

Creative Construction Conference 2016, CCC 2016, 25-28 June 2016

Information and Communications Technology in Construction: A Proposal for Production Control

Pablo Orihuela^{a,b,*}, Jorge Orihuela^b, Santiago Pacheco^b

^a*Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima 15088, Perú*

^b*Motiva S.A., Lima 15073, Perú*

Abstract

In order to improve feedback from the Cost Performance Index (CPI), it is necessary to know the reasons why Actual Cost differs from Planned Cost. At present, this information is collected and transferred orally, on paper, by telephone or e-mail. This paper proposes an information and communication technology that uploads information to an Intranet using electronic devices and mobile applications, thus encouraging the participation of workers and other stakeholders. This proposal aims to contribute towards information quality improvement in Production Control.

© 2016 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Peer-review under responsibility of the organizing committee of the Creative Construction Conference 2016

Keywords: automation; Information Systems in construction; ICT in construction; mobile devices; Production Control

1. Introduction

If we want to talk about improvement, of either companies or businesses from any field, we necessarily need to revisit Kaizen or Continuous Improvement, which proposes putting into practice the Shewhart Cycle, better known as Deming Cycle in Japan since it was Dr. Deming who made it public, or the PDCA Cycle (Plan–Do–Check–Act) [1-3].

In the civil construction field, applying this cycle consists of planning, execution, evaluation, and corrective measures for improvement; however, in practice, the third stage—the one pertaining to evaluation—is not successfully complied with. This is significantly due to the fact that information about the use of work resources is not reliable or is not available when necessary [4].

* Corresponding author. Tel.: +0-051-221-1093

E-mail address: porihuela@motiva.com.pe

This article proposes an information and communication system to collect data directly from the worksite and process it on the Web, thus we will be able to evaluate and control all the construction site activities on a continuous basis, having access to it from any place. This system was already patented by its authors several years ago with excellent results, but what we are incorporating in this new proposal is the technology to automatize both data collection and processing. Said system collects data from the three resources of production through electronic devices and process it with online software available in a Web application.

The Labour resource is reported by workers using touch screens in the late morning, and in the late afternoon at the end of each shift. Material consumption is recorded online by tracking the materials leaving the warehouse and being subsequently used. The use of Equipment, as the use of labour is controlled by the operators themselves. Finally, work progress is reported online on a daily basis from their worksite through digital tablets using store-and-forward applications.

2. Managing Production Information in Construction Works

The quality of production information in construction works is not consistent with current times; in practice, we can obtain accurate information at the end of the works in a financial statement of income and expenses. Apart from being late, the information delivered by traditional control systems is too grouped to be useful for controlling and planning decision making [5, 6].

In the last two decades, construction industry has shown great advances in the use of ICTs worldwide, even in small and medium-sized enterprises, as described by several authors [7-12]. However, as Dave et al [13] conclude based on the work of Tartari et al [14]: the “majority of ICT solutions within construction industry are applied to the peripheral processes” and “site management and other construction related activities have remained virtually unaffected.” Additionally, 90% of ICT expenses are incurred for the technical work office or head office and only 10%, for field use [15].

This is consistent with Bowden’s studies [16, 17], which presents the existence of 85 paper-based tasks carried out on-site as part of their daily normal work. “These were grouped into different document types revealing the most commonly identified tasks as completing data collection forms (25%), dealing with correspondence (18%), viewing and reviewing drawings (13%) and reading and writing specifications (6%)”.

From the research conducted in the UK by Chen and Kamara [18], it can be concluded that the information necessary for production monitoring (materials, labour, equipment and progress) is collected using paper-based forms (65%); by remembering the information (28%); and through mobile devices (only 7%), as can be seen in Figure 1. In addition, as shown in Figure 2, transfer of the information collected is done mainly in face-to-face meetings (42%), by e-mail (31%) or phone (20%), and only 7% is sent over the Intranet or Extranet [18].

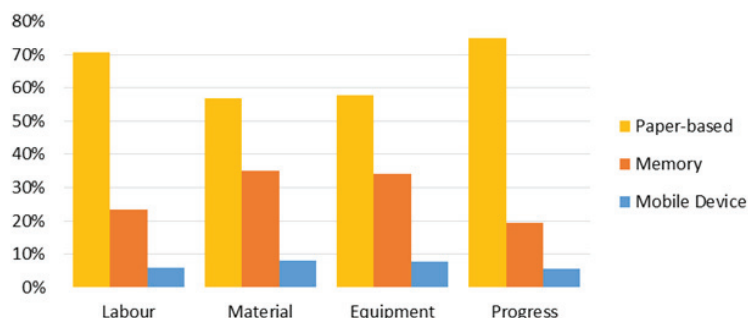


Fig. 1. Production information collection methods.

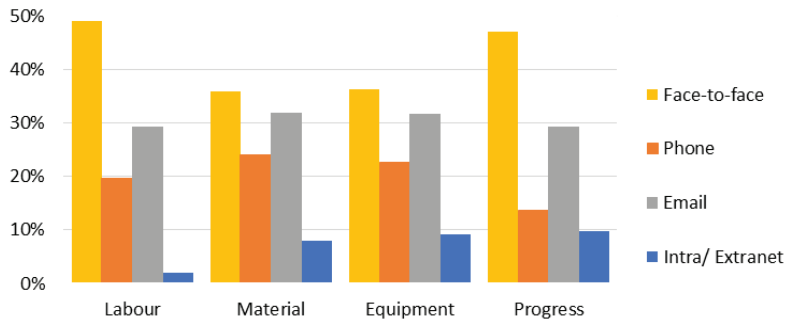


Fig. 2. Production information transfer mediums.

The results presented demonstrate the inefficient manner in which production information is handled on the construction site and the existence of great improvement opportunities. The Information Technology and System proposed in this paper eliminates the need to fill out information collection forms about the use of production resources during the information collection process. In addition, this information is entered directly to a Web application, so it does not require an additional information transfer process.

3. Continuous Improvement in Production Control

Production Control must be planned within the framework of Continuous Improvement. If control activities indicate that we are doing something wrong, it is necessary to identify the problem to solve it. Likewise, if we are getting good results, it is necessary to determine which the effective practices are in order to standardize them. Therefore, the control in the Check stage of the PDCA Cycle must provide enough information to identify why those results were obtained and act accordingly, thus closing the cycle.

In order to implement Continuous Improvement in Production Control, the Lean Construction Institute proposes using the Last Planner System®. For the first stage (Plan), they suggest following this sequence: Master Schedule, Phase Schedule, Look Ahead Plan, and Weekly Work Plan (see Figure 3a). After the Weekly Work Plan has been executed (Do), the Percentage of Plan Complete (PPC) and the Reasons for Non-Compliance (RNC) must be verified (Check) in order to complete the learning process. However, these indicators only shed light on the efficiency of the program, not on the costs.

On the other side, for this Continuous Improvement, the Project Management Institute proposes the Earned Value Technique (see Figure 3b) in its PMBOK Guide. First, Planned Value (Plan) must be estimated, and then Earned Value and Actual Costs (Do) must be calculated at the end of any control period. After obtaining these three values, we have to calculate (Check) the Cost Performance Index (CPI) and the Schedule Performance Index (SPI) and then act accordingly. Nonetheless, these indicators are very broad and we consider that CPI should also include some RNC like PPC does.

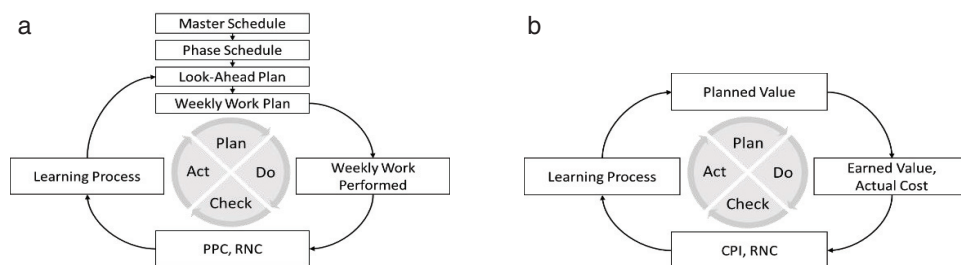


Fig. 3. (a) The Last Planner System® and Continuous Improvement; (b) Earned Value and Continuous Improvement.

Thus, it is necessary to make a Root Cause Analysis of the Actual Cost and apply the 5 Whys Technique, with which we will obtain a Tree Diagram as shown in Figure 4, where the 7 root causes that can make the Actual Cost differ from the Earned Value are displayed.

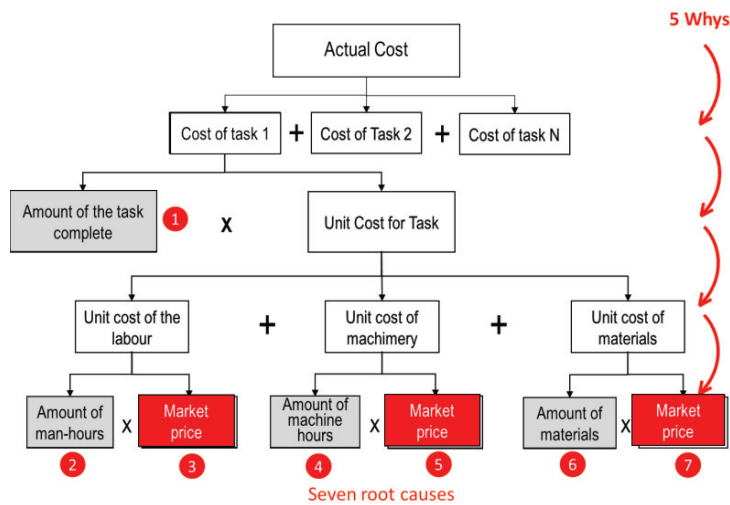


Fig. 4. Root Causes for the difference between Actual Cost and Earned Value.

From these 7 causes, 3 of them are very easy to obtain since they are market prices set for supplies. However, in order to obtain the remaining 4 causes, detailed field information is required. This is where our proposed ICT System contributes to Production Control.

4. Proposed Information Technology and System

Our proposal focuses on production improvement: The first issue is to improve the quality of poor communication and information between the management, professional and technical staff, and the productive entity by building a bridge that efficiently completes the feedback-based improvement cycle.

The proposed information collection is described below:

4.1. Defining the Baseline

Before starting the construction work, it is necessary to define the baseline to which the production control and tracking is going to be compared. This baseline is made up of construction Time, Cost and Scope; therefore, information about work budget, activities schedule and technical specifications must be previously entered in the system.

4.2. Collecting Information about the Use of Labour and Equipment

The main proposal of our system focuses on breaking the deep-seated paradigm, especially in the construction sector, which is managing works according to Theory X. Whereas this theory considers that the workers cannot control themselves, cannot be motivated, and just work for money [19], our system supports on Theory Z, proposed by William Ouchi and intermediate point between Mac Gregor's Theory X and Theory Y [20], which considers that workers are not motivated only by money but also by new challenges and the trust their company may place in them.

By delegating the responsibility for information to the source of production, i.e. the workers themselves, a permanent control is available, not over discretionary samples, but over 100% of the activities and 100% of the resources. Therefore, at the end of their shifts and at lunch time, workers go to the registration site, identify themselves using a biometric face reader (Figure 5a), and make a self-report about the time destined to each activity (Figure 5b) using touch screens.

The Web application developed for this operation was designed to be user-friendly, so it does not pose any obstacle for workers to execute this action. The identification of activities shows images to help them easily identify the activities performed, while the display of images on the screen is automatically filtered according to the worker's profile after his identification. This requires less effort and it is easier for workers to draw up self-reports about the time spent in each activity.

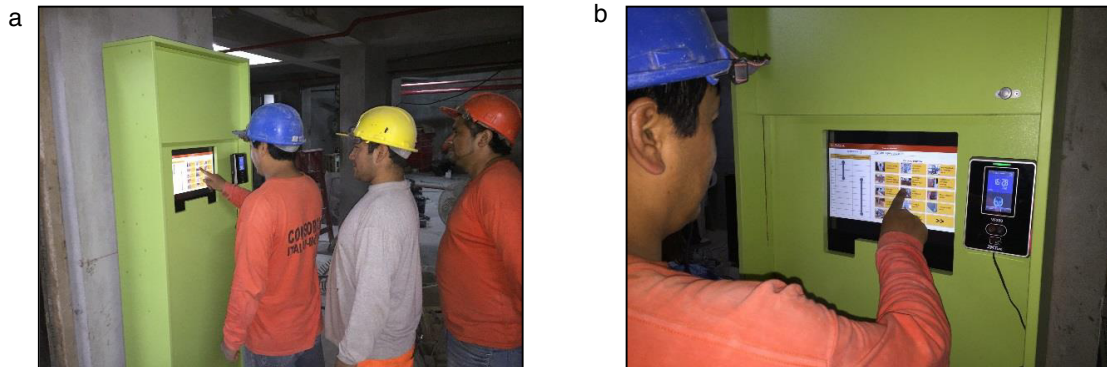


Fig. 5. (a) Worker identification and self-report; (b) Worker self-report on a touch screen.

Before entering the worksite, new workers watch a 30-minute training video that easily and readily explains the information system, the importance of this system for the company, and how they are expected to participate. Every new worker must watch this video and take a short guided test on self-reporting. Additionally, workers who have operated equipment or machinery must also make a report, in a similar manner, about how long they have been operating them.

4.3. Collecting Information about the Use of Materials

All material that enters the worksite must be registered in the warehouse. For this task, the warehouse keeper can access to the system to directly register it on the Web, recording also the quantity received and unit cost. Then, when these materials are required to be used, he must also record their exit, showing the quantity and destination record.

4.4. Collecting Information about the Amount Work Progress

Due to the nature of production in construction, the amount of work progress is recorded on site, going around the worksite registering information in different places where tasks have been carried out. This information is collected by a person in charge at the end of the workday using a digital tablet (Figure 6a). This procedure helps save time normally spent to transfer the collected data—generally on paper—to a control system, which in most cases is done in an electronic spreadsheet. In order to avoid that the lack of Wi-Fi connection in the worksite where we record the work progress becomes an issue, an application for mobile devices with a store-and-forward feature is used allowing information to be temporarily stored in the device (Figure 6b) and then automatically upload it on the Web as soon as a Wi-Fi connection is available.

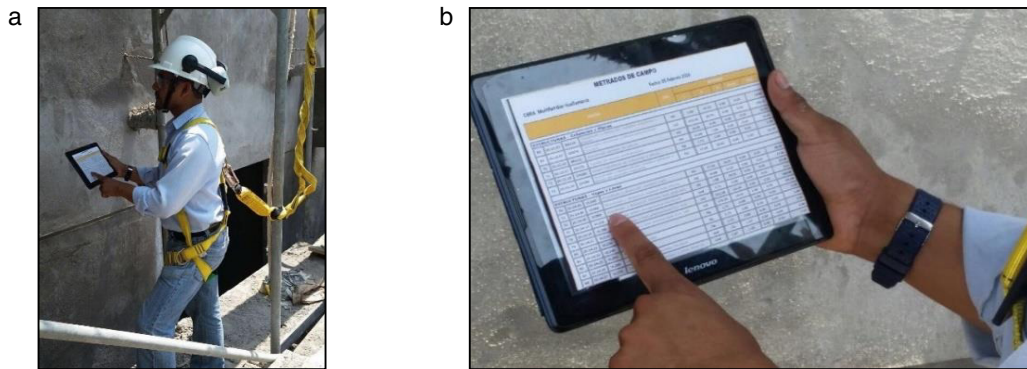


Fig. 6. (a) On-site work progress registration; (b) Use of digital tablets and store-and-forward.

4.5. Production Reports

Once the system has all the daily production information uploaded to the Web, several reports will be available to track, control and have a quite clear idea of the global labor productivity at any given time. The different reports can be accessed at any stage of the works with one-day accuracy and the performance diagnosis can be obtained within the periods matching the dates when the work progress was recorded, thus reaching a 100% control of the works without incurring excessive control staff expenses since the system is practically run by the workers themselves.

By reviewing each user profile, different stakeholders can access varied reports according to their needs. For instance, crew leaders and the foreman can check their staff performance; contractors can track their staff if they also participate in this system; warehouse keepers can check all incoming and outgoing materials as well as valued stock; administrative offices can get updated information on staff assistance to calculate payrolls; professionals involved in the works can check the details concerning schedule, costs and performance of each task; or the management can check production ratios, actual results, and results projected for the end of the works.

Figure 7 shows the traditional information flow corresponding to production in construction works, while Figure 8 shows the same flow with the system we propose if implemented. The benefit we obtain can be clearly notice, by simplifying the collection, transfer, storage, processing, distribution and communication of data for the stakeholders.

5. Contribution of the system for the Continuous Improvement

Feedback in construction works is managed late with approximate figures, isolated samples, and not very trustworthy information, which prevents us from implementing a continuous improvement cycle in an effective manner. Thanks to this system, information is continuous and permanent, and since the controlling of the activities executed is carried out with the same accuracy as the controlling of the activities planned, we receive a very efficient feedback the day after the execution of the budgeted record. Additionally, this system shows us the root causes behind why the executed activities failed to meet the planned goals to take corrective measures, get lessons learned, modify processes, propose innovations, etc.

Having this Web-based system makes it possible to share information with all the stakeholders, thus providing feedback in every direction, promoting proposals of continuous improvement supported on a collaborative teamwork. An important aspect is that the Management should be involved. Normally, due to restrictions of time, distance, access, or poor communication, the Management loses its connection with on-site problems, i.e. it does not get involved or support the continuous improvement programs for the projects. On the other side, we have the workers who are contributing now with the system in a significant way, making them important agents for project development.

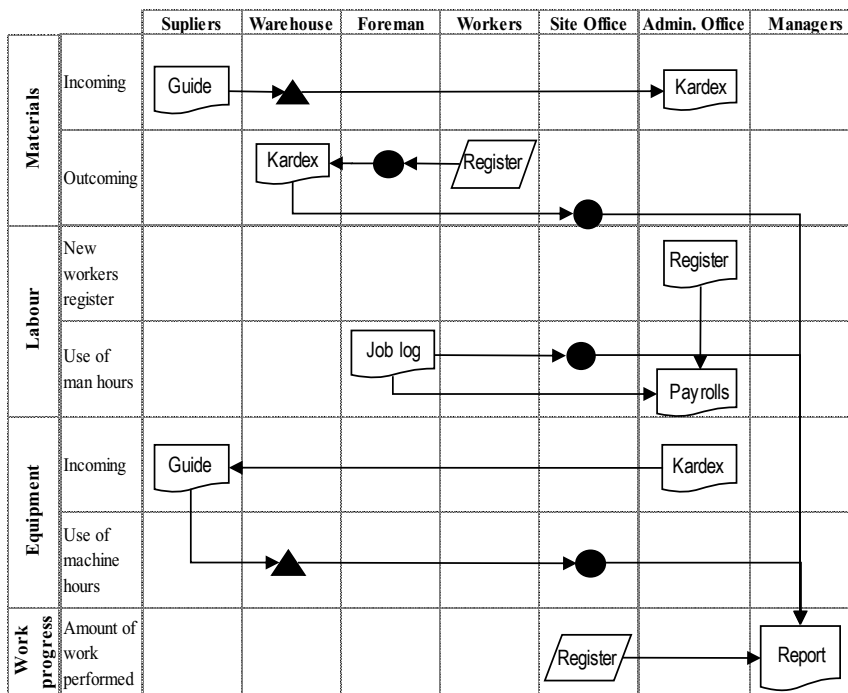


Fig. 7. Traditional production information flow.

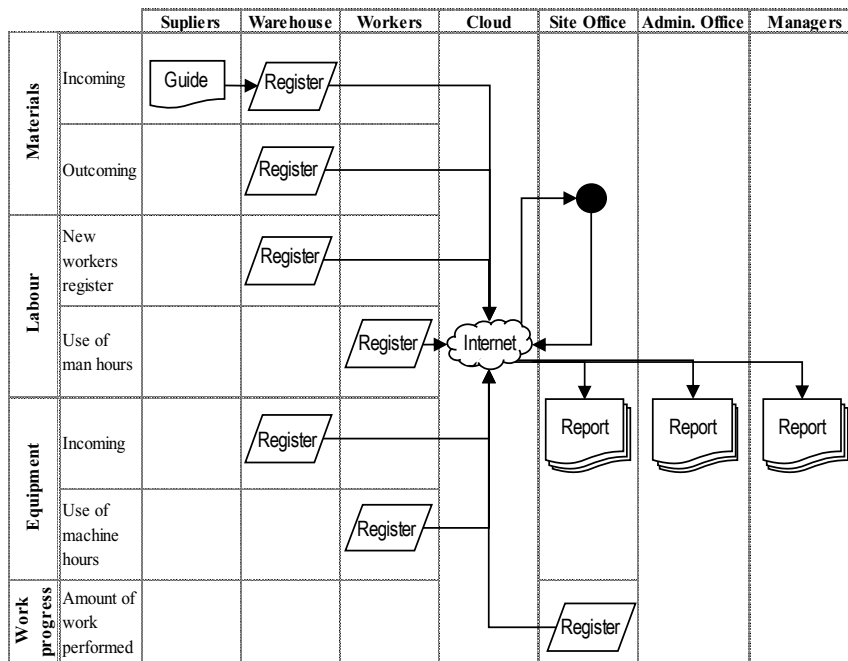


Fig. 8. Production information flow with the proposed system.

This constant feedback allow us to evaluate innovations since we can compare the new results with the ones obtained before the implementation and have a historical data bank for the company, enabling us to plan future projects.

6. Conclusions

CPI shows how different our Actual Cost is from the Earned Value, but after analyzing the root cause of the Actual Cost and applying the 5 Whys Technique, we will get the 7 causes behind this difference. Getting information on 3 of them is easy because they are market prices; however, for the other 4, an information and communication system as the one we are proposing in this paper is necessary. In this way, we can now have 7 performance indicators for each advanced task and know in detail the reasons for change in our Actual Cost compared to the Planned Cost.

The system we propose is based on 3 main points: 1). Transfer the task to obtain most of the production information to the workers. 2). Use Web applications to promote collaborative work to enter data and distribute shared information. 3). Use electronic devices to make data collection easier.

The first point—considered crucial and questionable—has been a daily successful practice in all the works our company has been carrying out for many years. The second point also shows the same scenario since we already have an intranet containing a module with the presented proposal that is thoroughly approved by all the stakeholders. On the other hand, the third point is an innovation in pilot stage, which we intend to use to complete the missing link in order to create an efficient Continuous Improvement Cycle application for the construction sector.

References

- [1] M. Walton, *The Deming Management Method*, Penguin, New York, 1988.
- [2] M. Imai M., *KAIZEN, The key to Japan's Competitive Success*, Random House Business Division, New York, 1986.
- [3] J. K. Liker, *The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*, second Ed., McGraw-Hill, New York, 2013.
- [4] B. Dave, S. Boddy, L. Koskela, Improving Information Flow within the Production Management System with Web Services, in: K. Walsh, T. Alvarez (Eds.), 18Th Annual Conference Of The International Group For Lean Construction, Haifa, 2010, 445-455.
- [5] P. R. C. Marchesan, T. Formoso, Cost Management and Production Control for Construction Companies, in G. Ballard, D. Chua (Eds.), 9Th Annual Conference Of The International Group For Lean Construction, Singapore, 2001.
- [6] R. Navon, R. Sacks, Assessing research issues in Automated Project Performance Control (APPC), *Automation in Costruction*, 16 (2007) 474-484.
- [7] R. Howard, A. Kiviniemi, O. Samuelson, Surveys of IT in the Construction Industry and Experience of the IT Barometer in Scandinavia, *ITcon*, 3 (1998) 45-56.
- [8] E. Tas, F. P. Irlayici, A survey of the use of IT in building product information acquisition in Turkey, *ITcon*, 12 (2007) 323-335.
- [9] A. O. Michaloski, A. P. Cabral, A survey of IT use by small and medium-sized construction companies in a city in Brazil, *ITcon*, 15 (2010) 369-390.
- [10] A. Alaghbandrad, E. Asnaashari, C. Preece, Problems and Barriers of Ict Utilization on Iranian Construction Sites: Case Study on the Successful Use of ICT in Remote Construction Sites, *ITcon*, 17 (2011) 93-102.
- [11] A. Abuelmaatti, B. Hall, V. Ahmed, Collaborative Technologies for Small and Mediumsized Architecture, Engineering and Construction Enterprises: Implementation Survey, *ITcon*, 19 (2014) 210-224.
- [12] E. O. Ibem, S. Laryea, E-Procurement Use in the South African Construction Industry, *ITcon*, 20 (2015) 364-384.
- [13] B. Dave, L. Koskela, M. Kagioglou, S. Bertelsen, A Critical Look at Integrating People, Process and Information Systems Within the Construction Sector, in P. Tzortzopoulos, M. Kagioglou (Eds.), 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Manchester, 2008.
- [14] O. Tatari, D. Castro-Lacouture, M. J. Skibniewski, Current state of construction enterprise information systems: survey research, *Construction Innovation*, 7 (2007) 310-319.
- [15] Autodesk, Autodesk BIM 360 Field Overview, 2013. Online at: <http://www.autodesk.com/products/bim-360-field/overview>, accessed on July 14, 2016.
- [16] S. Bowden, *The Appropriate Use of I.T. on a Construo tion Site*, Loughborough University, 2002.
- [17] S. Bowden, A. Dorr, A. Thorpe, C. J. Anumba, Mapping site processes for the introduction of mobile IT, in A. Dikbas, R. Scherer (Eds.), *Proceedings of the 5th European conference on product and process modeling in the building and construction industry*, Istanbul, 2004.
- [19] D. McGregor, *The Human Side of Enterprise*, McGraw Hill, New York, 1960.
- [20] W. Ouchi, *Theory Z*, Avon, New York, 1982.

TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN: UNA PROPUESTA PARA EL CONTROL DE LA PRODUCCIÓN^(*)

Pablo Orihuela¹, Jorge Orihuela², Santiago Pacheco³

(*) Traducción de la versión original en inglés. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816339455>

RESUMEN

Para mejorar la retroalimentación que nos da el Índice de Desempeño del Costo (CPI), es necesario conocer las razones que hacen que el Costo Actual difiera del Costo Planificado. Actualmente, esta información es obtenida y trasferida en forma oral, escrita en papel, por teléfono o por correo electrónico. Este artículo propone una tecnología de información y comunicación, que usando dispositivos electrónicos y aplicaciones móviles, sube la información a una intranet, promoviendo además la participación de los propios trabajadores y demás involucrados. Esta propuesta pretende contribuir a la mejora de la calidad de la información en el control de la producción.

KEYWORDS: AUTOMATION; INNOVATION; ICT IN CONSTRUCTION; MOBIL DEVICES; PRODUCTION CONTROL.

¹ Motiva S.A., Prof. Asociado P.U.C.P., MDI CEMTRUM, Av. Dos de Mayo 1502 Of. 502 San Isidro, 2211093, porihuela@motiva.com.pe

² Motiva S.A Av. Dos de Mayo 1502 Of. 502 San Isidro, 2211093, jorihuela@motiva.com.pe

³ Motiva S.A Av. Dos de Mayo 1502 Of. 502 San Isidro, 2211093, spacheco@motiva.com.pe

INTRODUCCIÓN

Si queremos hablar de mejoramiento, ya sea de empresas o negocios de cualquier rubro, necesariamente caemos bajo la sombra del Kaisen o el Mejoramiento Continuo, el cual propone poner en práctica el Ciclo de Shewhart, más conocido en el Japón como el ciclo de Deming porque fue el Dr. Deming quien lo dio a conocer o también como el Ciclo del PHEA (Planificar – Hacer – Evaluar – Actuar) [1-3].

En el rubro de la construcción civil, la aplicación de este ciclo consiste en: el planeamiento de la obra, la ejecución, la evaluación y la toma de acciones con miras al mejoramiento; sin embargo, en la práctica el tercer paso, referente a la evaluación, no se cumple satisfactoriamente. En gran medida, esto se debe a que la información acerca del uso de los recursos de la obra no es confiable o no está disponible en el momento en que es necesaria [4].

El presente artículo propone un sistema y tecnología de información y comunicación para capturar los datos directamente desde el sitio de trabajo y procesarlos vía web, con lo cual podremos evaluar y controlar una obra de construcción en forma continua, en la totalidad de sus actividades y con un acceso desde cualquier lugar donde nos encontremos. Este sistema ya ha sido patentado por los autores varios años atrás, con excelentes resultados, pero, en esta nueva propuesta, se está incorporando tecnología para automatizar tanto la toma de información como su procesamiento. Dicho sistema captura la información de los tres recursos de la producción a través de dispositivos electrónicos, y los procesa mediante un software en línea disponible en una aplicación web.

El recurso Mano de Obra, es reportado mediante pantallas táctiles, por los propios obreros al finalizar la mañana y al finalizar la tarde de cada jornada de trabajo; el consumo de los Materiales, es registrado en línea mediante su salida del almacén y posterior uso; y la utilización de los Equipos, al igual que la mano de obra es controlada por los propios operadores. Finalmente, las cantidades de trabajo ejecutado, son reportadas diariamente desde el lugar de su ejecución, en línea y mediante tabletas digitales usando aplicaciones del tipo store and forward.

LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

La calidad de información de la producción en las obras de construcción no es acorde con los tiempos actuales; en la práctica, muchas veces la información precisa sólo existe mediante los registros contables. Además de ser tardía, la información entregada por los sistemas tradicionales de control está muy agrupada para ser útil en la toma de decisiones de planeamiento y control [5,6].

En las últimas dos décadas, la industria de la construcción ha mostrado grandes avances en el uso de TICs a nivel mundial, incluso en empresas medianas y pequeñas, como lo muestran diversos autores [7-12]. Sin embargo, como concluyen Dave et al [13] a partir del trabajo realizado por Tartari et al [14] la mayoría de las TICs dentro de la industria de la construcción son aplicadas a procesos periféricos y la gestión en obra y otras actividades relacionadas a la construcción han permanecido sin cambios. Adicionalmente, el 90% de los gastos en TICs son para la oficina técnica de obra o la oficina central y solo el 10% corresponde a gastos en TICs para su uso en campo [15].

Esto concuerda con los estudios de Bowden [15, 16], quien demuestra que existen 85 tareas realizadas en obra dentro del trabajo cotidiano que utilizan documentos de papel como herramienta. Estas fueron agrupadas según los distintos tipos de documento, mostrando que las áreas más comúnmente realizadas fueron completar formatos de recolección de datos (25%), atender correspondencia (18%), visualizar y revidar planos (13%) y leer y escribir especificaciones (6%)”.

De la investigación realizada en Reino Unido por Chen y Kamara [18], se puede concluir que la recolección de información necesaria para el control de producción (materiales, mano de obra, equipo y avance) se hace en un 65% usando formatos en papel, en un 28% en la memoria de quien recoge la

información, y sólo en un 7% a través de dispositivos móviles, como se puede observar en la Figura 1. Asimismo, como se observa en la Figura 2, la transferencia de esta información recolectada se realiza principalmente cara a cara (42%), por email (31%) y por teléfono (20%) y solo en un 7% por medio de una intranet o extranet [18].

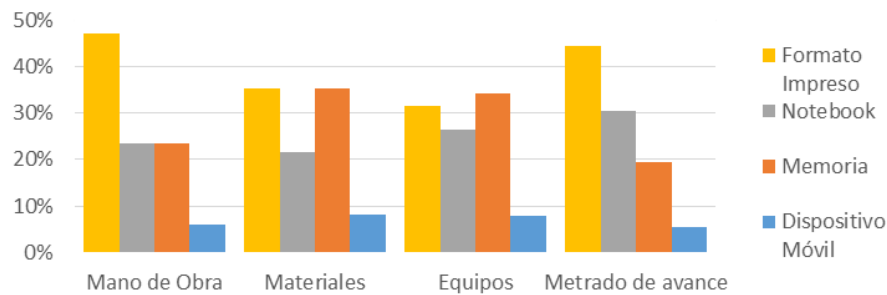


Figura. 1. Métodos de toma de información de la producción.

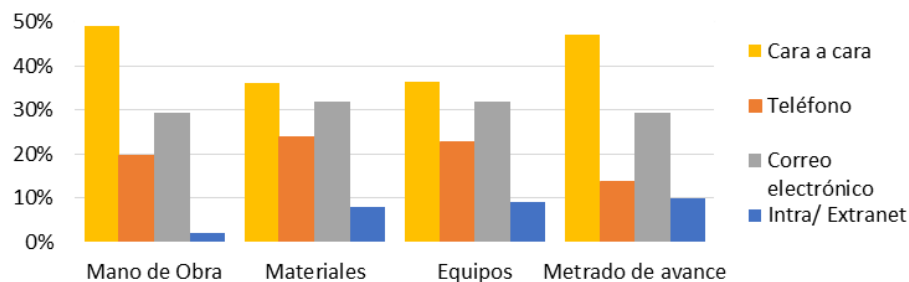


Figura. 2. Medios de transferencia de información de la producción.

Los resultados presentados evidencian la forma ineficiente en la que se maneja la información de la producción en las obras de construcción y las grandes oportunidades de mejora existentes. El Sistema y Tecnología de Información propuestos en este artículo reducen a cero el llenado de formatos de recolección de datos del uso de los recursos de producción. Además, esta información es ingresada directamente a una aplicación web, por lo que no requiere de un proceso adicional de transferencia de información.

LA MEJORA CONTINUA EN EL CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

El control de la producción debe hacerse dentro del marco de la mejora continua. Si el control nos indica que estamos haciendo algo mal, es necesario saber qué es lo que se está haciendo mal para poder mejorarlo. De igual manera, si estamos teniendo buenos resultados, es necesario saber qué los está ocasionando para estandarizar la práctica. Por ello, el control dentro de la etapa Revisar del ciclo PHRA debe darnos la información suficiente para identificar por qué se obtuvieron los mismos y poder actuar, cerrando así el ciclo.

Para efectuar esta mejora continua en el Control de Producción, el Lean Construction Institute propone el uso del Last Planner System®. Para la primera fase (Planificar), ellos proponen la secuencia de la Planificación Maestra, la Planificación por fases, el Look-Ahead y la Planificación Semanal (ver Figura 3a). Luego de que el Plan Semanal ha sido ejecutado (Hacer), se deben verificar (Evaluar) el Porcentaje de Planificación Cumplida (PPC) y las Razones de no Cumplimiento (RNC), de tal manera que se complete el proceso de aprendizaje. Sin embargo, estos indicadores nos informan acerca de eficiencia de la programación, pero no acerca del costo.

Por otro lado, para esta mejora continua, el Project Management Institute, a través de la Guía del PMBOK, propone la Técnica del Valor Ganado (ver Figura 3b), para lo cual primero debemos estimar el Valor Planeado (Planificar); luego, al terminar cualquier periodo de control debemos calcular el Valor Ganado y el Costo Actual (Hacer); después con estos tres valores debemos calcular (Evaluar) el Índice de Desempeño del Costo (CPI) y el Índice de Desempeño del Cronograma (SPI) y así actuar donde corresponda. Sin embargo, estos indicadores son muy generales por lo que creemos que, al igual que el PPC, el CPI deberían tener unas RNC.

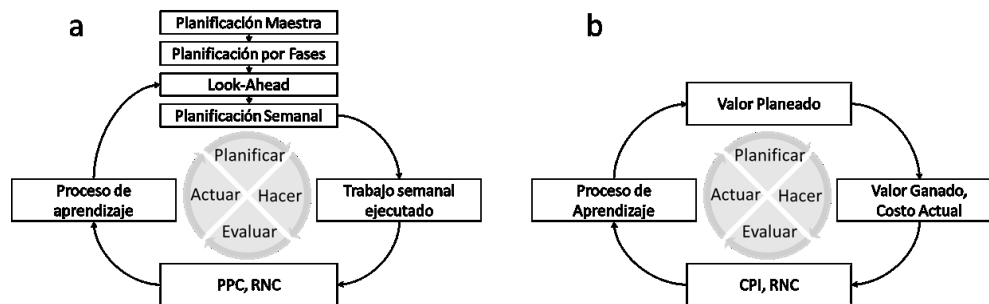


Fig. 3. (a) El Last Planner System® y la Mejora Continua; (b) El Valor Ganado y la Mejora Continua.

Para ello es necesario hacer un Análisis de Causa Raíz del Valor Actual y aplicar la Técnica de los 5 ¿Por qué?, con lo cual obtendremos un Diagrama de Árbol como el mostrado en la Figura 4, donde podemos ver las 7 causas raíz que pueden hacer que el Valor Actual difiera del Valor Ganado.

De estas 7 causas, 3 de ellas son muy fáciles de obtener porque son precios de insumos de mercado; sin embargo, para obtener las otras 4 causas se requiere contar con información detallada de campo. Es aquí donde nuestro Sistema de ICT propuesto para el control de producción tiene su contribución.

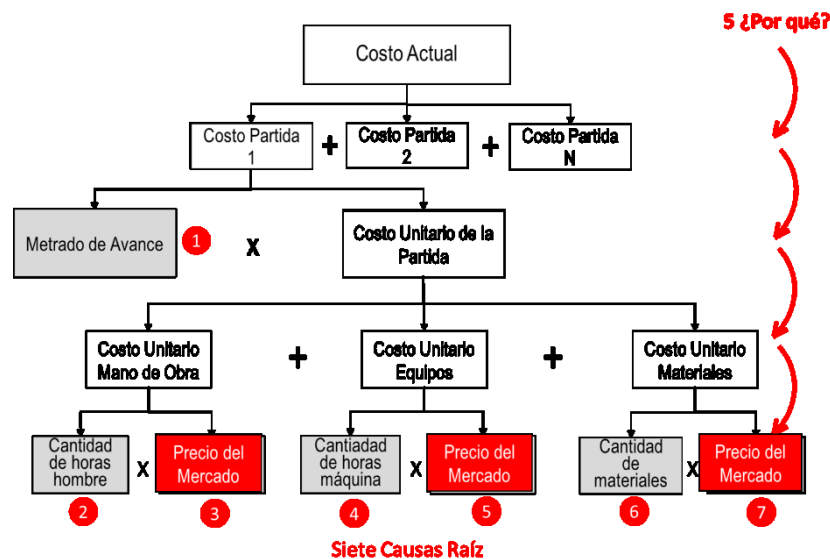


Fig. 4. Causas Raíz de la diferencia entre el Costo Actual y Valor Ganado.

EL SISTEMA Y TECNOLOGÍA DE INFORMACIÓN PROPUESTOS

Nuestra propuesta enfoca la mejora de la producción, resolviendo en primer lugar la mala calidad de la comunicación e información entre la gerencia, el personal profesional y técnico de la obra y el ente

productivo, tendiendo para esto un puente que complete eficientemente el ciclo del mejoramiento basado en la retroalimentación. A continuación, se describe la toma de información propuesta:

Ingreso de la línea base

Antes del inicio de obra, se debe ingresar la línea base contra la cual se va a efectuar el seguimiento y control de la producción, esta línea base está compuesta por el Tiempo, Costo y Alcances del proyecto de construcción, por lo tanto el sistema debe ser previamente alimentado con el presupuesto de obra, la programación de actividades y las especificaciones técnicas.

Captura de la información respecto al uso de la mano de obra y el uso de los equipos

La propuesta central de nuestro sistema se basa en romper un paradigma muy arraigado, sobre todo en el sector construcción, que es la Teoría X. Mientras que esta considera que el trabajador no es capaz de autocontrolarse, no es motivable y sólo trabaja por dinero [19], nuestro sistema se basa en la Teoría Z, propuesta por William Ouchi, e intermedia entre la Teoría X y la Teoría Y, ambas de Mac Gregor [20], la cual considera que al trabajador, además del dinero, también lo motivan los nuevos retos y la confianza que la empresa pueda depositar en ellos.

Al delegar la responsabilidad de la información a la misma fuente de producción, es decir a los propios obreros, se dispone de un control continuo, no sobre muestras discrecionales, y sobre el 100% de las partidas y el 100% de los recursos. Para ello, los obreros, a la hora del almuerzo y al salir del trabajo, se acercan a los lugares de registro, se identifican usando un lector biométrico de rostro (Figura 5a) y mediante una pantalla táctil, efectúan un auto-reporte del tiempo que han destinado a cada actividad (Figura 5b).

La aplicación web desarrollada para esta operación ha sido diseñada de una manera muy simple y amigable, de tal manera que los obreros no tengan ninguna barrera que dificulte esta acción. La identificación de las actividades cuenta con imágenes que los ayudan rápida y fácilmente a identificar las labores realizadas y el despliegue de estas imágenes en la pantalla, es automáticamente filtrado de acuerdo al perfil del obrero luego de su identificación, esto permite un menor esfuerzo y comodidad para el auto-reporte de los tiempos usados en cada actividad.

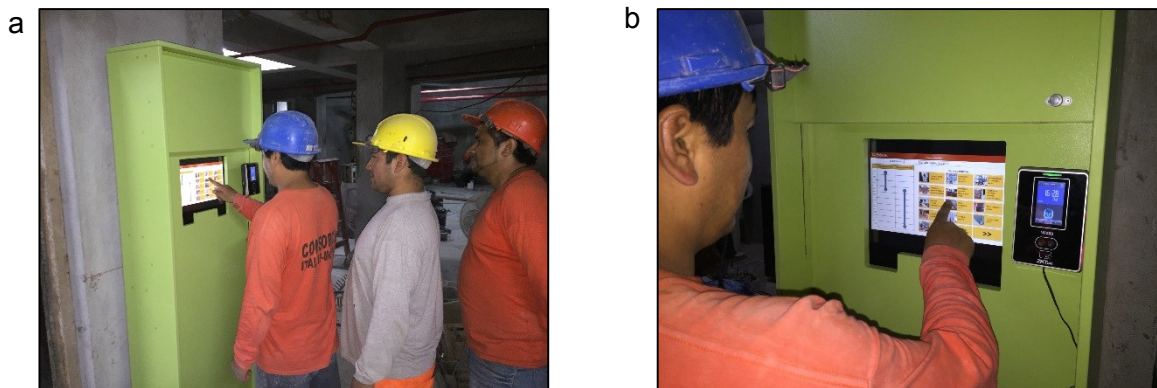


Figura 5. (a) Identificación del obrero mediante un lector de rostro; (b) Auto-reporte del obrero mediante una pantalla táctil.

Los obreros, antes de incorporarse a la obra, reciben una capacitación con el apoyo de un video de 30 minutos de duración, en el cual se les explica de una forma muy simple y amigable en que consiste el sistema de información, la importancia que este tiene para la empresa y cómo es que ellos tienen que participar. Todo obrero nuevo, obligatoriamente tiene que ver este video y hacer una pequeña práctica asistida del auto-

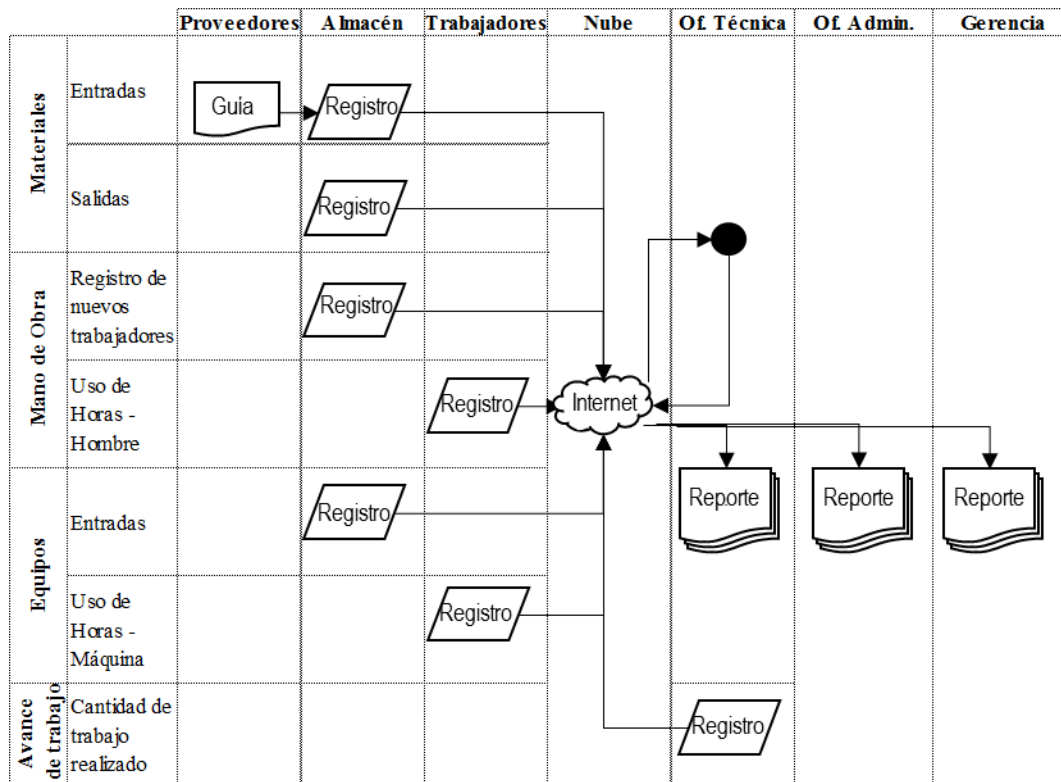


Figura 8. Flujo de información de la producción con el sistema propuesto

Informes de Producción

Una vez que el sistema tiene en la web toda esta información diaria de la producción, se dispone de muchos reportes que nos permiten hacer el seguimiento y control y tener una idea bastante precisa sobre la productividad global de la obra en cualquier momento. Los diferentes reportes se pueden obtener dentro de cualquier periodo de la obra con la precisión de un día y el diagnóstico de aportes y rendimientos puede obtenerse dentro de los periodos que coincidan con las fechas en las que se han reportado las cantidades de trabajo, obteniéndose un control del 100% de la obra sin ocasionar gastos exagerados en personal de control ya que el sistema es operado prácticamente por los propios trabajadores.

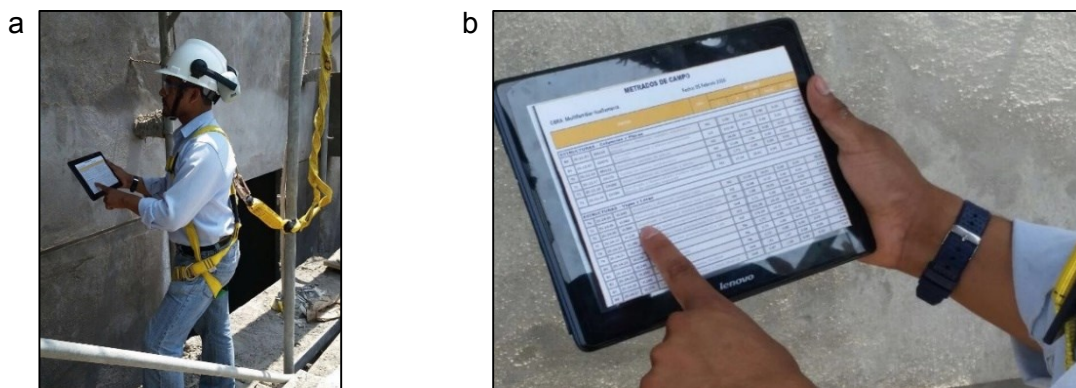


Figura 6. (a) Registro de las cantidades de trabajo en el sitio; (b) Uso de tabletas digitales y formatos Store and Forward.

Con el debido control de cada perfil de usuarios, los diferentes involucrados pueden tener acceso a diversos reportes de acuerdo a sus necesidades, por ejemplo, los jefes de cuadrilla y el maestro de obras pueden conocer los rendimientos del personal a su cargo, los contratistas pueden controlar a su personal si estos se acoplan al sistema, el almacenero puede obtener el ingreso, salida y stock valorizado de materiales, la administración puede acceder a la asistencia diaria del personal para el cálculo de las planillas, los profesionales de la obra pueden controlar al detalle los plazos, los costos y los rendimientos de cada una de las partidas o la gerencia puede conocer los ratios de producción, los resultados de lo realizado y los resultados proyectados al término de obra.

La Figura 7 muestra el flujo tradicional de la información de la producción en una obra de construcción y la Figura 8 muestra este mismo flujo con el sistema propuesto. Se puede observar claramente el beneficio obtenido en la simplificación de la captura, el traspaso, el almacenamiento, el procesamiento, la distribución y la comunicación de la información entre todos los involucrados.

CONCLUSIONES

El CPI nos indica que tan diferente está nuestro Costo Actual respecto al Valor Ganado, pero mediante un análisis de causa raíz al costo actual y aplicando la técnica de los 5 ¿Por qué?, obtendremos las 7 causas que pueden originar esta diferencia. La información de 3 de ellas es fácil de obtener porque son precios de mercado; sin embargo; para las otras 4 se requiere de un sistema de información y comunicación como el que estamos proponiendo en este artículo. De esta manera, ahora podemos contar con 7 indicadores de performance por cada partida avanzada y conocer a detalle las razones de variación de nuestro costo actual respecto al costo planificado.

El sistema propuesto está basado en 3 puntos principales: 1). El traspaso de la obtención de gran parte de la información de la producción a los propios trabajadores. 2). El uso de aplicaciones web, que promueve el trabajo colaborativo y la distribución compartida de la información. 3). El uso de dispositivos electrónicos que facilita la captura de dicha información.

El punto 1, que consideramos es el más neurálgico y cuestionable, ya es una práctica cotidiana y exitosa en todas las obras de nuestra empresa desde hace muchos años atrás. Lo mismo sucede con el punto 2, ya que disponemos de una intranet que contiene un módulo con la propuesta presentada que es muy apreciada por todos los involucrados. El punto 3 sí es una innovación que está en una etapa piloto, con la cual pretendemos completar el eslabón faltante para una aplicación eficiente del Ciclo de Mejoramiento Continuo en el sector construcción.

REFERENCIAS

- [1] M. Walton, *The Deming Management Method*, Penguin, New York, 1988.
- [2] M. Imai M., *KAIZEN, The key to Japan's Competitive Success*, Random House Business Division, New York, 1986.
- [3] J. K. Liker, *The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*, second Ed., McGraw-Hill, New York, 2013.
- [4] B. Dave, S. Boddy, L. Koskela, *Improving Information Flow within the Production Management System with Web Services*, in: K. Walsh, T. Alvarez (Eds.), *18Th Annual Conference Of The International Group For Lean Construction*, Haifa, 2010, 445-455.
- [5] P. R. C. Marchesan, T. Formoso, *Cost Management and Production Control for Construction Companies*, in G. Ballard, D. Chua (Eds.), *9Th Annual Conference Of The International Group For Lean Construction*, Singapore, 2001.
- [6] R. Navon, R. Sacks, *Assessing research issues in Automated Project Performance Control (APPC)*, *Automation in Costruction*, 16 (2007) 474-484.
- [7] R. Howard, A. Kiviniemi, O. Samuelson, *Surveys of IT in the Construction Industry and Experience of the IT Barometer in Scandinavia*, *ITcon*, 3 (1998) 45-56.
- [8] E. Tas, F. P. Irlayici, *A survey of the use of IT in building product information acquisition in Turkey*, *ITcon*, 12 (2007) 323-335.
- [9] A. O. Michaloski, A. P. Cabral, *A survey of IT use by small and medium-sized construction companies in a city in Brazil*, *ITcon*, 15 (2010) 369-390.

- [10] A. Alaghbandrad, E. Asnaashari, C. Preece, Problems and Barriers of Ict Utilization on Iranian Construction Sites: Case Study on the Successful Use of ICT in Remote Construction Sites, ITcon, 17 (2011) 93-102.
- [11] A. Abuelmaatti, B. Hall, V. Ahmed, Collaborative Technologies for Small and Mediumsized Architecture, Engineering and Construction Enterprises: Implementation Survey, ITcon, 19 (2014) 210-224.
- [12] E. O. Ibem, S. Laryea, E-Procurement Use in the South African Construction Industry, ITcon, 20 (2015) 364-384.
- [13] B. Dave, L. Koskela, M. Kagioglou, S. Bertelsen, A Critical Look at Integrating People, Process and Information Systems Within the Construction Sector, in P. Tzortzopoulos, M. Kagioglou (Eds.), 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Manchester, 2008.
- [14] O. Tatari, D. Castro-Lacouture, M. J. Skibniewski, Current state of construction enterprise information systems: survey research, Construction Innovation, 7 (2007) 310-319.
- [15] Autodesk, Autodesk BIM 360 Field Overview, 2013. Online at: <http://www.autodesk.com/products/bim-360-field/overview>, accessed on July 14, 2016.
- [16] S. Bowden, The Appropriate Use of I.T. on a Construo tion Site, Loughborough University, 2002.
- [17] S. Bowden, A. Dorr, A. Thorpe, C. J. Anumba, Mapping site processes for the introduction of mobile IT, in A. Dikbas, R. Scherer (Eds.), Proceedings of the 5th European conference on product and process modeling in the building and construction industry, Istanbul, 2004.
- [18] D. McGregor, The Human Side of Enterprise, McGraw Hill, New York, 1960.
- [19] W. Ouchi, Theory Z, Avon, New York, 1982.
- [20] G. Ballard, G. Howell, What Kind of Production Is Construction?, in: 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Guarujá, 1998.