

Las curvas de aprendizaje en los procesos de construcción

José Grajales, Francisco Alonso, Iveth Samayoa y José Castellanos

J. Grajales, F. Alonso, I. Samayoa y J. Castellanos
Fac. de Ing. Universidad Autónoma de Chiapas
marinj@unach.mx

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2014.

Abstract

The phenomenon of learning was first expressed mathematically in 1936 by T. P. Wright. He observed in the aircraft industry that certain costs per unit tend to decrease in a predictable pattern as the workers become more familiar with the work.

Studies have shown that the change in cost associated with a change in productivity has, in many situations, a characteristic curve that can be estimated with reasonable accuracy. This is called the learning curve or experience curve. The underlying phenomenon is that skill and productivity in performing tasks improve with experience and practice and there are a number of different ways of plotting this relationship that facilitate mathematical analysis.

A first attempt to quantify the effect of repetition in building was made in an enquiry undertaken between 1960 and 1962 by the United Nations' Economic Commission for Europe. This article tries to spread the principle of learning curves and their application in the construction industry to improve productivity.

6 Introducción

La curva de aprendizaje es una herramienta analítica que puede utilizarse para estimar la tasa a la cual la experiencia acumulada permite a los trabajadores hacer las tareas más rápido y al menor costo. En la administración de proyectos, se emplean las curvas de aprendizaje para estimar cuántas repeticiones de una tarea permitirá reducir la cantidad de recursos requeridos para una tarea en especial. Una curva de aprendizaje es definida por una ecuación que contiene la tasa de mejora (reducción de costos o reducción de tiempos) en la realización de una tarea como una función de las repeticiones acumuladas de la tarea.

Como hipótesis de trabajo se puede plantear que las curvas de aprendizaje pueden también ser aplicadas en la construcción como una manera de mejorar los procesos de construcción con el consiguiente ahorro de recursos y mejorar la productividad; en el sector no es fácil, ya que existe una gran diversidad en materiales, procesos de construcción y equipos; además de las diferencias en eficiencia de la mano de obra. Sin embargo, un estudio de los procedimientos de construcción en un lugar específico, con materiales de la región y con procedimientos estándar de algunas actividades de un proyecto, puede ser muy importante desde que se pueden establecer tiempos de ejecución que permitirán emitir un juicio acerca de la productividad real. De manera que en forma inicial se define el concepto de las curvas de aprendizaje, sus características y los métodos existentes de aplicación. Luego, se establece una metodología de su aplicación a un proyecto de ingeniería civil y finalmente se concluye con algunas pautas para mejorar la productividad en la construcción.

Curvas de aprendizaje, definición y características

Una curva de aprendizaje es una línea que muestra la relación existente (función) entre el tiempo (o costo) de producción por unidad y el número de unidades de producción consecutivas.

En la tabla 6 se presentan los tipos de aprendizaje y en la tabla 6.1 los métodos de aplicación con un ejemplo.

Tabla 6 Los tipos de aprendizaje

Tipos de aprendizaje	Definición	características
Individual	Es la mejora que se obtiene cuando las personas repiten un proceso y adquieren habilidad y eficiencia a partir de su propia experiencia	Selección correcta de los trabajadores Capacitación adecuada Motivación Especialización del trabajo
Organizacional	Mejora de la organización a partir de los conocimientos sobre su tecnología, su estructura y sus procedimientos de operación	Depende del aprendizaje individual de los elementos de la organización

Tabla 6.1 Los métodos de aplicación

Método	Ecuación	Parámetros
Aritmético	$T_{2N} = L * TN$	= Tiempo a establecer para xx unidad duplicada, horas L = Coeficiente de aprendizaje TN = Tiempo de la unidad anterior
Logarítmico	$T_N = T_1 N \log L / \log 2$	= Tiempo a establecer para xx unidad, horas = Horas para producir la primera unidad N = xx unidad = Logaritmo del coeficiente de aprendizaje log 2 = Constante
Coeficiente de la curva de aprendizaje	$T_N = T_1 C$	TN = Número de unidad a determinar T1 = Horas para producir la primera unidad Coeficiente de la curva de aprendizaje

Ejemplo

Como una iniciativa de infraestructura, se pretende construir 32 canchas de fútbol de salón y se está planeando el tiempo en horas-hombre para evaluar los costos de mano de obra que representará la construcción de cada cancha.

Las proyecciones de ingeniería según su experiencia indican que se tardará un total de 6000 horas-hombre para construir cada cancha; los trabajos incluyen nivelación, compactación, piso de concreto, malla perimetral, graderías y un parque infantil a un costado. Debido a que el personal no tienen experiencia en este tipo de proyectos se ha estimado un porcentaje de eficiencia del 85 % para la segunda cancha, ya que se conformarán cuatro equipos de 8 trabajadores cada uno al inicio del proyecto, para construir 4 canchas al mismo tiempo.

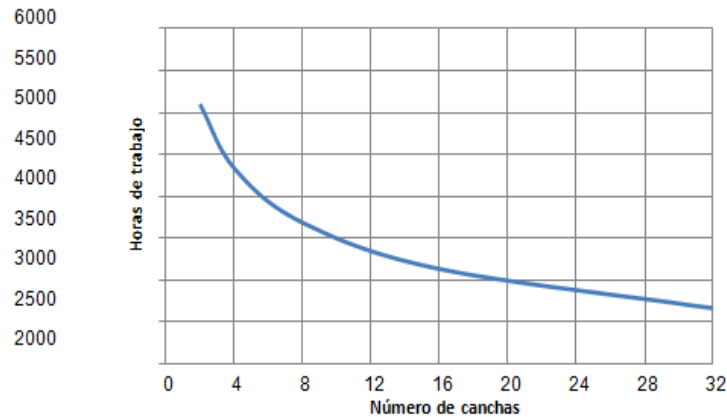
Sin embargo, se pretende que cuando construyan la 3ª. cancha, cada equipo tenga únicamente 6 trabajadores y 24 en total en el proyecto, aprovechando la habilidad y eficiencia que se logre con la construcción de la 2ª. cancha.

El método aritmético $T_{2N} = L * TN$ (solo funciona con valores duplicados)

Tabla 6.2 Cálculos con el método aritmético

	2ª. cancha	4ª. cancha	8ª. cancha	16ª. cancha	32ª. cancha
T2N para	2	4	8	16	32
L	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
TN	6000	5100	4335	3684.75	3132.04
T	5100	4335	3684.75	3132.04	2662.23

La curva de aprendizaje se muestra en la figura 6:

Figura 6 Curva de aprendizaje

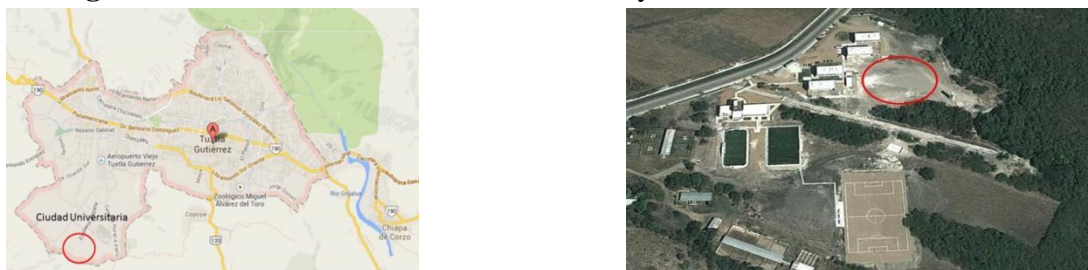
Metodología

A efecto de desarrollar una metodología para utilizar las curvas de aprendizaje, se seleccionó un proyecto actualmente en construcción, que permitiera recopilar la información pertinente para el análisis. Este proyecto es el Edificio Tipo U-3C propiedad de la UNACH y que está situado en la Ciudad Universitaria.

Características

Descripción	Edificio de 2 niveles y planta baja a base de marcos rígidos, para aulas didácticas, cubículos de docentes, sala de usos múltiples, sanitarios y oficinas.
Nombre de la	edificio "E" tipo U-3C de 09 E.E.
Localidad	La obra se encuentra situada en el Rancho San Francisco, propiedad de la Universidad Autónoma de Chiapas, sobre la carretera Emiliano Zapata, Km. 8.5, en Terán, Municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
Adjudicación	Licitación Pública Nacional
Período de	25 de Febrero de 2013 al 24 de Julio de 2013

Ubicación

Figura 6.1 Localización en Tuxtla Gutiérrez y en Ciudad Universitaria

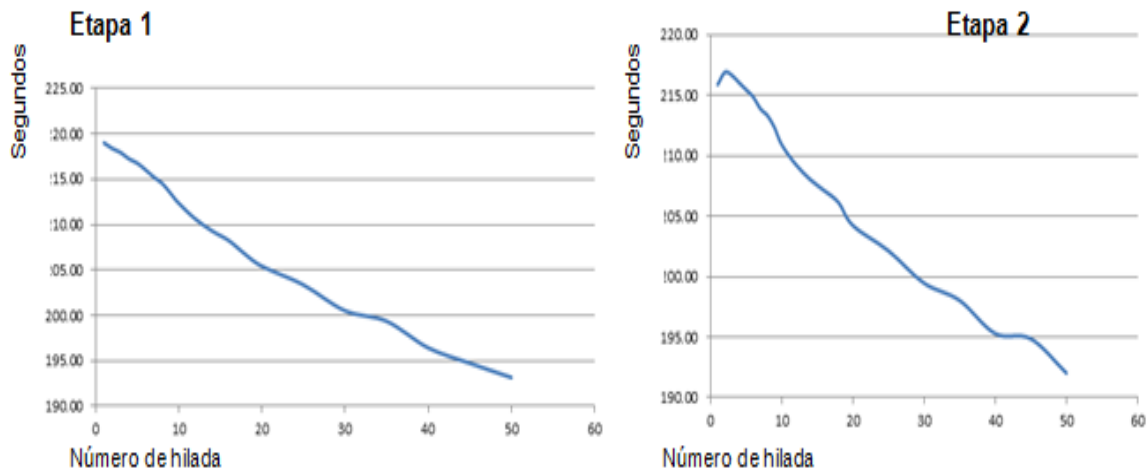
Metodología de curvas de aprendizaje

En la tabla se describen las etapas de la metodología que se sugiere para realizar un análisis de las curvas de aprendizaje en la construcción:

Tabla 6.3 Etapas para el análisis de curvas de aprendizaje

Elaboración del diagrama de procesos	Con la información de la obra, se elabora el diagrama de procesos, en primer lugar para partidas, y en segundo lugar, por actividades de la partida a medir.																																																		
Selección de las actividades de estudio	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Código</th> <th>Actividad</th> <th>Unidad</th> <th>Cantidad</th> <th>Duración</th> <th>Período de ejecución</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A01</td> <td>Muro</td> <td>M2</td> <td>792</td> <td>20 días</td> <td>080313-270313</td> </tr> <tr> <td>A02</td> <td>Aplanado</td> <td>M²</td> <td>1500</td> <td>23 días</td> <td>040413-270413</td> </tr> </tbody> </table>	Código	Actividad	Unidad	Cantidad	Duración	Período de ejecución	A01	Muro	M2	792	20 días	080313-270313	A02	Aplanado	M ²	1500	23 días	040413-270413																																
Código	Actividad	Unidad	Cantidad	Duración	Período de ejecución																																														
A01	Muro	M2	792	20 días	080313-270313																																														
A02	Aplanado	M ²	1500	23 días	040413-270413																																														
Determinación de los ciclos del proceso para el muro de tabique	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Colocación de cuerda</th> <th>Colocación de mezcla</th> <th>Colocación de tabique</th> <th>Limpieza de rebaba de mezcla</th> <th>Colocación de mezcla</th> <th>Colocación de tabique</th> <th>Limpieza de rebaba de mezcla</th> <th>Colocación de mezcla</th> <th>Colocación de tabique</th> <th>Limpieza de rebaba de mezcla</th> <th>Colocación de mezcla</th> <th>Colocación de tabique</th> <th>Limpieza de rebaba de mezcla</th> </tr> <tr> <th>Ciclo</th> <th>Ciclo</th> <th>Ciclo</th> <th>Ciclo</th> <th>Ciclo</th> <th>Ciclo</th> <th>Ciclo</th> <th>Ciclo</th> <th>Ciclo</th> <th>Ciclo</th> <th>Ciclo</th> <th>Ciclo</th> <th>Ciclo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>13</td> </tr> </tbody> </table>	Colocación de cuerda	Colocación de mezcla	Colocación de tabique	Limpieza de rebaba de mezcla	Colocación de mezcla	Colocación de tabique	Limpieza de rebaba de mezcla	Colocación de mezcla	Colocación de tabique	Limpieza de rebaba de mezcla	Colocación de mezcla	Colocación de tabique	Limpieza de rebaba de mezcla	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13											
Colocación de cuerda	Colocación de mezcla	Colocación de tabique	Limpieza de rebaba de mezcla	Colocación de mezcla	Colocación de tabique	Limpieza de rebaba de mezcla	Colocación de mezcla	Colocación de tabique	Limpieza de rebaba de mezcla	Colocación de mezcla	Colocación de tabique	Limpieza de rebaba de mezcla																																							
Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo	Ciclo																																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13																																							
Determinación del tamaño de la muestra	<p>Se seleccionó un tamaño de muestra:</p> $n = (z\sigma/d)^2$ <p>donde Z= 1.96, $\sigma = 0.18$, $d = 0.05$; $n = 49.78 = 50$</p> <p>Se utilizó el formato:</p>																																																		
Registro de los trabajadores																																																			
Registro de los tiempos de ejecución	<p>Fecha: 12 de Agosto de 2013.</p> <p>Hora: 9:20 hrs.</p> <p>Registro de tiempo de ejecución</p>																																																		
Determinación de los tiempos normal y estándar	<table border="1"> <tr> <td>Empresa constructora</td> <td colspan="2">Construcciones X</td> </tr> <tr> <td>Lugar y fecha</td> <td colspan="2">12-08-13. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">DATOS PERSONALES</td> </tr> <tr> <td>Nombre del trabajador</td> <td>Pedro Hernández López</td> <td>209.61</td> </tr> <tr> <td>Edad</td> <td>25 años</td> <td>219.65</td> </tr> <tr> <td>Lugar de procedencia</td> <td>Ocozacoauca, Chis.</td> <td>193.79</td> </tr> </table> <p>Clasificación mejora del desempeño 11.77%</p> <p>Tiempo normal 234.38</p> <p>Tiempo estándar 288.29</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Producción (Hiladas)</th> <th>Ciclo 1</th> <th>Ciclo 2</th> <th>Ciclo 3</th> <th>Ciclo 4</th> <th>Ciclo 5</th> <th>Ciclo 6</th> <th>Ciclo 7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>107.22</td> <td>15.23</td> <td>7.06</td> <td>6.41</td> <td>14.56</td> <td>6.91</td> <td>6.40</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>107.15</td> <td>15.11</td> <td>7.04</td> <td>6.40</td> <td>14.43</td> <td>6.89</td> <td>6.41</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>107.03</td> <td>15.08</td> <td>7.02</td> <td>6.41</td> <td>14.42</td> <td>6.89</td> <td>6.41</td> </tr> </tbody> </table>	Empresa constructora	Construcciones X		Lugar y fecha	12-08-13. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas		DATOS PERSONALES			Nombre del trabajador	Pedro Hernández López	209.61	Edad	25 años	219.65	Lugar de procedencia	Ocozacoauca, Chis.	193.79	Producción (Hiladas)	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	1	107.22	15.23	7.06	6.41	14.56	6.91	6.40	2	107.15	15.11	7.04	6.40	14.43	6.89	6.41	3	107.03	15.08	7.02	6.41	14.42	6.89	6.41
Empresa constructora	Construcciones X																																																		
Lugar y fecha	12-08-13. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas																																																		
DATOS PERSONALES																																																			
Nombre del trabajador	Pedro Hernández López	209.61																																																	
Edad	25 años	219.65																																																	
Lugar de procedencia	Ocozacoauca, Chis.	193.79																																																	
Producción (Hiladas)	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7																																												
1	107.22	15.23	7.06	6.41	14.56	6.91	6.40																																												
2	107.15	15.11	7.04	6.40	14.43	6.89	6.41																																												
3	107.03	15.08	7.02	6.41	14.42	6.89	6.41																																												

Finalmente, las curvas de aprendizaje promedio

Grafico 6 Curvas de aprendizaje promedio

La diferenciación entre etapa 1 y etapa 2 se refiere a que en la etapa 1 se calcularon curvas de aprendizaje con la información tal como se registraban en la lectura de tiempos, a diferencia de la etapa 2 en que previamente hubo un proceso de capacitación de los trabajadores, la cual estuvo a cargo del maestro encargado de obra, junto con el residente de obra. La capacitación fue verbal en cuanto a las explicaciones y visual en cuanto a la descripción del trabajo y lectura de planos. Esta capacitación se realizó durante 10 minutos al inicio del día de labores.

6.1 Análisis de resultados

Después de la capacitación se repitió la metodología de las curvas de aprendizaje, obteniéndose la curva de aprendizaje promedio (etapa 2), al comparar las curvas se observó que había ocurrido una disminución de los tiempos, por lo que este resultado es consistente con el principio de las curvas de aprendizaje en cuanto a que existe una disminución de los tiempos, ya sea por repetición de la actividad o como consecuencia de la capacitación.

También se observó que la experiencia laboral no es factor para el aumento o disminución de la tasa de aprendizaje.

No se observa ninguna relación entre el número de años laborando y el aprendizaje observado en la actividad. Tampoco se observa una relación entre la escolaridad y el aprendizaje.

Tanto los trabajadores que únicamente tienen primaria, como los trabajadores que tienen secundaria, tienen tasas de aprendizaje distintas.

En el grado de primaria hay valores máximos de 97.04% y mínimo de 95.43%, y el grado de escolaridad de secundaria hay valores máximos de 97.35% y 95.13%.

6.2 Conclusiones

A manera de conclusión se pueden hacer varias, acerca de las ventajas de hacer estudios de las curvas de aprendizaje; se pueden identificar como de tipo interno, al decir que permite establecer estándares de mano de obra, que es un paso importante hacia la profesionalización de las actividades de mano de obra y a la a la facilidad de establecer los costos de mano de obra y los presupuestos, contribuyendo a la asignación de recursos y a la programación.

De aplicación externa se puede considerar la subcontratación, que facilitaría el benchmarking (comparar con empresas constructoras líderes en alguna tecnología o proceso y analizar la conveniencia de contratar esa tecnología), con muy poco margen de error en el costo de la subcontratación. Estratégicamente, puede determinar los cambios volumen-costo de las cantidades de obra y a evaluar la actuación de la empresa y de la industria de la construcción.

6.3 Referencias

Meredith, Jack R. & Mantel, Samuel J. 4a. edición, 2000. *Project Management. A Managerial Approach*. John Wiley & Sons, U. S. A.

Kerzner, Harold. 1998. *Project Management. A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling*. John Wiley & Sons, U. S. A.

Moder, Joseph J; Phillips, Cecil R. & Davis, Edward W. 3a. edición, 1995. *Project Management with CPM, PERT and Precedence Diagramming*. Blitz Publishing Company, U. S. A.

Ritz, George. 1994. *Total Construction Project Management*. McGraw-Hill, U. S. A.

Uriegas Torres, Carlos. 2003. *El Sistema de Gerencia de Proyectos*. Una Vuelta y un Frente, México, D. F.

Klastorin, Charles. 2003. *Administración de proyectos*. Editorial Alfa y Omega, S. A. de C. V. Halpin, Daniel W. 3ª. Edición, 2006. *Construction Management*. John Wiley & Sons, Inc.