

# **Metodología basada en las curvas de aprendizaje para mejorar los procesos de construcción. Estudio de caso: Construcción de muros.**

**Omar Antonio de la Cruz Courtois\***

*Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias en Física y Matemáticas, México*

*Fecha de recepción: 01 de julio de 2019 - Fecha de aceptación: 30 de agosto de 2019*

## **Resumen**

Dentro de la industria en general, siempre se ha buscado la forma de maximizar las ganancias a través de técnicas de optimización. En la ejecución de las actividades que en conjunto forman un proceso existen desperdicios, que a la larga producen pérdidas en menor o mayor cantidad. Lo que se pretende es disminuir estos desperdicios, a fin de que con la cantidad mínima de recursos se logre una mayor producción. La industria de la construcción produce una gran cantidad de dichas pérdidas, ya sea por malos procesos constructivos, por mal manejo de personal y mano de obra, por desperfectos en herramienta y equipo, o por mala distribución y empleo en los materiales. Todos estos factores hacen que la empresa pueda generar pérdidas en sus ganancias o en un caso no tan drástico, tener pocas ganancias. El presente trabajo, plantea una nueva metodología para estudiar la productividad a partir de las curvas de aprendizaje, las cuales ya se han empleado en otras áreas de la ingeniería, pero aún no en la construcción, y de esta forma, enmarcar las pautas necesarias para mejorar los procesos constructivos a partir de la mitigación de desperdicios en la mano de obra. El análisis abarca el proceso de la elaboración del muro de tabique, pero este se puede extrapolar a otras actividades del proceso constructivo. Además que se estudia la correlación entre la edad, escolaridad y experiencia laboral en el proceso de aprendizaje, y cómo estos factores afectan la capacitación de un operario, estableciendo curvas de aprendizaje antes y después de una actividad de enseñanza. El presente trabajo desarrolló una metodología para determinar el porcentaje de aprendizaje de un trabajador en dos etapas: antes y después de la capacitación y obtuvo índices cuantitativos que relacionan el aprendizaje con la edad, la escolaridad y la experiencia laboral.

**Palabras clave:** aprendizaje, experiencia, escolaridad, diagrama de procesos, mano de obra.

## **Methodology based on learning curves to improve construction processes. Case study: Wall construction.**

### **Abstract**

Within the industry in general, the way to maximize rewards has always been sought through optimization techniques. In the execution of the activities that together form a process there are waste, which in the long run produce losses in smaller or greater quantities. What is intended is to

[\\*Courtois31415927@hotmail.com](mailto:Courtois31415927@hotmail.com)

Nota: Este artículo de investigación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Vol. 24, No. 2, 2020, ISSN: 2448-8364

reduce these wasted, so that with the minimum amount resources is achieved greater production. The construction industry is one of those that produce a large amount of such losses, either due too poor construction processes, poor management of personnel and workmanship, damage to tools and equipment, or poor distribution and use of materials. All these factors mean that the company can generate losses in its rewards or in a not so drastic case, have few rewards. The present work, proposes a new methodology to study the productivity from the learning curves, which have already been used in other areas of engineering, but not yet in construction, and in this way, to frame the necessary guidelines to improve the constructive processes from the mitigation of waste in the workforce. The analysis covers the process of the construction of the partition wall, but this can be extrapolated to other activities of the construction process. In addition, we study the correlation between age, schooling and work experience in the learning process, and how these factors affect the training of an operator, establishing learning curves before and after a teaching activity. The present work developed a methodology to determine the percentage of learning of a worker in two stages: before and after training and obtained quantitative indexes that relate learning to age, schooling and work experience.

**Keywords:** learning, experience, schooling, process diagram, workforce

## Introducción

En la actualidad existen diversas técnicas que permiten administrar de manera correcta una empresa constructora a fin de tener un control ordenado en el manejo de los recursos (Certo, 2000), las cuales se reflejan en el control de calidad en los materiales, manejo de personal y los mantenimientos de equipo y herramienta (Ellinger, 2002). La influencia que una empresa constructora tiene sobre los materiales es limitada, y en ocasiones sólo se conocen los bancos de extracción de mayor calidad; en tanto que el equipo y herramienta, se pueden inspeccionar y evaluar periódicamente, para tenerlos en buen estado (Osterloh, 2000). Esto nos deja únicamente, el control en la mano de obra en campo o el manejo de personal en oficina; es precisamente en este punto, en donde se encuentra la mayor cantidad de desperdicios en la ejecución de la obra. Esta cantidad dependerá de qué tan capacitado se encuentre el personal, es por ello que la experiencia laboral será un reflejo de las instrucciones previas que reciban los trabajadores, y por ello, la capacitación adquiere una gran importancia en el proceso constructivo.

## Antecedentes

El modelo de las curvas de aprendizaje fue reportado por primera vez por Theodore Paul Wright en 1936 (Alvarado, 2003). Wright observó el fenómeno que cuando la cantidad de unidades producidas se duplicaba, entonces el número directo de horas laboradas para producir una unidad individual decrecía en forma uniforme. Montgomery y Searle en 1943 utilizaron las curvas de aprendizaje en la construcción de barcos para la segunda guerra mundial (Benavides, 2001). En 1936 Alchian utilizó las curvas de aprendizaje para la producción de aeroplanos y en 1956, Asher estudió las curvas de aprendizaje en la aeronáutica (Speelman, 2008). Además, Carlson en 1961, estudió la geometría de las curvas de aprendizaje y recopiló los modelos logarítmico-lineal, plano, Stanford-B, De Jong y modelo S. Así, diversas empresas comenzaron a utilizar las curvas de aprendizaje, tales como Ford y General Electric, así como sectores industriales como producciones de acero, montaje de aviones, circuitos integrados, calculadoras de mano y controladores de computadora (Speelman, 2008). Las curvas de aprendizaje se han utilizado en diferentes áreas de la ingeniería,

pero es relativamente nuevo en el campo de la ingeniería civil. Emir desarrolló algoritmos para el análisis de la productividad a partir de las curvas de aprendizaje (Emir, 1999). Malyusz trabajó sus efectos en el área de la programación de obras (Malyusz, 2016).

### Las curvas de aprendizaje

Una curva de aprendizaje es una línea que muestra la relación existente entre el tiempo de producción y el número acumulativo de unidades producidas, donde el aprendizaje depende del tiempo (Speelman, 2008). La Figura 1 muestra un ejemplo típico de curva de aprendizaje.

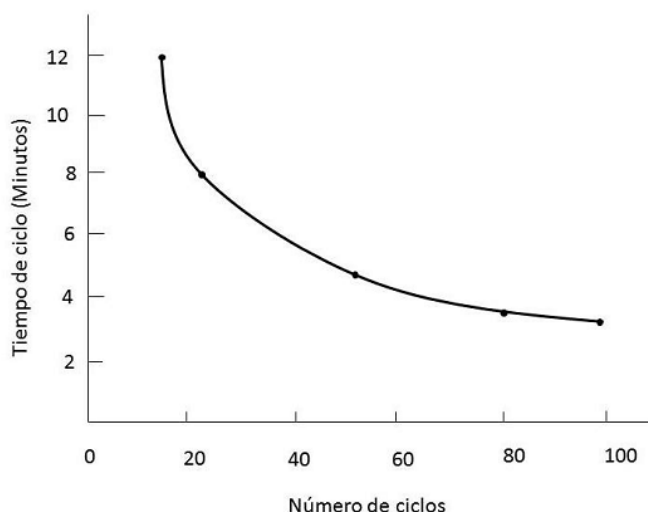


Figura 1. Gráfica de una curva de aprendizaje

La teoría de la curva de aprendizaje propone que cuando se duplica la cantidad total de unidades producidas, el tiempo por unidad disminuye en un porcentaje constante. Mientras más pequeña sea la tasa porcentual de mejora, mayor será la mejora progresiva en la tasa de producción. Las tasas típicas de

aprendizaje varían entre el 70% y el 95%, dependiendo de la empresa y el trabajo específico a realizar (Benavides, 2001).

Cuando se utiliza una escala lineal para graficar la curva de aprendizaje, ésta se puede expresar de acuerdo con la ecuación (1)

$$y = kx^n \quad (1),$$

la cual representa una función exponencial donde  $y$  es el tiempo de ciclo en segundos,  $x$  es el número de ciclos o unidades producidas,  $n$  es el exponente que representa la pendiente y  $k$  es el valor del primer tiempo de ciclo (condición inicial).

Ya que se desea conocer el porcentaje de aprendizaje cuando la producción se duplica, definimos el porcentaje de aprendizaje como en la ecuación (2)

$$\frac{k(2x)^n}{x^nk} = 2^n \quad (2)$$

Tomando logaritmos en ambos lados de la ecuación (2), se obtiene la ecuación (3)

$$n = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{(\log_{10} y_1 - \log_{10} y_2)}{(\log_{10} x_1 - \log_{10} x_2)} \quad (3)$$

donde  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $y_1$  y  $y_2$  son datos obtenidos por observación de dos ciclos y sus respectivos tiempos de ejecución en segundos.

#### Objetivo

El objetivo del presente trabajo fue elaborar una metodología para determinar el nivel de aprendizaje de los trabajadores en función de diversas variables, y dependiendo de si cuentan o no con capacitación, para con ello identificar a tiempo deficiencias y poder corregirlas.

### Metodología

#### Selección de las actividades de análisis

Con el programa de obra de la construcción, se seleccionaron las actividades con las que se realizó el estudio. El criterio de selección de las

actividades fue que pudieron ser observables, tangibles, cuantificables analíticamente y de larga duración para un mayor número de datos e importantes en el proceso constructivo (Alvarado, 2003). Se debe conocer la actividad, una descripción detallada de lo que se realiza, la unidad de medición, la cantidad de total de unidades a medir y la duración de la actividad.

#### Determinación de los ciclos del proceso

La actividad se dividió en ciclos y cada ciclo en una serie de pasos para realizar el estudio de tiempos.

#### Determinación del tamaño de la muestra

Para determinar el tamaño de la muestra se utilizaron las siguientes expresiones dadas en (4) y (5)

$$\% \text{Tiempo de ejecución} = \frac{\text{Tiempo de ejecución}}{\text{Tiempo de ejecución} + \text{Tiempo muerto}} * 100 \quad (4)$$

$$\% \text{Tiempo muerto} = \frac{\text{Tiempo muerto}}{\text{Tiempo de ejecución} + \text{Tiempo muerto}} * 100 \quad (5)$$

donde los tiempos de ejecución y tiempo muerto están dados en segundos.

Además, se propuso el nivel de confianza deseado y se ingresó a un nomograma basado en una distribución t de student, para conocer el número de observaciones. En el presente trabajo, la actividad de estudio fue la construcción de muros, y cada  $m^2$  representó una observación. En total se observaron  $50m^2$ .

#### Selección del trabajador

Se seleccionaron los trabajadores que realizaron la actividad de estudio. Este número dependió de la magnitud de la obra, así como de la distribución del personal previamente hecha por el residente de la obra. En este trabajo particular, fueron 11 trabajadores que

se dedicaron a la construcción de muros. También se registraron los datos de cada trabajador a fin de conocer en el futuro posibles indicadores sociales, culturales o económicos, que ayuden a mejorar la producción y la calidad de la obra resultante.

#### Medición de los ciclos de estudio: etapa 1

Se procedió a la medición de los tiempos de ejecución de cada uno de los pasos que conforman los ciclos de la actividad de estudio. Para ello se utilizó el método de lectura continua (tomando el tiempo de cada repetición de la actividad sin detener el cronómetro) y el método de lectura de vuelta a cero (se reinicia el cronómetro al terminar un elemento del proceso). Se registró el número de observaciones hechas por unidad producida,

los ciclos en los que se divide la tarea y el tiempo cronometrado. Al final se calcularon los estadísticos de todos los tiempos del ciclo.

Se calcularon los tiempos normal, estándar y la clasificación del desempeño de acuerdo a las siguientes expresiones dadas en (6), (7) y (8)

$$\text{Clasificación del desempeño} = \frac{\text{Tiempo inicial} - \text{tiempo final}}{\text{Tiempo inicial}} \times 100. \quad (6)$$

$$TN = t + (t * ud). \quad (7)$$

$$TS = TN * (1 + \text{Reservas}). \quad (8)$$

donde tiempo inicial es el tiempo máximo dado en segundos, el tiempo final es el tiempo mínimo dado en segundos,  $TN$  es el tiempo normal en segundos,  $t$  es el tiempo promedio en segundos,  $ud$  es la clasificación de desempeño entre 0 y 1,  $TS$  es el tiempo estándar en segundos y las Reservas es un coeficiente dado por la Oficina Internacional de Trabajo (Tang, 2000).

Elaboración de las curvas de aprendizaje  
Con los datos anteriores se elaboraron las curvas de aprendizaje de cada trabajador. Se seleccionaron dos observaciones; la primera observación se tomó al 10% del número de observaciones ( $y_1$ ) y la segunda al 80% del número de observaciones ( $y_2$ ). De los tiempos calculados en cada ciclo medidos en las observaciones  $y_1$  y  $y_2$  ( $T_1$  y  $T_2$ ) se empleó la expresión (9)

$$n = \frac{(\log_{10} T_1 - \log_{10} T_2)}{(\log_{10} Y_1 - \log_{10} Y_2)}. \quad (9)$$

La curva se calculó mediante la expresión (10)

$$\text{Curva} = 10^{n \log 2}. \quad (10)$$

donde  $n$  es la pendiente.

Finalmente se graficaron las curvas de aprendizaje por cada ciclo, por cada trabajador, y por producción total. En el eje  $X$  se colocó la producción ya sea por ciclo o total (dependiendo de la gráfica a realizar) y en el eje  $Y$  el tiempo de ejecución.

#### Capacitación del trabajador

Después se procedió a la capacitación de los trabajadores. Un responsable de obra impartió un curso de la elaboración de un muro, explicando de manera detallada los conceptos y tecnicismos que se utilizan en la Ingeniería.

Curvas de aprendizaje con capacitación: etapa 2.

Se midieron nuevamente los ciclos de estudio para las 50 observaciones para los 11 trabajadores, y se realizaron las curvas de aprendizaje para la etapa 2, que será la etapa con capacitación.

#### Resultados

El presente trabajo se llevó a cabo en la construcción de un 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. La Tabla 1 muestra la lista de actividades que conforman la obra. Se seleccionó la actividad de albañilería por ser una partida recurrente en toda la obra y tener una de las mayores cantidades de volumen de ejecución. Se seleccionó el proceso de la construcción de

muros, cuya información y descripción se observan en las Tablas 2 y 3.

Tabla 1. Lista de actividades de la obra

| Actividad | Concepto             | Actividad | Concepto                 |
|-----------|----------------------|-----------|--------------------------|
| 1         | Limpieza             | 9         | Acabados                 |
| 2         | Cimentación          | 10        | Muebles y accesorios     |
| 3         | Estructura           | 11        | Telefonía y cómputo      |
| 4         | Herrería             | 12        | Aire acondicionado       |
| 5         | Albañilería          | 13        | Señalización             |
| 6         | Cancelería           | 14        | Protección civil         |
| 7         | Inst. eléctrica      | 15        | Terracerías y pavimentos |
| 8         | Inst. hidrosanitaria | 16        | Módulo de baños          |

Tabla 2. Información del proceso de estudio

| Código | Actividad | Unidad | Cantidad | Duración | Período de ejecución |
|--------|-----------|--------|----------|----------|----------------------|
| A01    | Muro      | M2     | 792      | 20 días  | 080313-270313        |

Tabla 3. Descripción del proceso de estudio

| Código | Actividad | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A01    | Muro      | Muro de tabique rojo común o tabicón de 11 a 14cm de espesor, asentado con mortero cem-are 1:3, acabado común, para estructura regional zona de alta sismicidad, a cualquier altura, incluye: materiales, andamios, herramienta, mano de obra y acarreo fuera y dentro de la obra. |

El proceso de estudio fue la construcción de muros, y los ciclos serán los metros cuadrados construidos. El proceso constructivo de un muro se resume de la siguiente manera:

- Nivelar y limpiar la superficie de desplante de muro.
- Picar la superficie de desplante donde se apoyará la primera hilada.

- Colocar el hilo de guía.
- Aplicar mortero a la superficie inicial.
- Colocar la primera hilada de tabiques.
- Colocar hilos para guía de alineación.
- Retirar hilos y rellenar juntas verticales.

Cada ciclo se dividió en 13 pasos

Paso 1: Colocación de cuerda.  
 Paso 2: Colocación de mezcla.  
 Paso 3: Colocación de tabique.  
 Paso 4: Limpieza de rebaba.  
 Paso 5: Colocación de mezcla.  
 Paso 6: Colocación de tabique.  
 Paso 7: Limpieza de rebaba.

Paso 8: Colocación de mezcla.  
 Paso 9: Colocación de tabique.  
 Paso 10: Limpieza de rebaba.  
 Paso 11: Colocación de mezcla.  
 Paso 12: Colocación de tabique.  
 Paso 13: Limpieza de rebaba.

Determinación del tamaño de la muestra  
Con las ecuaciones (4) y (5) calculamos los  
tiempos de ejecución y muerto.

$$\% \text{Tiempo de ejecución} = \frac{T. \text{ejecución}}{T. \text{Ejecución} + T. \text{muerto}} * 100 = \frac{220s}{220s + 9s} * 100 = 96\%$$

$$\% \text{Tiempo muerto} = \frac{T. \text{muerto}}{T. \text{Ejecución} + T. \text{muerto}} * 100 = \frac{9s}{220s + 9s} * 100 = 4\%$$

Se propone una confiabilidad del 95%. Del  
nomograma de la Figura 2, se obtuvieron 50  
observaciones, es decir, se observará la

construcción de 50m<sup>2</sup> de muro para cada  
trabajador.

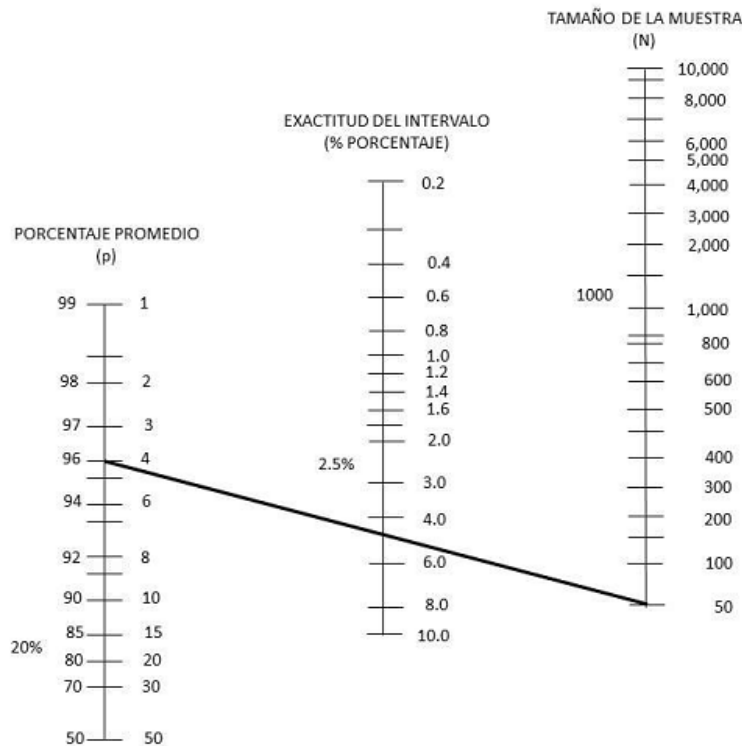


Figura 2. Cálculo del número de observaciones a partir del nomograma (Wonnacott, 1980)

En el presente trabajo el número de  
trabajadores que construyeron los muros fue de  
11 personas. Para cada persona se tomó un  
registro de su escolaridad, experiencia laboral  
y si habían tenido capacitación previa. Los  
datos se observan en la Tabla 4.

Tabla 4. Resumen del registro de los trabajadores

| Trabajador | Datos escolares |             |            | Datos laborales |                            |              |
|------------|-----------------|-------------|------------|-----------------|----------------------------|--------------|
|            | Edad (años)     | Escolaridad |            |                 | Experiencia laboral (años) | Capacitación |
|            |                 | Prim.       | Secundaria | Bachillerato    |                            | Si No        |
| 1          | 18              |             | X          |                 | 2                          | X            |
| 2          | 24              | X           |            |                 | 4                          | X            |
| 3          | 34              |             | X          |                 | 8                          | X            |
| 4          | 30              |             | X          |                 | 12                         | X            |
| 5          | 20              | X           |            |                 | 3                          | X            |
| 6          | 32              |             | X          |                 | 9                          | X            |
| 7          | 29              |             | X          |                 | 4                          | X            |
| 8          | 18              | X           |            |                 | 2                          | X            |
| 9          | 36              |             | X          |                 | 10                         | X            |
| 10         | 32              |             | X          |                 | 8                          | X            |
| 11         | 24              |             | X          |                 | 6                          | X            |

#### Medición de los ciclos de estudio

Por cada trabajador se registraron los tiempos de ejecución de cada paso que conforman un ciclo mediante las ecuaciones (6), (7) y (8) y de estos 13 pasos se tomaron tiempos promedio.

La Tabla 5 presenta el tiempo promedio del trabajador 6 para el primer m<sup>2</sup> de construcción, es decir, para el ciclo 1. Por cada trabajador se elaboró su tabla correspondiente tanto de procesos como de ciclos.

Tabla 5. Tiempos promedio

| CICLO 1                                      |  | PROMEDIOS  |
|----------------------------------------------|--|------------|
| PASOS                                        |  | (segundos) |
| 1                                            |  | 104.21     |
| 2                                            |  | 13.96      |
| 3                                            |  | 6.74       |
| 4                                            |  | 6.38       |
| 5                                            |  | 13.08      |
| 6                                            |  | 6.62       |
| 7                                            |  | 6.39       |
| 8                                            |  | 14.20      |
| 9                                            |  | 6.34       |
| 10                                           |  | 6.38       |
| 11                                           |  | 13.30      |
| 12                                           |  | 5.63       |
| 13                                           |  | 6.38       |
| TOTAL (Suma de los promedios de 13 procesos) |  | 209.61     |

### Elaboración de las curvas de aprendizaje

El presente trabajo se efectuó en dos etapas. La primera etapa se midieron los tiempos de ejecución sin capacitación de los trabajadores y la segunda etapa se midieron los tiempos con

capacitación. Para cada trabajador se calculó el tiempo total de cada ciclo, el cual representa un  $m^2$  de construcción, siendo un total de 50 ciclos ( $50 m^2$ ) por trabajador. Los resultados se ven en la Figura 3.

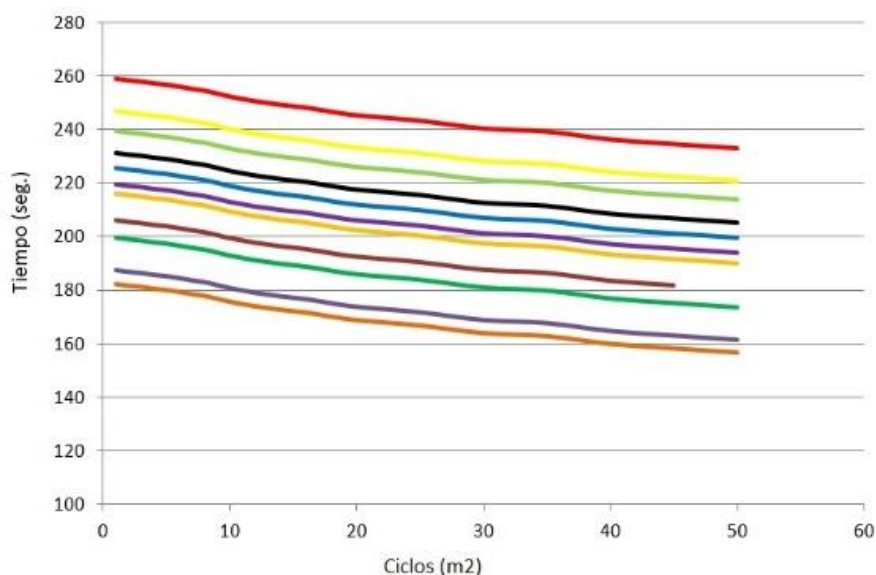


Figura 3. Curva de aprendizaje de cada trabajador para la etapa 1

Además, en la Tabla 6 se observa el promedio de cada trabajador respecto a los 50 ciclos

observados, así como los valores máximos y mínimos.

Tabla 6. Resumen de los tiempos de cada trabajador en segundos

| Trabajador | Promedio | V. Máximo | V. mínimo |
|------------|----------|-----------|-----------|
| 1          | 209.61   | 219.65    | 193.79    |
| 2          | 229.50   | 239.54    | 213.68    |
| 3          | 177.37   | 187.41    | 161.55    |
| 4          | 248.74   | 258.78    | 232.92    |
| 5          | 189.33   | 199.37    | 173.51    |
| 6          | 236.78   | 246.82    | 220.96    |
| 7          | 172.30   | 182.34    | 156.48    |
| 8          | 215.46   | 225.50    | 199.64    |
| 9          | 196.09   | 206.13    | 180.27    |
| 10         | 221.05   | 231.09    | 205.23    |
| 11         | 205.84   | 215.88    | 190.02    |

Para cada ciclo se promedió el tiempo de cada trabajador y se realizó la gráfica que se observa en la Figura 4.

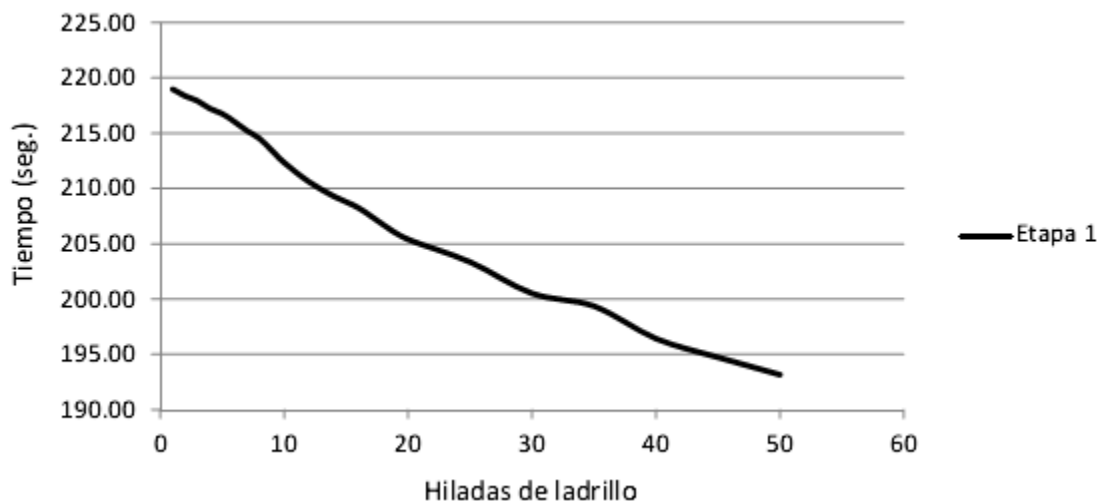


Figura 4. Curva de aprendizaje promedio de los trabajadores

Se procedió con el proceso de capacitación de los trabajadores, se volvieron a calcular los tiempos de los ciclos, y se elaboraron

nuevamente las curvas de aprendizaje de cada trabajador. Los resultados se observan en la Figura 5.

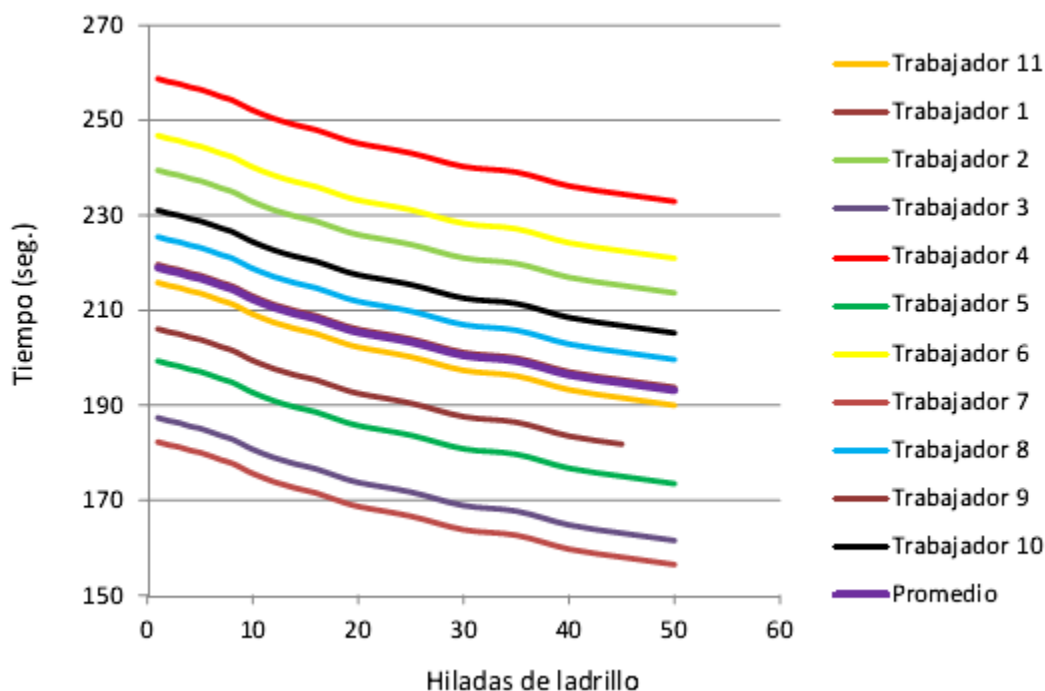


Figura 5. Curva de aprendizaje promedio junto con la curva de aprendizaje de cada trabajador

En la Figura 6 se observan las curvas de aprendizaje promedio de los 11 trabajadores para las etapas 1 y 2, que fueron sin

capacitación y con capacitación. El promedio de los trabajadores por ciclo se calculó como la media aritmética.

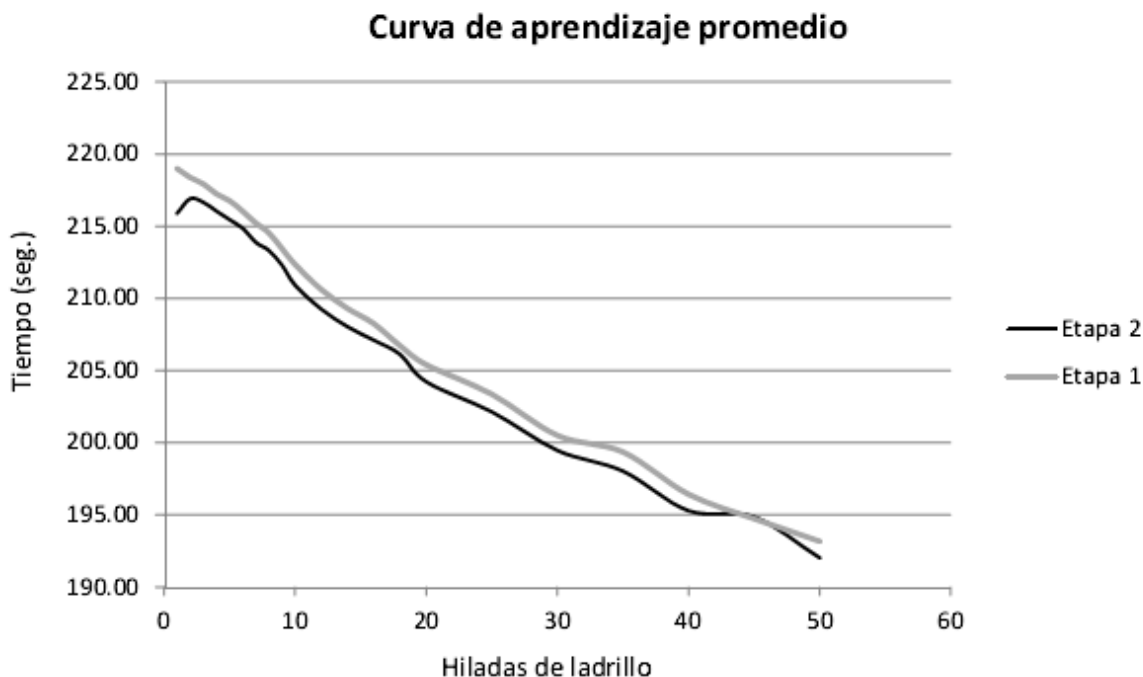


Figura 6. Curva de aprendizaje promedio en ambas etapas

### Discusión de resultados

La Tabla 7 presenta el aprendizaje promedio de cada uno de los trabajadores calculado con las ecuaciones (9) y (19). Se recuerda de la introducción, que una aprendizaje del 100% significa que el trabajador no aprendió nada, y efectúa las actividades en el mismo tiempo.

Conforme el número es menor al 100%, el aprendizaje es mayor. Con esto en mente, de acuerdo a la Tabla 7, el mayor aprendizaje lo obtuvo el trabajador 7 con 95.13% y el menor aprendizaje el trabajador 4 con 97.35%. Esto se interpreta que para duplicar la producción realizada se obtiene una mejoría del 4.87% y 2.65% respectivamente.

Tabla 7. Aprendizaje promedio por cada trabajador

| Trabajador | Promedio de aprendizaje |
|------------|-------------------------|
| 1          | 96.60                   |
| 2          | 97.04                   |
| 3          | 95.43                   |
| 4          | 97.35                   |
| 5          | 95.97                   |
| 6          | 97.16                   |
| 7          | 95.13                   |

|           |       |
|-----------|-------|
| <b>8</b>  | 96.75 |
| <b>9</b>  | 96.22 |
| <b>10</b> | 96.87 |
| <b>11</b> | 96.51 |

Además, se tiene un promedio de aprendizaje del 96.46% del total de los trabajadores, que se observa en la Figura 7.

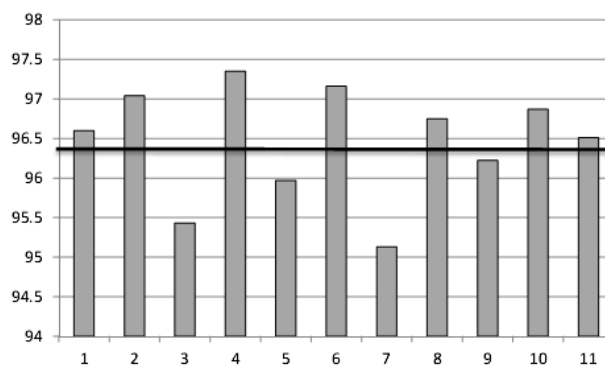


Figura7. Esquema del aprendizaje por cada trabajador

Las Figuras 8, 9 y 10 presentan la relación entre el aprendizaje y las variables de edad, experiencia laboral y escolaridad.

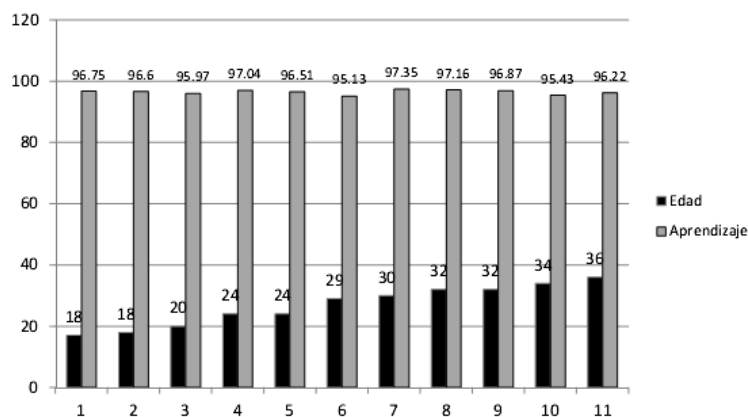


Figura 8. Gráfica del aprendizaje de los trabajadores en relación a su edad.

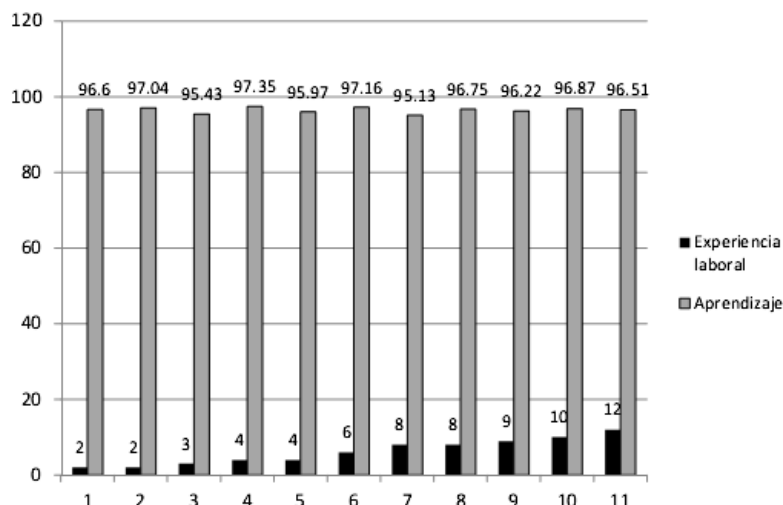


Figura 9. Relación entre la experiencia laboral y el aprendizaje

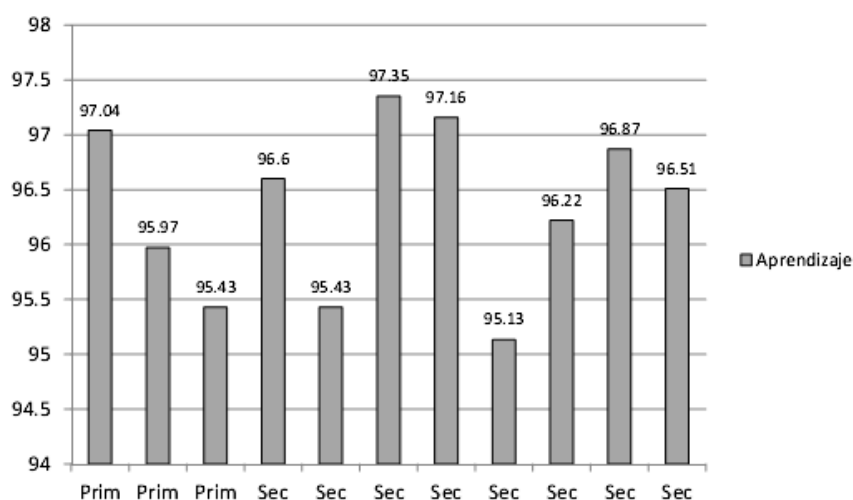


Figura 10. Relación entre la escolaridad y el aprendizaje

Se observa en la Figura 8 que quitando a los trabajadores 4 y 10, de 24 y 34 años respectivamente, conforme la edad aumenta, mayor es la tasa de aprendizaje (no confundir con aprendizaje), es decir, menor es la productividad. Los mayores tiempos de ejecución se presentan en trabajadores de edad superior a los 28 años. Además, la experiencia laboral sí resultó un factor para el aumento o disminución de la tasa de aprendizaje, como se ve en la Figura 9. Finalmente, no se observó una relación significativa entre la escolaridad y el aprendizaje, de acuerdo a la Figura 10. Tanto los trabajadores que únicamente tienen primaria, como los trabajadores que tienen

secundaria, tienen tasas de aprendizaje distintas. Para el grado de primaria se presentan un valor máximo de 97.04% y mínimo de 95.43%, mientras que para el grado de secundaria 97.35% y 95.13%, respectivamente.

## Conclusiones

En el presente estudio, la productividad de los trabajadores aumentó de la etapa 1 (sin capacitación) a la etapa 2 (con capacitación); esto se vio reflejado en la gráfica de la Figura 6. Dentro de las variables analizadas el factor que influyó en la productividad debido al aprendizaje fue la experiencia laboral, mientras que la edad y la escolaridad no influyeron.

Esto, puede contribuir a crear una estrategia de productividad basada en la selección para efecto de capacitación. Este trabajo fue un estudio de caso, con condiciones muy particulares de trabajadores y obra. Se pretende realizar este análisis a distintas edificaciones con sus respectivos trabajadores, a fin de establecer una futura línea de investigación respecto a la capacitación de los trabajadores dentro de la construcción de obras civiles.

A un largo plazo se espera que estudios realizados como en el presente trabajo sitúen a

la industria de la construcción como una empresa competitiva a nivel internacional. Las empresas constructoras que logren alcanzar mayores niveles de calidad y productividad ya podrán gestionar el conocimiento como un valor propio que puede estar al alcance de empresas menores que aún carezcan de estos conocimientos. El estudio detallado de las curvas de aprendizaje, debe ser propio de cada ingeniero en su formación básica, y su aplicación un campo propio de desarrollo e investigación.

## Referencias

- Al-Monami. (2000). Examining service quality within construction processes. *Journal of Technovation*, 643-651.
- Alvarado, V. (2003). *Aplicación de curvas de aprendizaje en la fábrica de confecciones*. Quito: Ecuador.
- Benavides, M. (2001). Las alianzas estratégicas como instrumento de aprendizaje organizativo. *Revista europea de dirección y economía de la empresa*, 57-74.
- Certo, M. (2000). *Administración moderna*. Colombia: Pearson.
- Ellinger, A. (2002). The relationship between the learning organization concept and firms financial performance: and empirical assesment. *Human resource development quarterly*, 5-21.
- Emir. (1999). Learning curve in construction. *The Revay Report*.
- García, V. (2006). Antecedents and consequences of organizational innovation and organizational learning in intreprenuship. *Industrial Managemente and Data Systems*, 21-42.
- Grajales, F. (2011). La productividad en la construcción. *Pakbal*, 25-38.
- JDA Abeysekera, S. H. (1990). *Ergonomics in developing countries. In advances in Industrial Ergonomics and Safety*. London: B. Das London.
- Leon, I. (2006). El aprendizaje en las organizaciones y su efecto en los resultados empresariales. *XV Congreso Nacional de Acede*, 30-42.
- Malyusz, M. (2016). Learning Curve Effect on Project Scheduling. *Elsevier*, 90-97.
- Meredith, J. (2000). *Project Management*. U. S. A.: John Wiley and Sons.
- Moder, J. (1995). *Project Management with CPM, PERT and precedence diagramming*. U. S.A.: Blitz Publishing Company.
- Niebel, F. (1996). *Ingeniería industrial: métodos, tiempos y movimientos*. México: Alfaomega.

- Osterloh, M. (2000). Motivation, knowledge transfer and organizational forms. *Organization science*, 538-550.
- Speelman, C. (2008). *Beyond the learning curve: the construction of mind*. Oxford: Oxford.
- Tang, S. (2000). Impact of social safety investments on social costs of constructions accidents. *Construction management and economics*, 937-946.
- Wonnacott, T. (1980). *Fundamentos de la estadística para la administración y economía*. España: Limusa.
- Yelle, L. (2010). *The learning curve: Historical review and comprehensive survey*. Lowell: University of Lowell.