

Construction Labor-Productivity Assessment Using Six Sigma Tools: a Case of Study

Evaluación de la Mano de Obra en Construcción Usando
herramientas Seis Sigma: Un Caso de Estudio.

Héctor Hernández
Gerald Olivares
07 de Mayo de 2018
Ref. 18-119

Contexto y justificación

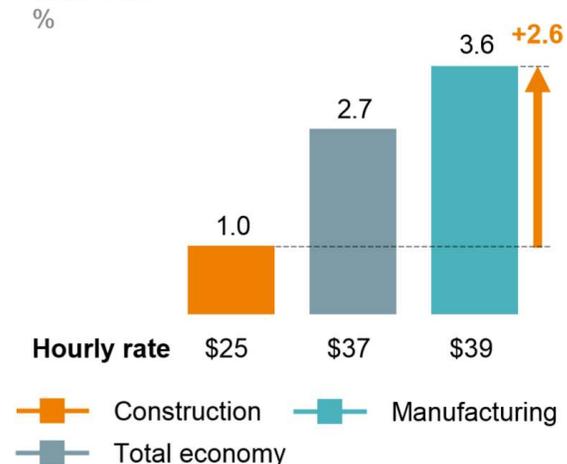
A nivel mundial, el crecimiento de la productividad laboral en el sector de la construcción promedió solo 1% anual en las últimas dos décadas, muy por debajo del crecimiento global de la economía (2,8%) o del sector manufacturero (3,4%).

El gasto relacionado con la construcción representa el 13% del PIB mundial.

La construcción puede ponerse al día con la productividad total de la economía, donde el impacto potencial de las mejoras a nivel operacional es de aproximadamente 60% sobre este delta.

Fuente: McKinsey, 2017.

Compound annual growth rate,
1995–2014
%

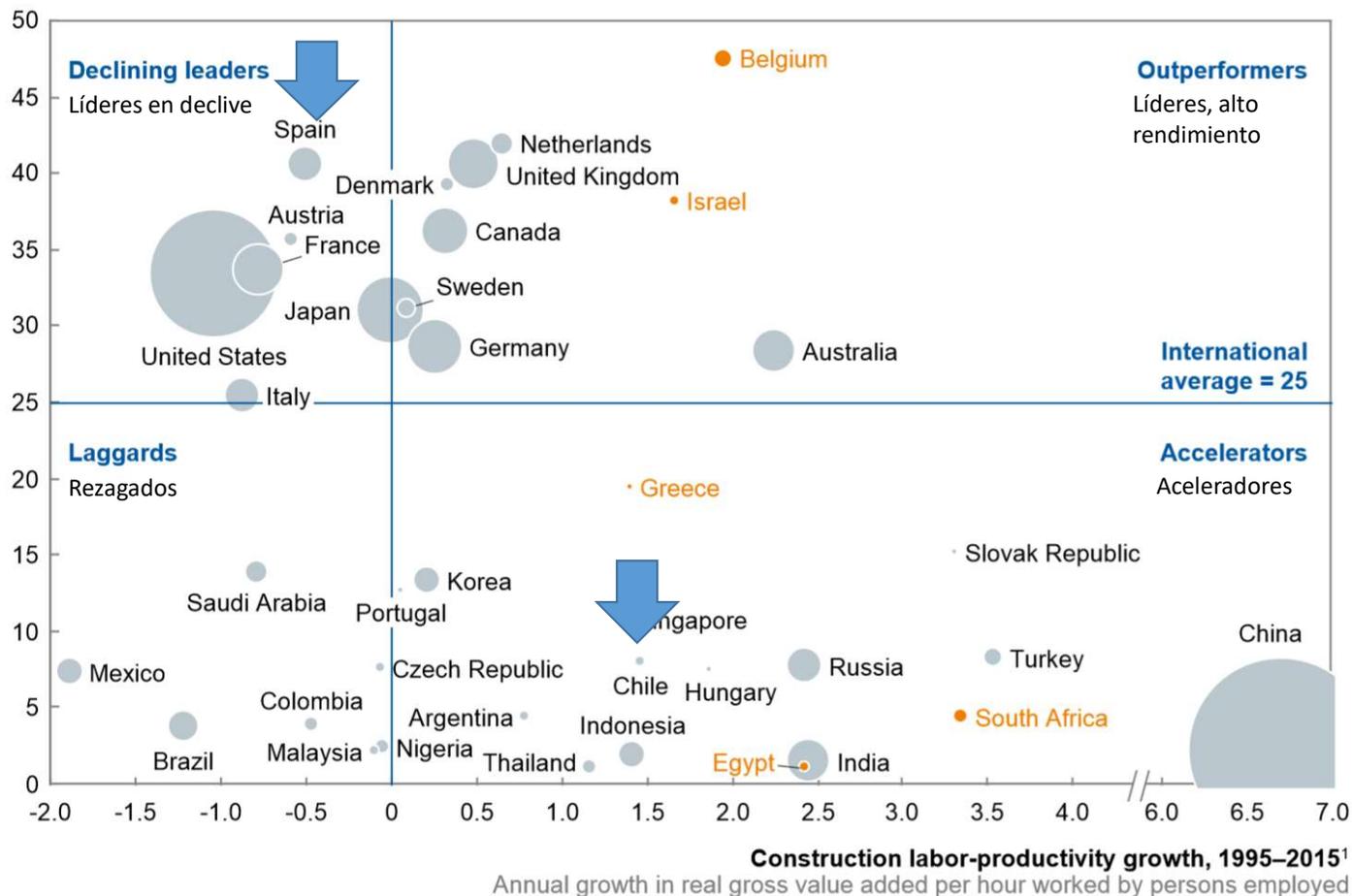


Pocos países han alcanzado niveles de productividad y tasas de crecimiento de la productividad laboral adecuadas en el sector construcción. (McKinsey, 2017)

- Sector productivity growth lags behind total economy
 - Sector productivity growth exceeds total economy
- Size indicates total country construction investment, 2015 \$ billion

Construction labor productivity, 2015¹

2005 \$ per hour worked by persons employed, not adjusted for purchasing power parity²



Algunas empresas de la industria de la construcción han optado por monitorear el desempeño de sus procesos internos y externos con el ánimo de mejorar en competitividad a partir del aprendizaje del sector manufacturero, examinado la eficacia y la aplicabilidad de los instrumentos de medición y seguimiento que han derivado de la filosofía Six-sigma (Borse, G. U., & Attarde, P. M., 2016)

La carencia de sistemas de medición formal es uno de los problemas más importantes implicado en la mejora de la productividad (Shinde, V. J., & Hedao, M. N., 2017).

Se hace necesario la obtención datos in situ sobre la producción y los recursos consumidos por procesos constructivos (materiales, humanos, maquinarias, otros) que permitan evaluar los cambios en productividad y sirvan de referencia para la industria de la construcción (Shinde, V. J., & Hedao, M. N., 2017).

Es útil centrar las mediciones en el hormigonado, dado que los elementos estructurales de hormigón son potencialmente importantes en el presupuesto y en el programa de cualquier proyecto de construcción (Takim, R., Akintoye, A. and Kelly, J. (2003)

En este contexto, el objetivo de la investigación fue:

Estudiar la productividad de la mano de obra en un caso de estudio, mostrando datos de producción y productividad laboral de los concreteros y revelando algunos problemas a nivel de sitio que ocurren cuando se implementan procesos incipientes en la medición del trabajo.



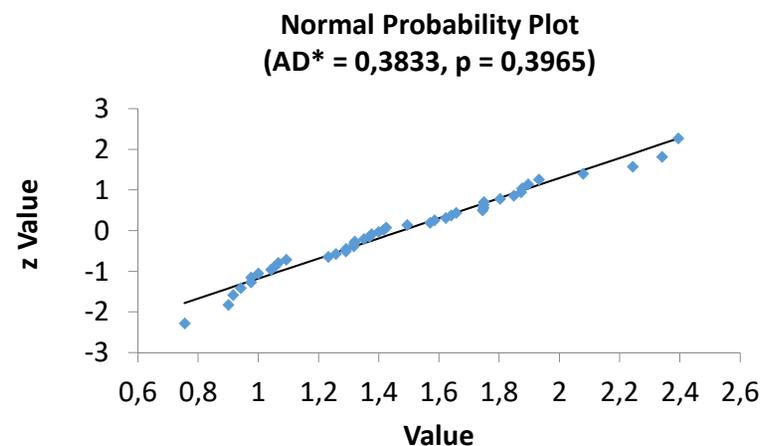
Metodología

- Se definió un edificio de estudio (Habitacional, 12 pisos y un subterráneo, planta promedio de 852m², en Santiago de Chile), en el que se realizaron mediciones de producción y productividad en el hormigonado de vigas y losas entre los pisos 6to. Y 8vo.
- Las mediciones iniciaron con la descarga del primer camión mixer hasta la finalización de una unidad de producción, donde el principal recurso estudiado fue el equipo o cuadrilla de hormigonado.
- Conforme a la programación del trabajo, en general, se definieron 4 lotes de producción por piso, pudiéndose establecer una muestra de 11 lotes de producción con 4 observaciones por lote (44 paños o vertidos de hormigón bombeado en total).
- Se evaluó la productividad de la cuadrilla de concreteros a partir del uso de las herramientas estadísticas de la filosofía Seis Sigma, donde Cpk se definió igual a Cpl para un nivel de control 3 σ .



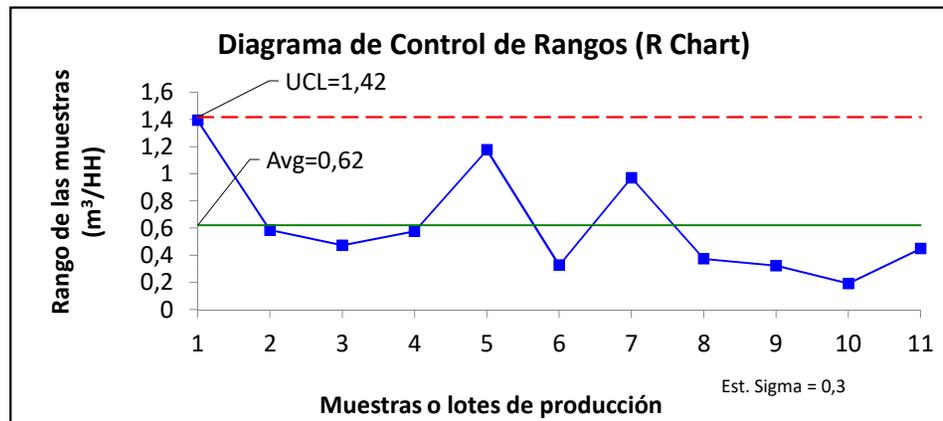
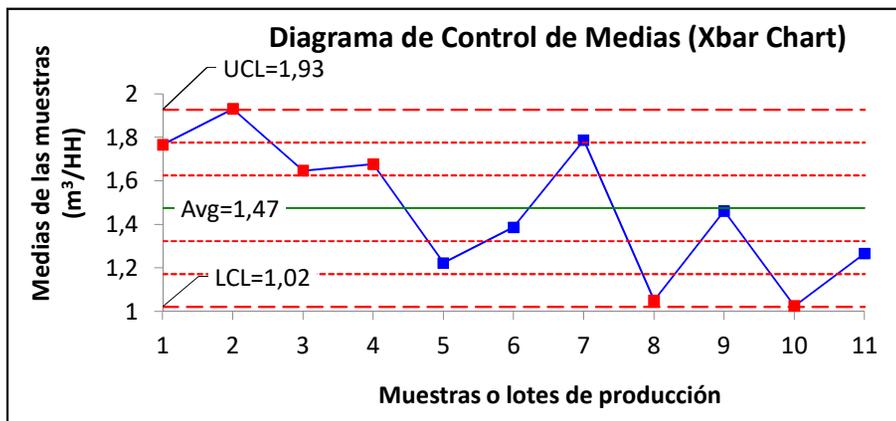
Resultados

- Los vertidos de hormigón bombeado promediaron $7,3\text{m}^3$ de hormigón por camión, con un tiempo medio de descarga de 13,7 minutos por camión.
- La producción media semanal fue de $662,6\text{m}^2$ y la producción media por lote de producción fue $232,5\text{m}^2$.
- Para los lotes de producción, el 57%, el 18% y el 25% del trabajo correspondió en promedio a trabajo productivo, contributorio y no productivo respectivamente.
- Las observaciones distribuyeron normal.



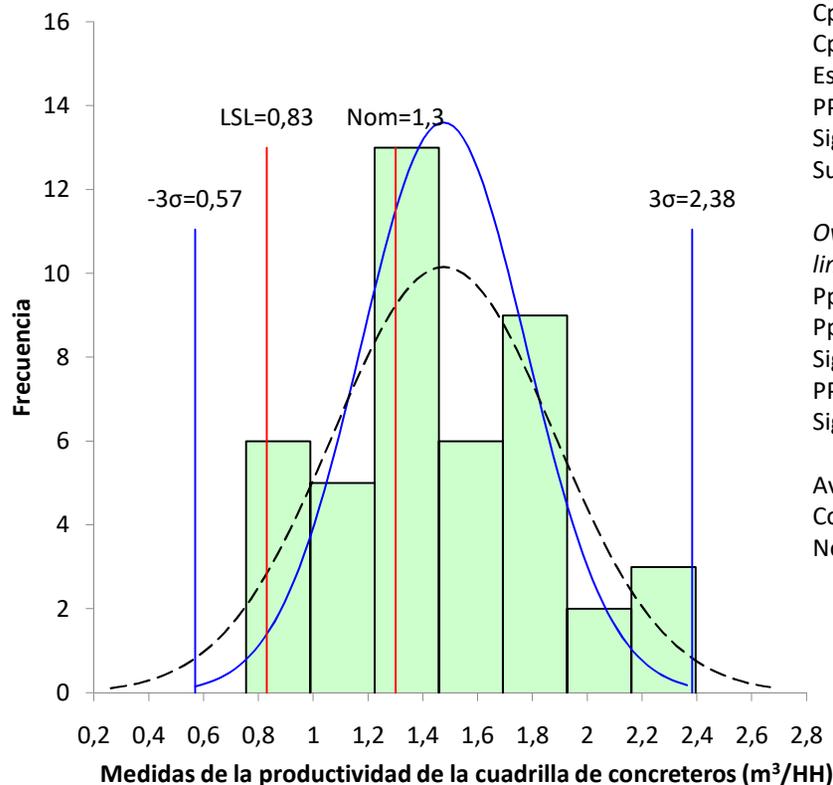
Resultado del Test de Normalidad de Anderson-Darling para las mediciones, $p > 0,20$

- El equipo de hormigonado presentó una productividad media de 1,47 m³/HH para los lotes de producción.
- El equipo de hormigonado presentó una dispersión media de 0,62 m³/HH para los lotes de producción.
- Las mediciones se ubicaron dentro de los límites de control estadístico.



- 1,47 m³/HH y 0,302 m³/HH resultaron ser la media y el sigma estimado respectivamente.
- El valor nominal se fijó en 1,3m³/HH, correspondiente a la productividad esperada de la mano de obra en este tipo de partidas en Chile (CDT, 2013).
- Se estableció LSL = 0,83 m³/HH, a partir de la estimación de una distribución normal donde LSL corresponde a z=-1 (68,26%) para N (1; 0,364)
- Se aprecia que una de las observaciones no respondió a la especificación. (0,76 m³/HH)
- La capacidad del proceso resultó Cpl = Cpk = 0,71

Análisis de Capacidad



Within Variation: (solid line)
 Cpk=0,71
 Cpl=0,71
 Est. Sigma(σ)=0,302
 PPM<LSL=16425,92
 Sigma Level=2,134
 Subgroup Size=4

Overall Variation: (dashed line)
 Ppk=0,53
 Ppl=0,53
 Sigma(s)= 0,405
 PPM<LSL=55519,60
 Sigma Level=1,594

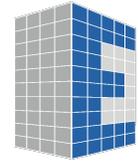
Average=1,475
 Count=44
 No. Out of Spec=1 (2,27%)

Análisis de los resultados

- Las productividades del equipo de hormigonado respondieron a la variabilidad natural del proceso constructivo.
- La planificación del trabajo y el desempeño del proveedor de hormigón fueron factores críticos en los resultados de la productividad.
- Basado en la experiencia chilena, la producción semanal debiera ser del orden de 625m² (en el caso 662,6m²) y los trabajos productivo, contributorio e ineficiente del orden de 54%, 18% y 28% respectivamente (CDT, 2013). Por lo que los resultados responden a lo esperado.
- La productividad de la cuadrilla (1,47 m³/HH) fue mayor a la esperada en la industria chilena (1,3 m³/HH).
- Basado en el mejor contexto de productividad, se pueden plantear metas del orden de 2 m³/HH; donde además otros estudios muestran, en la misma partida y con igual tecnología, una productividad media de 2,2m³/HH (Chang Chan, D. W., & Kumaraswamy, M. M., 1995)
- Dado la especificación de LSL para un nivel de control 3 σ , las productividades de los concreteros no cumplen con la banda de tolerancia especificada (Cpl = 0,71 < 1). Por tanto, el proceso constructivo debiera mejorar. Sin embargo, Cpl resulto levemente superior a 1 cuando se simuló un nivel de control 2 σ .

Conclusiones y observaciones generales:

- Las herramientas del enfoque Six-sigma proporcionaron una estructura estadística que permitió evaluar la productividad del equipo de hormigonado en el proyecto de estudio.
- No fue posible cumplir con un nivel exigencia 3σ (0,26% o 2600 ppm de incumplimiento, 0,13% por lado), quizás esto sea algo difícil de conseguir como plantean algunos autores debido a la naturaleza artesanal y al uso intensivo de mano de obra en los procesos constructivos. Siendo más propicio en estos casos un nivel de control 2σ (4,56% de incumplimiento).
- Para cumplir con la especificación planteada, o para lograr productividades por sobre $2\text{m}^3/\text{HH}$, el proceso necesariamente debe cambiar.
- Para el caso de estudio fue difícil establecer un límite de especificación inferior para la productividad de los concreteros. Esto, debido a la falta de indicadores propios de la empresa que pudiesen servir de parámetros y debido a la poca información disponible en el sector chileno.
- No existía una cultura de medición en la empresa, las mediciones y los controles se centraban en la determinación de ritmos de trabajo y no en la productividad. Confundiendo en general estos conceptos o creyendo innecesaria la medición de la productividad debido a la gran cantidad de factores que la afectan.
- La mano de obra directa se enfocaba en producir y carecía de incentivos para propender a la productividad.



Construction Labor-Productivity Assessment Using Six Sigma Tools: a Case of Study

Evaluación de la Mano de Obra en Construcción Usando
herramientas Seis Sigma: Un Caso de Estudio.

Héctor Hernández
Gerald Olivares
07 de Mayo de 2018
Ref. 18-119