

# Towards zero-process waste through supply chain integration in steel construction

## Cómo lograr procesos con cero pérdidas a través de la integración de la cadena de suministros en las construcciones de acero

F. Araya <sup>1\*</sup>, J. Abarza \*, R. Gasto \*, L. Bernold \*

\* Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso. CHILE

Fecha de Recepción: 23/03/2016

Fecha de Aceptación: 27/05/2016

PAG 75-82

### Abstract

CPM and PERT are well established as the main tools to plan and control construction projects. However, the planning and control of construction field operations has to consider the minute-by-minute complexity of bringing multiple resources together to produce a work package. At this level, the quality of each resource has major effects on the productivity, quality or safety. The rapidly changing dynamic nature of the site and the shifting quality of critical factors requires a new model to achieve zero-process waste. This paper presents a new construction management model that embraces a waste-based feed-forward control methodology designed to eliminate process- or muda-waste rather than high productivity. It extends the concept of the seven mudas by Taiichi Ohno to include all construction specific wastes. Of special interest of the discussed work is the waste effect of poor communication along the supply chain. After discussing the rational of the model the paper highlights the results of field observations in the area of foundations and steel construction. Wireless cameras were used for continuous-time studies to measure productive and wasted labor-hours before and after changes in the material supply logistics were implemented.

**Keywords:** Zero waste, feedforward control, supply chain

### Resumen

Los métodos CPM y PERT se encuentran bien establecidos como la principal herramienta de planificación y control de proyectos de construcción. Sin embargo, la planificación y el control de operaciones de construcción en terreno tienen que considerar la complejidad del día a día de utilizar múltiples recursos al mismo tiempo para elaborar un paquete de trabajo. A este nivel, la calidad de cada recurso tiene grandes efectos en la productividad, calidad o seguridad. Los rápidos cambios debido a la naturaleza dinámica en terreno y los cambios de calidad de los factores críticos requieren de un nuevo modelo para conseguir procesos con cero pérdidas. Este documento presenta un nuevo modelo de gestión de construcción que aprovecha la metodología de control por prealimentación basado en el desperdicio, diseñado para eliminar pérdidas o muda en los procesos en vez de aumentar la productividad. Éste amplía el concepto de los siete mudas de Taiichi Ohno que incluye todos los desperdicios específicos del proceso de construcción. De especial interés en el trabajo es el efecto del desperdicio por una mala comunicación a lo largo de la cadena de suministro. Después de discutir la lógica del modelo, este estudio presenta los resultados a partir de observaciones en terreno de las fundaciones y la construcción en acero. Se instalaron cámaras inalámbricas para realizar un estudio de tiempo continuo a fin de medir productividad y pérdidas de horas de trabajo, antes y después de implementar los cambios en la logística de la cadena de suministro.

**Palabras clave:** Cero pérdidas, control por retroalimentación, cadena de suministro

## 1. Introducción

Lo que hoy se conoce como Modelado de Información para la Construcción (BIM, por sus siglas en inglés) comenzó con investigadores como Charles Eastman (1975) a principios de la década del 70, fue recomendado y avalado como norma industrial por el Instituto Nacional de Ciencias de la Construcción en Washington D.C. a fines de los 80, pero recién ahora se ha aceptado como una norma de uso global. Actualmente, aspectos claves como la interoperabilidad, el control automático de interferencia y la comunicación digital son capaces de vencer la tradicional reticencia al cambio por parte de la industria. Sin embargo, los investigadores han señalado que el BIM es sólo un peldaño que a futuro contribuirá a obtener beneficios mucho mayores para la industria.

Se estima que la industria de la construcción consume alrededor de un 40% de las materias primas del mundo y se ha convertido en un mercado verdaderamente global con una

compleja cadena de suministro de materiales procesados y prefabricados y elementos terminados para la edificación. Por otro lado, la construcción aporta el 40% de las emisiones de carbono a la atmósfera (por ej., producción de cemento) y crea un torrente masivo de material desperdiciado que termina en los vertederos. No obstante, los desperdicios materiales son sólo la señal más visible que representa su ineficiencia. Smith, D.K. y Tardif (2012) señalaron que el Instituto de la Industria de la Construcción (CII, por sus siglas en inglés) estimó que hasta un 57% del trabajo de construcción no crea valor agregado o desperdicia algún recurso del proceso, incluyendo el tiempo ocioso o la reparación de productos de mala calidad. Esta alta cifra se compara pobremente con el 26% de uso ineficiente de recursos en la manufactura. Uno de los primeros en proponer la reducción de desperdicios en los procesos de manufactura fue el Ingeniero Jefe de Toyota, Taiichi Ohno, como un aspecto clave del sistema de producción de Toyota (Bernold y AbouRizk, 2010; Bernold 2013). Bajo el término japonés

<sup>1</sup> Autor de correspondencia:



“muda” (que significa desperdicio o carente de valor), Taiichi Ohno definió 8 grupos de mudas en la fabricación de automóviles: 1. Sobreproducción, 2. Exceso de inventario, 3. Movimientos innecesarios, 4. Esperas ociosas, 5. Transporte innecesario, 6. Proceso ineficiente, 7. Defectos, Averías, Accidentes y 8. Desaprovechamiento del talento del empleado.

A fines de la década del 80, el desperdicio muda se incluyó en el concepto de Manufactura Ajustada (Lean), que luego se llamó Construcción Ajustada. En la medida en que la manufactura se vio forzada a expandir sus métodos de gestión para crear redes globales de producción, implementó el pensamiento ajustado de manera selectiva. La construcción ajustada no ha sido capaz de entregar un concepto teórico coherente. De la misma forma, no existe evidencia científica que demuestre sus beneficios y la literatura contiene muchas descripciones cualitativas. Actualmente, la construcción ajustada es una acumulación al azar de herramientas (reactivas) desarrolladas en la manufactura, por ejemplo, el método de producción justo a tiempo (Just-in-Time o JIT en inglés), seis-sigma o el Control de la Calidad Total (CCT, o TQM en inglés). Mientras el CCT (ISO 9001) implica mejor calidad por menos dinero, Rosenfeld (2009) señaló el fracaso de esta visión cortoplacista de la industria, que se enfoca en contratar a un gerente de calidad con un equipo y más inspecciones. Rosenfeld (2009) demostró que el menor costo de reparación igualaba el costo de personal adicional. Forslund (2007) resumió la situación actual, destacando que “...en vez de enfocarse en mejorar la calidad, el objetivo debiera ser reducir las deficiencias en la calidad”. Bellah et al. (2013) nos recordaron que “el CCT es una filosofía y un conjunto de prácticas, cuya finalidad es eliminar toda forma de desperdicio en todos los procesos de fabricación y procesos de entrega de servicios”.

## 2. Filosofía de cero pérdida en los procesos de producción

Por siglos, a la industria de la construcción se le ha pedido que prediga la fecha de término de la obra y el costo final de los proyectos de edificación con uno o incluso dos

años de anticipación. Una y otra vez, las empresas han fracasado en ambos cometidos. Bernold y AbouRizk (2010) defendieron una nueva filosofía de gestión para la construcción basada en el control del tiempo real. Este nuevo razonamiento, mostrado en la Figura 1, se sustenta en un antiguo concepto de gestión proactiva, pero le otorga el respaldo teórico necesario y las herramientas para implementarlo en la construcción, considerando una obra de construcción inteligente.

Las nuevas tecnologías como sensores o controladores inteligentes podrían proporcionar los datos necesarios en tiempo real para detectar los problemas. Ciertamente, este es el único objetivo concertado que permite el modelo de control proactivo de cero pérdidas. La Figura 1 muestra que el control por prealimentación abarca incluso la cadena de suministro. La necesidad de inspecciones para evaluar la calidad o incluso reparar lo que se ha hecho de manera incorrecta, será reemplazada por una planificación holónica y conceptos de control que incluyen toda la cadena de suministro hasta su término y puesta en operación. La implementación de conceptos exitosos de gestión con cero pérdidas ayudará a lograr la máxima productividad posible, la calidad deseada y los conceptos de seguridad.

### 2.1 Principios de control por prealimentación para procesos con cero pérdidas

La Figura 2 muestra una vista más detallada del modelo de control de proceso para un proceso integrado a la cadena de suministro, como el proceso de construcción en acero discutido más adelante. El modelo señala las dos fuentes de datos e información de prealimentación, la cadena de suministro y la zona de montaje en la obra.

Además, la información que fluye desde el controlador del proceso llega a los mismos lugares. Es evidente que la meta del controlador de proceso es la gestión preventiva de desperdicios, eliminando las causas que puedan originar desperdicios en la etapa de producción. Según se indicó anteriormente, este concepto incluye la cadena de suministro, ya que muchas decisiones importantes tomadas durante las fases iniciales pueden tener drásticos impactos negativos (por ej., la constructibilidad).

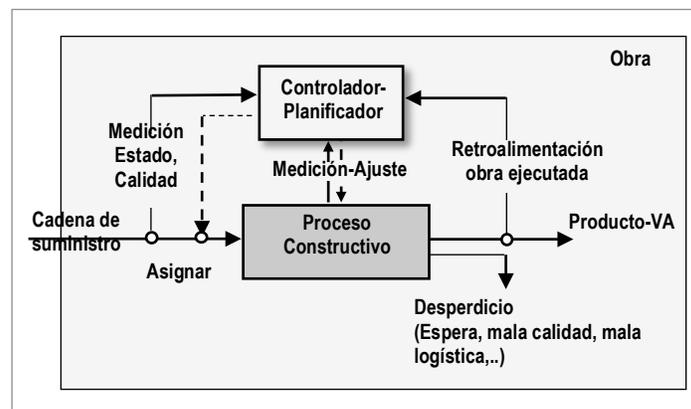


Figura 1. Estructura de control de procesos de cero pérdidas con control por prealimentación

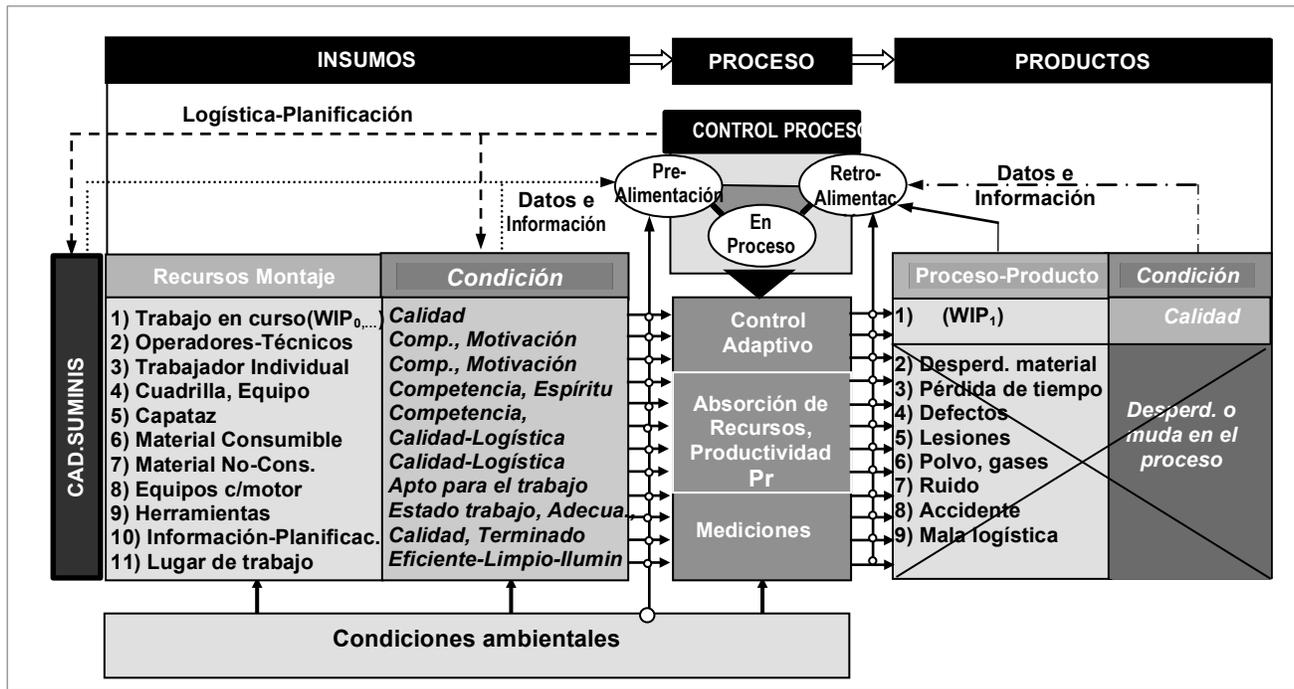


Figura 2. Modelo de control preventivo con prealimentación para procesos con cero pérdidas

### 3. Entendiendo las causas del desperdicio en los procesos

Se han publicado escasos trabajos sobre el estudio y las mediciones científicas de las pérdidas de proceso. En el último tiempo, varios artículos se han enfocado en las operaciones con barras de refuerzo de acero y hormigón (Moon et al. 2015; Moon y Bernold 2013; Zekavat et al., 2014). El artículo publicado en 2015 por el Journal of Construction Engineering and Management (JCEM) fue considerado un estudio de caso, a pesar de que se reportaron experimentos activos con diferentes métodos de suministro. La siguiente sección de este artículo muestra los resultados de un proyecto para identificar y cuantificar los “desperdicios muda” durante la construcción de una estructura de acero que se utilizará como bodega en un gran terreno de aproximadamente 13.000 m<sup>2</sup>.

#### 3.1 Visión general del proyecto

El diseño de un solo y gran piso está construido por elementos tradicionales: a) fundaciones de hormigón con placas de anclaje, b) columnas de acero soportantes y c) vigas en “I” de gran luz para la techumbre. Los paneles de moldaje para las fundaciones y los muros de hormigón son prefabricados en un lugar central de la obra por una cuadrilla de carpintería; estos paneles son acopiados (ver Figura 3a) para su utilización por la cuadrilla de montaje. La estructura de acero está diseñada con el software BIM, que está

integrado a las máquinas para laminar y cortar acero. Los elementos de acero son soldados y cargados en camiones de abastecimiento (ver Figura 3b) que transportan todo, incluyendo las tuercas y los pernos, a un lugar cercano donde los materiales son descargados mediante una grúa articulada montada en el camión. Cuando las fundaciones de hormigón están listas, se instalan las columnas y en el suelo se monta una plataforma de dos vigas (Figura 3 b<sub>3</sub>), la cual es colocada por medio de dos grúas en el lugar correspondiente.

La secuencia de la estructura de acero dicta la secuencia de la operación del hormigón y con ella la prefabricación de los paneles de hormigón y la instalación de las barras de refuerzo para las fundaciones. Debido a su importancia, las decisiones sobre las secuencias se toman durante una reunión conjunta entre los ingenieros de la oficina de diseño y los supervisores de construcción y fabricación de acero. La oficina de diseño presenta un proceso basado en el modelado BIM para lograr la estabilidad estructural durante la construcción. Luego, el supervisor de construcción planifica los recursos adecuados (contratación de mano de obra, materiales, herramientas, arriendo de maquinarias pesadas, etc.). Finalmente, el jefe de fabricación establece el orden de fabricación para cumplir con la secuencia del montaje de la estructura de acero. Esta planificación debe ser aprobada por los gerentes generales.





Figura 3. Cadenas de suministro para las fundaciones de hormigón y la estructura de acero

### 3.2 Observaciones preliminares para identificar las relaciones entre causa y efecto

Previo al diseño de un sistema de medición, se inició un extenso estudio de observación con el fin de definir los factores más críticos que contribuyen a las pérdidas en el proceso. El trabajo en curso se analizó por medio de los métodos de observación personal y de lapsos de tiempo. El objetivo inmediato fue establecer una lista de actividades y tareas, categorizándolas en productivas, de apoyo o no productivas. En una segunda fase se identificaron las causas del trabajo que no agregaba valor. La Figura 4 grafica el resultado de esta fase en la forma de un diagrama de espina de pescado (causa-efecto) que muestra las causas más críticas.

Es evidente que las causas identificadas coinciden con los estudios anteriores (Bernold y AbouRizk, 2010; Moon et al., 2015). Existen muchos factores relacionados con una mala o inexistente planificación de la logística de los suministros (por ej., zona de acopio del acero lejos del lugar de uso) y otros que se relacionan claramente con una mala comunicación o inexistente (por ej., esperar instrucciones).

Al observar el trabajo en terreno, quedó claro que muchos procesos eran de naturaleza cíclica y ofrecían la oportunidad de aplicar métodos estadísticos para su análisis. El primer paso, consistió en modelar los procesos como diagramas de flujo. La Figura 5 presenta el modelo para el crucial proceso de ensamblaje del acero para una sección de la techumbre.

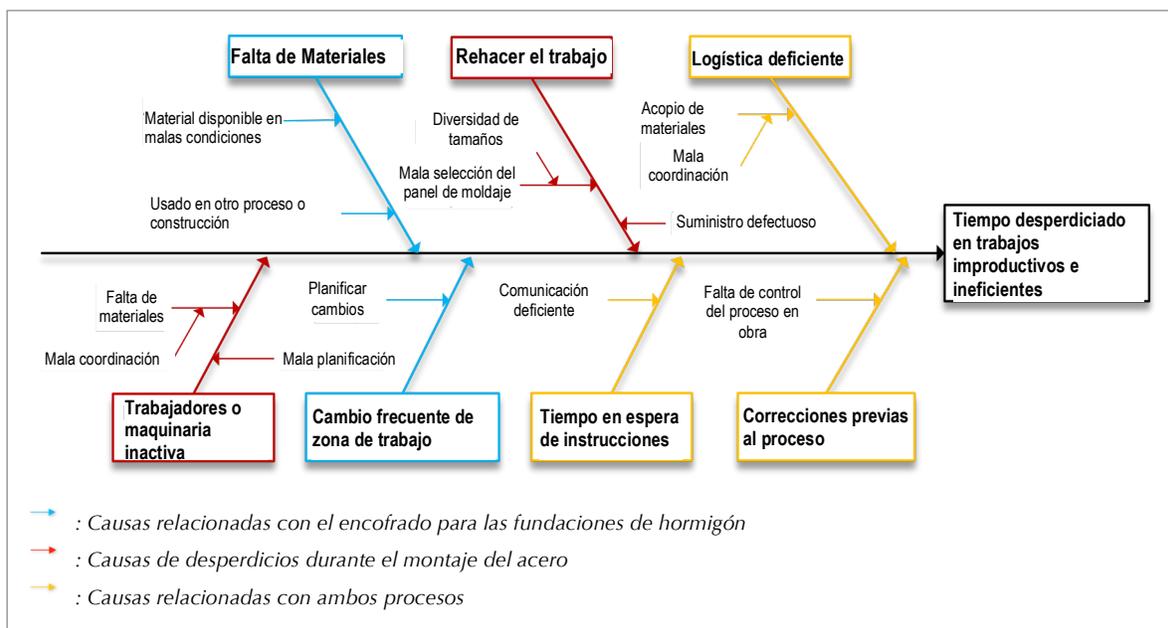


Figura 4. Diagrama de espina de pescado de las causas observadas que llevan al desperdicio de tiempo

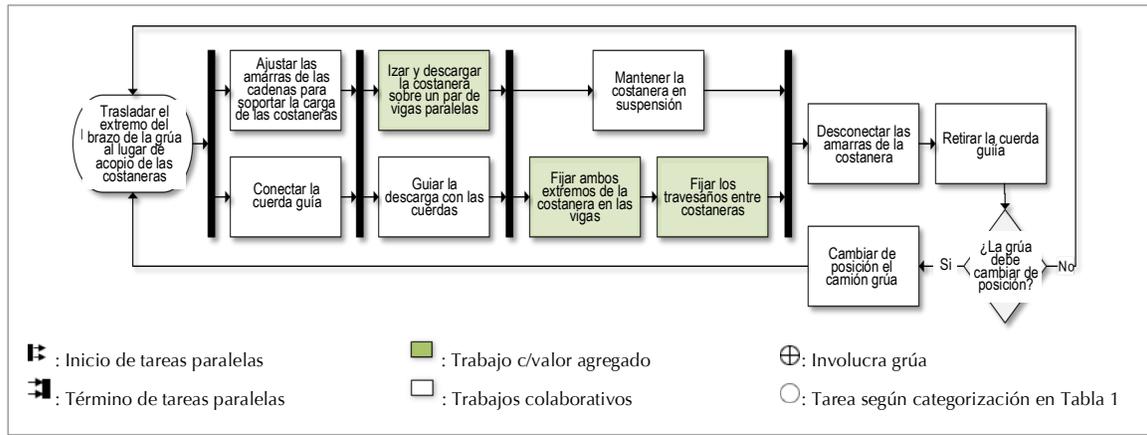


Figura 5. Modelo del proceso de ensamble de una sección de la techumbre de acero sobre el piso (Figura 3 b<sub>3</sub>)

Es obligatorio que el camión grúa sea controlado por un operador calificado porque este delicado trabajo requiere una capacitación previa certificada de acuerdo a las normativas. El servicio entregado por el camión grúa y por el operador se solicita a una compañía externa (subcontratista) que, como tal, incluye a un operador certificado. El operador tiene la única misión de controlar el camión grúa para el trabajo diario de acuerdo a las instrucciones indicadas en terreno por el supervisor.

#### 4. Instalación de un sistema de observación en terreno

Para asegurar la observación continua de la operación, se decidió usar dos cámaras de video IP inalámbricas instaladas en distintas ubicaciones. Su objetivo era cubrir la mayor parte del terreno vía video de modo de

captar el proceso para su análisis posterior. Por lo tanto, se instalaron dos cámaras inalámbricas en los extremos más largos del terreno (133 m x 97 m). La cámara 1 se ubicó a 15 m de la esquina y a 7 m sobre el nivel del terreno, alimentada por un cable eléctrico. La cámara 2, ubicada en el otro extremo del terreno, no se pudo alimentar con energía eléctrica, por lo que se le entregó energía mediante una batería de ciclo profundo de 75 AH y un inversor. Para conservar la energía y extender la vida útil de la batería, se usó un temporizador digital con lo que la batería sólo tuvo que ser recargada una vez a la semana. El temporizador cortaba la energía durante las horas en que no se trabajaba.

Como se aprecia en la Figura 6, la cámara 2 se montó en el extremo superior de un poste y su sistema de suministro eléctrico se colocó dentro de una caja amarrada a otro poste. El router para la conexión a WiFi, ubicado a 154 m de la cámara, era suficiente mientras ningún obstáculo se interpusiera en la línea de visión.

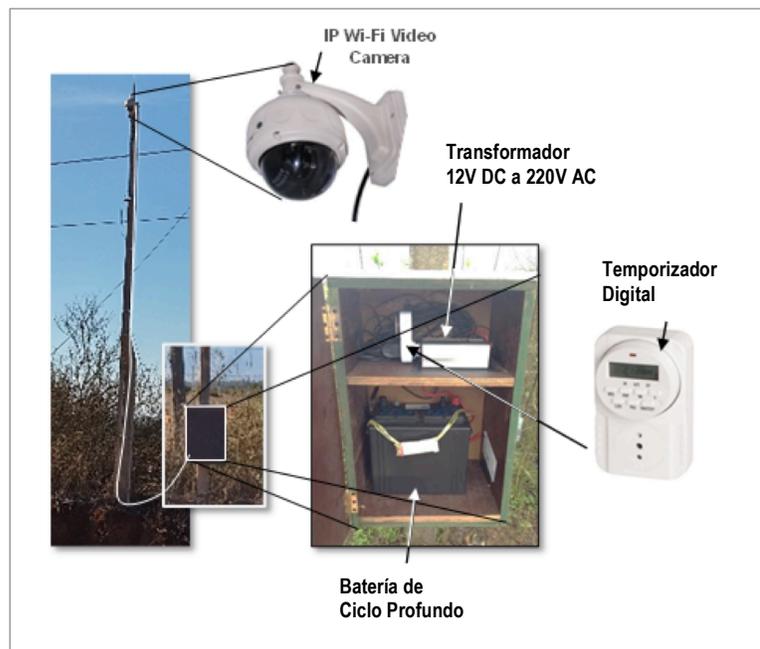


Figura 6. Estación de observación con batería eléctrica y conexión Wi-Fi a distancia



## 5. Diseño y evaluación de los datos del estudio de tiempo continuo

Se observaron ambas operaciones presentadas en la Figura 3, las fundaciones de hormigón y el montaje del acero, para recompilar los datos del proceso. El objetivo de esta fase era reunir datos estadísticamente válidos que verificaran las observaciones cualitativas que condujeron al diagrama de espina de pescado de la Figura 4. Se discuten los datos resultantes de los desperdicios identificados en el proceso.

### 5.1 Evaluación comparativa de los desperdicios en el proceso

Para construir la fundación con hormigón, el contratista deseaba implementar algunos cambios

recomendados después de que los estudios realizados previamente y detallados en terreno confirmaron los desperdicios de tiempo por falta de planificación, de acopio de los paneles de moldaje y de otros materiales. La Figura 7 presenta el resultado después de la eliminación de las actividades que provocaban los desperdicios, tales como: caminar con las manos vacías para ir en busca de un material y cambio en el promedio de horas de trabajo por panel de moldaje instalado. En consecuencia, las bajas graficadas son una combinación de la eliminación de trabajo desperdiciado y aumento de la eficiencia.

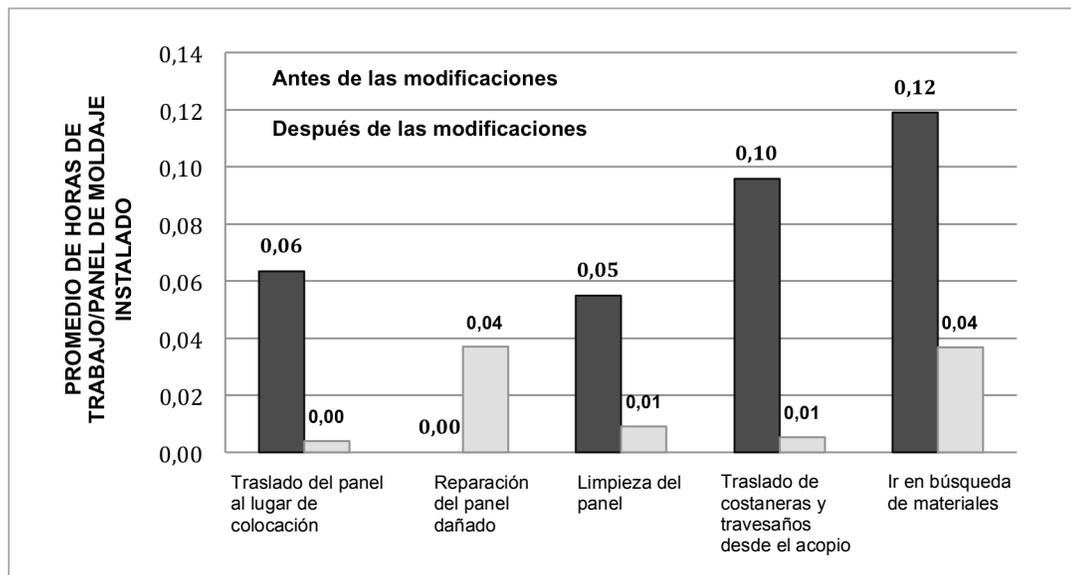


Figura 7. Comparación de la eficiencia en tiempo antes y después de la planificación logística de los materiales

El efecto de los cambios realizados en la cadena de suministro fue muy drástico, como se representa en el gráfico. Por ejemplo, en promedio, el tiempo para ir en busca de un panel de moldaje bajó de 0.06 a 0.005 hr-trabajo/panel. Se lograron aún mayores mejoras cuando la pérdida de tiempo para recoger las costaneras, bajó de 0.1 a 0.01 hr-trabajo/panel, y para ir en búsqueda de materiales de 0.12 a 0.04 hr-trabajo/panel. El único aumento que se produjo en el tiempo, fue el tiempo de reparación de algunos paneles dañados. En resumen, la planificación preventiva de la logística de abastecimiento de los paneles no solo redujo el trabajo de las actividades improductivas en un 67% sino que, e igualmente importante, el tiempo promedio necesario para la instalación de un panel se redujo de 71.2 a 28.8 min/panel instalado.

### 5.2 Estudio de tiempo continuo del proceso de montaje del acero

Este método para medir la cantidad de tiempo productivo e improductivo ocupado en un proceso fue descrito por Bernold y AbouRizk (2010). Como se describió anteriormente, se grabaron imágenes del trabajo realizado

usando dos cámaras inalámbricas conectadas a internet cuyas imágenes fueron analizadas. Entonces, el primer paso fue dividir el trabajo en las siguientes categorías predefinidas: 1) Valor agregado, 2) Trabajo contributivo, 3) Ineficiente, 4) Improductivo y 5) Personal. La Figura 8 presenta la asignación de 18 tareas a las 5 categorías que se usan para procesar los 69 ciclos de instalación de las costaneras de acero, que representan un total de 22.24 horas de trabajo.

El tiempo empleado por los 8 a 10 trabajadores es independiente del tiempo empleado por el operador de la grúa; los primeros resultados se indican como hr-trabajo, ya que el número de trabajadores dedicados a una tarea cambia al azar. Es muy fácil detectar la cantidad significativa de tiempo improductivo usado por ambos: el operador de la grúa, 11.7 hr-trabajo/69 ciclos y los trabajadores, 7.74 hr-trabajo/69 ciclos; en cambio, el tiempo promedio ocupado en el traslado de las costaneras a un lugar más cerca del lugar de montaje llegó a 2.4 hr-trabajo/69 ciclos.

Categoría de la tarea	Contenido de la tarea	Recursos Involucrados	69 Ciclos (22.24 hrs)		Pérdida de tiempo de trabajo	
			Hr-trabajo	Hr-grúa		
Valor agregado	1) Izar y colocar una costanera	Grúa+Oper	33.39	2.83		
	2) Fijar ambos extremos de la costanera en las vigas	2 Trabajadores				
	3) Fijar travesaños entre costaneras	3 Trabajadores				
Colaborativa	4) La grúa sostiene la costanera en su lugar	Grúa+Oper	14.36	8.57		
	5) Ajustar eslingas	2.5 Trabajadores				
	6) Conectar cuerda guía	1 Trabajadores				
	7) Guiar la costanera con la cuerda	1.1 Trabajadores				
	8) Retirar las eslingas	2 Trabajadores				
	9) Retirar la cuerda guía	1 Trabajadores				
Ineficiente	10) Cambio de posición del camión grúa	Grúa+Oper	2.40	0.00	3.2%	3.2%
	12) Traslado de una costanera desde el acopio	3.5 - 8.0 Trabajadores				
improductivo	13) Corregir mala posición de una viga	4 Trabajadores	7.74	11.70		24.8%
	14) Fijar una costanera ya instalada	5 Trabajadores				
	15) Camión grúa esperando por la mañana	Grúa+Oper				
	16) Grúa inactiva mientras cuadrilla hace otro trabajo	Grúa+Oper				
	17) Grúa inactiva mientras cuadrilla recibe instrucciones	Grúa+Oper				
Personal	18) Tiempo especial de descanso	Trabajadores	2.67			

Figure 8. Desglose de la labor de ensamblaje del acero con datos básicos promedio

Se calculó un sorprendente 28% del total de horas-trabajo de desperdicio o "muda" mientras la grúa y su operador permanecían inactivos por más del 50% del tiempo debido, principalmente, a que la cuadrilla era empleada por el supervisor para descargar otro camión con acero o para darles instrucciones.

## 6. Resumen y conclusiones

Un sistema será capaz de funcionar como un todo dependiendo de la calidad de cada una de sus partes así como de la habilidad para coordinarlas del modo más eficiente. Como lo demuestran repetidamente muchos desastres, un solo elemento de mala calidad puede provocar la destrucción de todo el sistema. La ISO 9000, publicada originalmente en 1987, fue el primer intento para certificar la capacidad de una empresa constructora para mantener una alta calidad y respetar las normas. La premisa era que una compañía certificada según la ISO 9000 entregaría productos o servicios de alta calidad. Por otra parte, Gotzamani y Tsiotras (2001) encontraron que la contribución más importante de implementar la ISO 9000 era el énfasis en la "gestión del proceso". Sin embargo, informe tras informe se nos dice que la industria de la construcción no está adoptando estos principios esenciales que conducirían a importantes mejoras (Sullivan 2011).

Este trabajo sostiene que el principal obstáculo para que la industria adopte el CCT (TQM) es su concepto obsoleto de control del proceso que confía en la información retroactiva de la inspección y reparación. El retraso en la productividad de la industria demuestra que ésta necesita cambiar. El trabajo que se discute aquí se basa en una metodología de planificación y control, que por naturaleza es preventiva, que aplican un control por prealimentación a la

calidad de los recursos para así evitar la mala calidad. Para verificar la efectividad de esta nueva filosofía, se realizó un estudio en terreno enfocado en las fundaciones de hormigón y en el montaje del acero. El principal objetivo era medir el efecto de la cadena de suministros tradicional de la construcción que se caracteriza por una serie de operaciones secuenciales de corto plazo de un equipo que demuestra una actitud de "juego de suma cero". Utilizando dos cámaras de video IP inalámbricas, se aplicó el estudio de tiempo continuo para cuantificar los tiempos productivos y totalmente improductivos (desperdicio en el proceso) usados por los trabajadores y por un camión grúa. Además, se evaluó el efecto de la planificación logística que demostró de manera drástica el potencial de una filosofía preventiva de cero pérdida ya que el tiempo dedicado a tareas improductivas se redujo en un 67%, lo que indica que aún queda mucho por hacer. Al mismo tiempo, el tiempo promedio para instalar un panel de moldaje se redujo en un 60%, debido principalmente a la eliminación del tiempo destinado a buscar y transportar el material del moldaje. Es evidente que estos increíbles valores pueden ser ampliamente mejorados.

Al observar y medir el montaje de las secciones de la techumbre en el piso se obtuvieron resultados similares. Aquí, el 28% de las horas de trabajo necesarias para ensamblar 69 costaneras fue improductivo e ineficiente porque la grúa y su operador estuvieron inactivos el 50% del tiempo.

Al igual que en los estudios anteriores sobre el control por prealimentación en la construcción, los proyectos que están aún en desarrollo entregan evidencia numérica de que si adoptaran el enfoque de gestión de proceso de cero pérdida no solamente eliminarían el costo por reparar la mala calidad después de la inspección sino que, sin costos adicionales, lograrían drásticas mejoras en la productividad de la construcción.



## 7. Referencias

- Bellah J., Zelbst P. J. and Green K. W. (2013)**, "Unique TQM practices and logistics performance," *Int. J. Produc. Quality Management*, 12(1), 61-72.
- Bernold L. and AbouRizk S. (2010)**, *Managing Performance in Construction*. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-0-470-17164-6.
- Forslund H. (2007)**, "Towards a holistic approach to logistics quality deficiencies." *Int. J. Quant Reliab. Mngmt*, 24, 944-957.
- Gotzamani K.D. and Tsiotras G.D. (2001)**, "An empirical study of the ISO 9000 standards' contribution towards TQM." *Int. J. Opera. Prod. Mngmt*, 21, 1326-1342.
- Moon S., Zekavat P.R. and Bernold L.E. (2015)**, Dynamic Control of Construction Supply Chain to Improve Labor Performance, *J. of Constr.Eng. Mngmt.*, ASCE, 14(6), pp. 5002/1-5002/12.
- Moon S. and Bernold L. E. (2013)**, "Causality Analysis for Dynamic Quality Control in Construction", *Int. J. Engrg. Tech*, 5(5), Oct., pp. 541-545.
- Rosenfeld Y. (2009)**, "Cost of quality versus cost of non-quality in construction: the crucial balance," *Constr. Mngmt. Economics*, (27), 107-117.
- Smith D. K. and Tardif M. (2012)**, *Building information modeling: A strategic implementation guide for architects, engineers, constructors, and real estate asset managers*, John Wiley & Sons, NY.
- Sullivan K. (2011)**, Quality Management Programs in the Construction Industry: Best Value Compared with Other Methodologies," *J. Management in Engineering*, 27(4), 112-120
- Zekavat P.R., Mortaheb M.M., Han S. and Bernold L.E. (2014)**, "Comparative Study of GPS-Integrated Concrete Supply Management using Discrete Event Simulation." *J. of Constr. Eng. Mngmt.*, 4(2), pp. 31-40. ISSN: 2233-9582.