sistema de control de suministro de materiales adecuado.

5. Conclusiones

En este estudio se observó que en el desarrollo de la actividad de colocación de muros en bloques de concreto, los valores de los parámetros para el modelo de William Estes que más se apegan a los datos son de $\theta = 0.35$ y $p1 = 0.84$. Lo anterior produce que el modelo prediga una productividad máxima a partir del segundo día de trabajo, para los valores promedio de los datos recabados.

Lo anterior no se puede generalizar para todos los casos ya que existe una gran variabilidad entre ellos. Como se discutió anteriormente, se tiene que tener presente que en el desarrollo de la actividad de muros en bloques de concreto existen componentes extrínsecos al desempeño personal del obrero, a los cuales se tiene que prestar mayor atención: las condiciones del sitio de obra, la organización del trabajo de la propia cuadrilla y por la manera como la empresa administra el trabajo.

6. Agradecimientos

Este trabajo fue realizado con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), proyectos U-33335 y SISIERRA-990401.



7. Referencias

- Almeida, F. M., de, Jüngles, A. E., Panzeter, A. A. (1998), *"Estudo da evolução da produtividade no canteiro de obras sob a ótica do efeito aprendizado"*, Congreso Latino-Americano, *Tecnología y Gestión en la Producción de Edificios: Soluciones para el Tercer Milenio*, Mayo.
- Bower, G. H., Hilgard, E. R. (2000), *"Teorías del Aprendizaje"*, Ed. Trillas, 2da edición, 7ª reimpresión.
- Fargal, S. H., Everett, J. (1997a), *"Data Representation for Predicting Performance with Learning Curves"*, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 123, No1, Marzo.
- Fargal, S. H., Everett, J. (1997b), *"Learning Curves: Accuracy in Predicting Future Performance"*, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 123, No1, Marzo.
- Pinzón, B., J., M. (1995), *"Estudio de Rendimientos de Mano de Obra en la Construcción de Viviendas de Interés Social"*, tesis de maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, 1995.
- Stice, J.E. (1980), *"Some Observations of Human Learning: The Numbers Game"*, *Engineering Education*, dic.
- Solís, R. G., Arcudía, C., E., González, J., A. (2001), *"Modelo de los factores para el estudio de la productividad en la construcción masiva de vivienda"*, *Revista Ingeniería de Construcción*, Vol. 16, No 1, Enero-Junio.