

Research Article

Open Access

Pablo Orihuela,* Santiago Pacheco, and Jorge Orihuela

Control panel and indicators for production control in building projects

DOI 10.1515/otmcj-2016-0027

Received September 05, 2017; accepted November 24, 2017

Abstract: In general, every project should have indicators that monitor compliance with established goals. In construction projects, there are a large number of indicators proposed by many researchers; however, an analysis of the state of the art shows a frequent confusion between Result, Process and Leading Indicators.

This paper, which is an extended version of the paper submitted by the same authors at the Creative Construction Conference 2017 and published in *Procedia Engineering* (DOI: 10.1016/j.proeng.2017.07.230), presents a proposal of these three types of indicators for the design, supply and assembly phases of housing projects. Thus, all project stakeholders can have a control panel that will monitor if an indicator exceeds the limits, thereby allowing taking corrective actions in a timely and effective manner.

Keywords: benchmarking, continuous improvement, lagging indicators, leading indicators, key performance indicators

1 Introduction

After project execution, every project requires Result Indicators to confirm if the goals set at the beginning were met. These indicators will serve as feedback for future projects and to complete the continuous improvement cycle. Furthermore, similar to the crew members of a ship who need to know if they are on the right course throughout the journey, the project team needs Process Indicators to make sure that the project—during its development—is moving towards the expected goals. In this way, if we are deviating from these goals, we can make necessary and timely corrections. As these indicators are obtained at a

certain period of time after execution, they are known as post-mortem; thus, it is necessary to use Leading Indicators that will help achieve the expected goals.

The review of the current state of indicators in the construction sector shows that it is usual to mistake these three types of indicators in literature. For this reason, this article proposes a Control Panel with a Result Indicators group oriented to building projects, and it then develops the Process and Leading Indicators for each phase of the project.

2 Current state of performance indicators in constructions

Performance measurements in the construction industry have been carried out under different approaches, such as Enterprise performance measurements, Project performance measurements and Benchmarking Programs, over the past two decades (Suk et al. 2012). Besides this classification, the indicators used in such measurements can be divided into Result Indicators, Process Indicators and Leading Indicators.

2.1 Enterprise and project indicators

Enterprises were evaluated using financial and accounting indicators until the introduction of the Balanced Scorecard (Kaplan and Norton 1992), in which user, innovation and internal process indicators were taken into account (Suk et al. 2012). Additionally, enterprises are based on projects and they have their own indicators to measure the level of compliance with established goals; nevertheless, a better differentiation among Process, Result and Leading Indicators is needed.

2.2 Result indicators

Result Indicators seek to evaluate goal achievement or the achievement of expected results. Their report must be submitted to the project owner and the top management

*Corresponding author: Pablo Orihuela, Pontifica Universidad Católica del Perú Lima, PERU, E-mail: porihuela@motiva.com.pe
Santiago Pacheco, Motiva S.A., E-mail: spacheco@motiva.com.pe
Jorge Orihuela, Motiva S.A., E-mail: jorihuela@motiva.com.pe

(Alarcon et al. 2001). They can refer to both internal (at the end of each phase) and final (at the end of the project) results.

2.3 Process indicators

Process Indicators seek to measure the development of activities related to the necessary processes to obtain the final product, that is, the building. In other words, they seek to evaluate the steps to reach the goal, such as design, construction, planning and procurement (Alarcon et al. 2001).

2.4 Leading indicators

Leading Indicators are related to proactive or preventive actions; they can be used as predictors of future performance levels of any project's aspect (Toellner 2001; Hinze et al. 2013). In other words, Leading Indicators measure variables that are known to be related to certain Result and Process Indicators (Jablonowski 2011). However, unlike these indicators, which are post-mortem, Leading Indicators can be obtained timely to take corrective actions.

2.5 Benchmarking programs

Benchmarking is a tool to identify the performance in all kinds of enterprises and projects, and it is also used by construction companies (El-Mashaleh et al. 2007). Benchmarking programs are divided into internal benchmarking, when it comes to projects within the same company, or external benchmarking, which refers to other companies or other projects from other companies (National Research Council 2005).

In any case, benchmarking programs should be carried out using Result Indicators, since Process Indicators are not definitive and may lead to wrong comparisons.

Some examples of these initiatives are the UK Construction Key Performance Indicators (2000); the National Benchmarking System for the Chilean Construction Industry developed by the Technological Development Corporation, CDT (2001); the US CII Benchmarking and Metrics developed by the Construction Industry Institute, CII (1993); and the *Sistema de Indicadores de Qualidade e Produtividade para a Construção Civil, SISIND* from Brazil (1993). In 2004, the initiatives were analyzed, identifying

difficulties or problems related to each one of them (Costa et al. 2004). Among the difficulties faced by these researchers, we have the lack of relationship between all the metrics, the uncertainty that the necessary information will be available, the use of indicators that are hard to measure, the lack of integration between indicators and critical processes and the lack of training in the implementation of measurement systems.

In 2013, as a part of the creation of a benchmarking system in Saudi Arabia, the King Saud University gathered indicators from enterprises and construction projects based on the existing research studies worldwide. Some of the institutions included in this research were the CII (United States), the Department of Environment, Transport and the Regions (DETR) from UK, and the Technical Development Corporation from Chile (Ali et al. 2013).

In addition to the differences presented by Costa et al., it must be pointed out that the abovementioned benchmarking initiatives does not consider the entire life cycle of a project. They usually focus on the construction phase and neglect project monitoring in early stages, which are critical to the success of the project. Furthermore, they lack a clear differentiation between the abovementioned indicators.

2.6 Inventory of construction project indicators

One of the main conclusions drawn from the final list of Project Indicators identified by Ali et al., and other articles reviewed for this study is that all authors mix different kinds of indicators. For this reason, it is important to identify the Result Indicators first, so that they serve as a guide to identify and structure Process and Leading Indicators.

Table 1 shows a list of indicators—properly classified in this article—organized by its corresponding classification and a consolidated table of both types of indicators.

3 Control panel proposal

Based on the aforementioned information, besides classification by the type of indicators, it was necessary to place them in the life cycle phase and in the corresponding success criteria; therefore, a biaxial control panel structure is proposed to modify the one presented in the previous research study by the same authors.

Tab. 1: Classification and inventory of result, process and leading indicators (Orihuela et al. 2016)

References	Number of indicators		
	Total	Results and process	Leading
Jastaniah (1997)	9	5	4
Egan (1998)	7	5	2
KPI Working Group, (2000)	7	5	2
Alarcon et al., (2001)	13	6	7
Pillai et al., (2002)	8	3	5
Wong, (2004)	8	4	4
Cheung et al. (2004)	8	5	3
Ramírez et al. (2004)	9	5	4
Da Costa et al. (2006)	7	4	3
Botero et al. (2007)	10	7	3
Kim and Huynh (2008)	8	4	4
Rankin et al. (2008)	8	7	1
Skibniewski and Ghosh (2009)	4	3	1
Roberts and Latorre (2009)	9	6	3
Toor and Ogunlana (2010)	9	5	4
CII Construction Industry Institute (2011)	6	3	3
Kunz and Fischer (2012)	9	6	3
Constructing Excellence (2013)	16	7	9

Consolidated list of result and process indicators

1. Client Satisfaction
2. Safety
3. Claims
4. Construction Cost
5. Construction Lead Time
6. Finance
7. Environment
8. Materials
9. Social
10. Stakeholders Satisfaction
11. Specification Compliance
12. Scope Changes

Consolidated list of leading indicators

Planning, Staff Experience, Communication, Rewards, Time, Productivity, Defects, Risks, Effectiveness of decisions, Client Commitment, People, Subcontract Management, Innovation, Equipment Performance, Changes in Processes, Disputes, Re-work, Stakeholders Integration, Quality Administration, Materials Administration, Equipment and Machinery, Suppliers, Company Management, Training, Resources Efficiency, Workforce.

3.1 Vertical structure of the control panel

For many years, three success criteria corresponding to the Iron Triangle (cost, time and quality) were considered as ideal elements to achieve the success in a project. However, recent research studies include other aspects

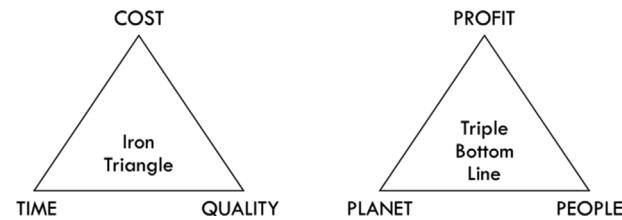


Fig. 1: Iron Triangle and the Triple Bottom Line.

such as safety, environment and customer satisfaction (Suk et al. 2012; Ward et al. 1991; Atkinson 1999).

Nowadays, with the help of several reports made by entities concerned about sustainability, it is known that projects should consider three aspects during their life cycle: Society, Environment and Economy. For this reason, we believe that the vertical structure of the control panel should be composed of five criteria: Cost, Time, Quality, Environment and Society. The previously described structure is presented in Figure 1.

Regarding the environmental issue, there are many models focussed on the certification of sustainable buildings in the world, which cover the environmental aspect quite well although they do not fully cover the triple bottom line. A comparison between some well-known certification systems such as LEED, BREEAM and GREEN STAR shows that there is a good correlation between their categories (see Figure 2); therefore, it is valid to follow the logic of their rating systems for environmental indicators in each project phase.

3.2 Horizontal structure of the control panel

Given that the development of construction projects takes longer time, it is important to not only use a general Result Indicator for the project but also include Result Indicators per phase. Figure 3 shows the project phases by different sources.

The five life cycle phases proposed by Lean Project Delivery System are used in the control panel.

3.3 Control panel proposal

Figure 4 shows the biaxial control panel proposal. In the Project Definition Phase, the baselines of these indicators must be defined, and in the Use Phase, compliance must be ensured. In the Design, Supply and Assembly phases, this Control Panel shows a group of Result Indicators by each phase.

SYSTEM	CATEGORIES									
	Integrative Process	Location & Transportation	Materials and Resources	Water Efficiency	Energy & Atmosphere	Sustainable Sites	Indoor Environment	Innovation	Regional Priority	
BREEAM	Management	Transport	Materials	Water Efficiency	Energy	Land Use & Ecology	Health and Wellbeing	Innovation		Pollution
GREEN STAR	Management	Transport	Materials	Water	Energy	Land Use & Ecology	Indoor Environment	Innovation		Emissions

Fig. 2: Sustainable construction certification systems. (Building Research Establishment 2016; Green Building Council of Australia 2017; US Green Building Council 2013).

	PROJ. DEF.	DESIGN		SUPPLY		CONSTRUCTION		USE
Integrated Project Delivery - AIA	Conceptualization	Detailed Design	Design Criteria	Construction Documents	Agency coord.	Final buyout	Construction	Close out
Construction Life Cycle - APM	Bussines	Design			Construction			Maintenance
LifeSpan - Max Wideman	Concepts and economical aspects	Functional design		Draws and specifications	Bidding	Construction		Start up
Lean Project Delivery System - LCI	Project Definition	Lean Design		Lean Supply		Lean Assembly		Use

Fig. 3: Project phases by different sources. (American Institute of Architects 2007; Ballard 2008; Navarro Sánchez 2010; Wideman 2004).

	Project Def.	Design	Supply	Assembly	Use
Time	Indicators Baseline Definition	Design Lead Time	Construction Lead Time		
Quality		User Satisfaction	Quality of Materials	Quality of Execution	
Cost		Construction Target Cost	Construction Cost		
Environment		Environmental Impact	Environmental Supply	Environmental Execution	
Social Balance		Social Impact	Social Supply	Social Execution	
					Stakeholders Satisfaction

Fig. 4: Control panel structure and project result indicators adapted from Orihuela et al. (2016).

4 Design phase of housing projects indicators proposal

Due to the abovementioned reasons, we also propose five Result Indicators for the Design Phase, their corresponding Process Indicators, and finally, Leading Indicators that lead and help us achieve the expected goals. Table 2 shows the first two types of indicators: Result and Process Indicators.

4.1 Design lead time indicator

The Result Indicator for the design time measures the relation between the real time and the contractual time for the Design Phase. The design time for a construction project is extremely important in relation to the total time allotted for the project; therefore, it is necessary to verify that the design time does not exceed the time allotted for the project.

Tab. 2: Result and process indicators for the design of housing projects

Criteria	Result indicators	Process indicators
Time	Design Lead Time	Time for Definition of Project Scope Time for Investor Approval Time for Reviewing Entity Approval Time for Interconsultation Latency Time for Design and Plans development
Quality	Projection of Customer Satisfaction	Level of Safety Perception Level of Salubrity Perception Level of Functionality Perception Level of Aesthetics Perception Level of Comfort Perception
Cost	Construction Target Cost	Cost of Structural and Constructive System Cost of MEP Systems Cost of Finishes Level
Environment	Environmental Design	Energy Efficiency Water Efficiency Sustainable Transportation Environment Pollution
Society	Social Design	Compliance with Design Norms Incorporation of Social and Productive Spaces

Process Indicators consider the necessary time to obtain a good general agreement about the scopes of the project, that is, to achieve a correct alignment of the project stakeholders' needs and values. In addition, these indicators consider the response times for investors' approvals, the response times for approvals of the reviewing entity, the periods of latency for consultations between the specialists from the design team and the actual time to develop plans and specifications of all specialties of the design.

The main Leading Indicators that can help us accelerate the project scope definition are the investor's understanding, the designer's experience and the information system used by the people involved in the project scope. Clarity and technical foundation in the proposal for the investor are the Leading Indicators to obtain his approvals as fast as possible. In the same way, compliance with rules and familiarity with the necessary paperwork and formalities are indicators that lead us to obtain the approvals from the reviewing entity. The Leading Indicators proposed in order to reduce inter-consultation latency are the availability, flexibility, promptness and punctuality of project designers and the efficacy of the means of communication. The designers' project experience, clarity

of standards and protocol of timely interventions are the indicators proposed to achieve an efficient design and development of plans and specifications.

4.2 Projection of customer satisfaction indicator

This Result Indicator is measured through Customer Satisfaction by comparing the estimation of customer satisfaction level—made by the design team after the plans are completed—with the level of expected customer perception defined in the baseline. The satisfaction of the end user is one of the main goals of any construction project. In the case of housing projects, we will use the Orihuela and Orihuela's (2014) proposal to estimate the end user satisfaction.

Process Indicators consider the possible perception that customers may have about physical safety of the building, salubrity conditions, functionality, aesthetics, and thermal, acoustic, visual and ergonomic comfort.

Some of the most important Leading Indicators are the project designers' experience, continuous and updated training, proactivity, and teamwork.

4.3 Construction target cost indicator

This Result Indicator is measured by the construction cost, by comparing the budget based on the plans and specifications with the target cost of the project.

Process Indicators consider the chosen structural and construction system, the types of installations such as electrical, mechanical, plumbing, gas, communication, air injection, monoxide extraction and fire protection services; and the quality of finishes. All of these decisions determined in the Design Phase will impact the construction final cost.

Some Leading Indicators are the project designers' experience and ability to monitor the costs during the design process, to choose new materials, to evaluate several alternatives, to offer a good level of constructability, to obtain a good compatibilization level and details in plans. All of these will lead to comply with the expected cost of the project.

4.4 Environmental design indicator

This Result Indicator compares the credits of environmental certification obtained in the design with the expected credits for this phase.

Process Indicators consider the energy efficiency, water efficiency, promotion of sustainable transportation

and environmental pollution, whose considerations in the design phase reduce the environmental impact.

Some of the Leading Indicators are knowledge of low power and water-saving devices, knowledge of advanced monitoring devices for energy and water consumption, the environmental commitment of project designers and investors' knowledge of green transportation benefits, and knowledge of the reduction of heat islands, light pollution and rainwater management. All of this will contribute to reduce the project environmental impact.

4.5 Social design indicator

This Result Indicator compares the social impact level caused by the design with the level set in the project baseline.

Process Indicators consider compliance with design standards and the availability of spaces for social and productive life.

Some of the Leading Indicators are the professional, ethical and moral responsibility towards compliance with the project designers' and investors' design standards, as well as their good disposition to include spaces that allow people to socialize, relax and practice sports, and flexible productive spaces to promote the creation of cottage industries.

5 Supply phase indicators proposal

Due to the abovementioned reasons, we also propose five Result Indicators for the Supply Phase, their corresponding Process Indicators, and finally, Leading Indicators that lead and help us achieve the expected goals. Table 3 shows Result and Process Indicators.

Tab. 3: Result and process indicators for the supply of housing projects

Criteria	Result indicators	Process indicators
Quality	Quality of Materials and Equipment	Quality of Structural Materials Quality of MEP Materials and Equipment Quality of Finished Materials
Environment	Environmental Supply	Green Seal Materials Sustainable Transportation
Society	Social Supply	Local labor

5.1 Quality of materials and equipment indicator

This Result Indicator compares the specified quality of materials and equipment with the quality gained during the supply phase.

Process Indicators contemplate the quality of structural materials (mainly steel and concrete); the quality of the materials and equipment of sanitary facilities (water pipe network, drainage, and pumping equipment); the quality of the electrical installation materials (lighting network and electrical outlets, wires, electrical panels and wells to ground); the quality of the electromechanic equipment; and, finally, the quality of the main materials of the internal finishes, which have been specified on the blueprints and which largely depends on the target market.

Some Leading Indicators are the purchasing and logistics personnel's knowledge about the technical characteristics of the purchased materials and its true cost/benefit balance, the company's good purchasing policy and a good post-occupancy feedback system on the performance of these materials and/or equipment.

5.2 Environmental supply indicator

This Result Indicator compares the environmental impact caused during the supply of resources of the work with the environmental impact expected, which can be quantified by the environmental credits obtained against the ones expected during this supply phase.

The Process Indicators include the percentage of green seal materials, that is, those products that from the extraction of the raw material until the end of its use fulfil the requirements of environmental efficiency. In addition, they contemplate the percentage of materials used close to the region where the project is done, with which transportation and environmental pollution are optimized. Therefore, it compares the cost of materials that meet these conditions with the total cost of materials.

Some Leading Indicators include knowledge and awareness of the environmental impact generated by some materials throughout their life cycle. These should influence the companies' procurement policies.

5.3 Social indicator supply

This Result Indicator compares the social impact produced by the supply of resources of the work with the expected social impact.

Process Indicators include the generation of local labour, which promotes the well-being and progress caused by the job generation in the communities where the project is being done, not only by direct jobs but also by the generation of complementary work.

Some Leading Indicators are the company's social responsibility and supply policies.

6 Assembly phase indicators proposal

Due to the abovementioned reasons, we also propose five Result Indicators for the Assembly Phase, their corresponding Process Indicators, and finally, Leading Indicators that lead and help us achieve the expected goals. Table 4 shows the Result and Process Indicators.

6.1 Construction lead time indicator

This Result Indicator compares real-time construction with its contractual period; it is one of the most common indicators in construction projects.

Process Indicators include the time required for construction of infrastructure, superstructure and internal finishing.

Some Leading Indicators are the level of knowledge about the project and its constraints, the planner's ability, the team work and the level of commitment of those involved, among others.

Tab. 4: Result and process indicators for the supply of housing projects

Criteria	Result indicators	Process indicators
Time	Construction Lead Time	Time for Infrastructure Time for Superstructures Time for Finishing works
Quality	Construction Quality	Quality of Structure Quality of MEP Systems Quality of Finished
Cost	Construction Cost	Cost of Structure Cost of MEP Systems Cost of Finished
Environment	Environmental Construction	Pollution Wastes Recycling
Society	Social Construction	Legal work Frequency of accidents Occupational diseases

6.2 Construction quality indicator

This Result Indicator compares the quality obtained during the execution of the construction with the quality specified in the blueprints, technical specifications, laws, regulations and standards.

Process Indicators comprise the quality of structure, sanitary installations, electromechanical installations and internal finishing. These indicators must ensure the building good behaviour both in static situation and in dynamic situation. Some Leading Indicators are the training and experience of the different staff crews, good working environment and good communication between different areas, among others.

6.3 Construction cost indicator

This Result Indicator compares the final cost obtained with the contract cost. Together with the lead time of construction, it is the most common indicator in construction projects.

Process Indicators include the cost of structure, facilities and internal finishes.

Some Leading Indicators are the team's ability to minimize wastes, the ability to apply constructability during the construction process, the planners' efficiency, the team work and the team's efficient communication, among others.

6.4 Environmental construction indicator

This Result Indicator compares the environmental impact caused during the work with the environmental impact expected. It can be quantified by the environmental credits against the ones expected during this construction phase.

Process Indicators include pollution prevention during the work, the demolition waste management, the waste reduction management, and the recyclable materials storage and collection.

Some Leading Indicators are the staff's knowledge about environmental standards, investors' awareness and decision to incorporate these environmental policies, among others.

6.5 Social construction indicator

This Result Indicator compares the social impact caused during the work with the expected impact. It seeks to

promote, to the extent possible, poverty reduction, labour fulfilment, legal, economic and cultural rights, as well as the respect for the communities and places where the projects are carried out.

Process Indicators include work legality, with which workers can access all their rights for health, retirement pension and legal existence; low frequency of occupational accidents, low frequency of occupational diseases, respect for the inhabitants' tranquillity and rights in the area affected by the project.

Some Leading Indicators include the corporate social responsibility, efficiency of the control systems, awareness of the inherent risks, workers' training and investment in security devices, among others.

7 Limitations

The proposed Control Panel is applicable to construction projects in general; however, some indicators proposed in this paper are only suitable for building or housing projects.

In relation with the methodology, to enlarge the number of indicators collected, a metasearch engine can be used.

8 Conclusions

The review of the state of the art in relation to the indicators of construction projects shows us that there is a random combination of different types of indicators, which does not contribute to obtain a clear and an effective monitoring of the projects in the industry.

First of all, this paper proposes a biaxial control panel that takes into consideration the phases of the project life cycle on one hand and the project success criteria on the other hand. Each one of the Result Indicators of a construction project is included in the control panel.

Then, a group of Result and Leading Indicators are proposed for building projects. The organization of these indicators allows to easily identify where each indicator belongs to, thereby showing on what we focus our improvement efforts. Both these proposals will help us put into practice the monitoring of the construction project based on indicators.

References

- Alarcon, L., Grillo, A., Freire, J., & Diethelm, S. (2001). Learning from collaborative benchmarking in the construction industry. In: *9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. International Group for Lean Construction, Singapore.
- Ali, H., Al-Sulaihi, I., & Al-Gahtani, K. (2013). Indicators for measuring performance of building construction companies in Kingdom of Saudi Arabia. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 25, pp. 125-134.
- American Institute of Architects – California Council. (2007). *Integrated Project Delivery: A Guide*. American Institute of Architects, California.
- Atkinson, R. (1999). Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, it's time to accept other success criteria. *International Journal of Project Management*, 17, pp. 337-342.
- Ballard, G. (2008). The Lean Project Delivery System – An Update. *Lean Construction Journal*, 1, pp. 1-19.
- Botero, L., Álvarez, M., & Ramírez, C. (2007). Iniciativa colombiana en la definición de indicadores de desempeño como punto de partida de un sistema de referencia para la construcción. *Ambiente Construido*, 7, pp. 89-102.
- Building Research Establishment. (2016). *BREEAM International New Construction 2016*. BRE Global, Watford.
- Cheung, S., Suen, H., & Cheung, K. (2004). PPMS: a web-based construction project performance monitoring system. *Automation in construction*, 13, pp. 361-376.
- CII Construction Industry Institute. (2011). *Productivity Benchmarking Summary Report*. Construction Industry Institute, Austin.
- Constructing Excellence. (2013). *Client's Commitments Best Practice Guide*. Constructing Client's Group, London.
- Costa, D., Formoso, C., Kagioglou, M., & Alarcón, L. (2004). Performance measurement systems for benchmarking in the construction industry. In: *12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. International Group for Lean Construction, Denmark.
- Da Costa, J., Horta, I., Guimaraes, N., Nóvoa, H., & Sousa, R. (2006). Sistemas de Indicadores de desempenho e produtividade para a construção civil. In: *Encontro nacional sobre qualidade e inovação na construção*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Egan, J. (1998). *Rethinking Construction, Construction Task Force Report for Department of the Environment, Transport and the Regions*. Department of Trade and Industry, Londres.
- El-Mashaleh, M., Minchin, R., & O'Brien, W. (2007). Management of construction firm performance using benchmarking. *Journal of Management in Engineering*, 23, pp. 10-17.
- Green Building Council of Australia. (2017). *Green Star – Design & As Built v1.2 Submission Guidelines*. Green Building Council of Australia, Sydney.
- Hinze, J., Thurman, S., & Wehle, A. (2013). Leading indicators of construction safety performance. *Safety Science*, 51, pp. 23-28.

- Jablonowski, C. (2011). Identification of HSE leading indicators using regression analysis. In: *SPE Americas E&P Health, Safety, Security, and Environmental Conference*. Society of Petroleum Engineers, Houston.
- Jastaniah, Y. (1997). *Performance evaluation and benchmarking of construction industry projects using data envelopment analysis*. PhD dissertation, Southern Methodist University.
- Kaplan, R., & Norton, D. (1992). The balanced scorecard measures that drive performance. *Harvard Business Review*, 70, pp. 71-79.
- Kim, S. Y., & Huynh, T. A. (2008). Improving project management performance of large contractors using benchmarking approach. *International Journal of Project Management*, 26, pp. 758-769.
- KPI Working Group. (2000). *KPI Report for the Minister for Construction*. Department of the Environment, Transport and Regions, West Yorkshire.
- Kunz, J., & Fischer, M. (2012). *Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions*. Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), Stanford University, Stanford.
- National Research Council. (2005). *Measuring Performance and Benchmarking Project Management at the Department of Energy*. The National Academies Press, Washington, DC.
- Navarro Sánchez, R. (2010). *Creación de un "Balanced ScoreCard" para la dirección integrada de proyectos de construcción*. BS dissertation, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Orihuela, P., & Orihuela, J. (2014). Needs, values and post-occupancy evaluation of housing project customers: a pragmatic view. *Procedia Engineering*, 85, pp. 412-419.
- Orihuela, P., Pacheco, S., Aguilar, R., & Orihuela, J. (2016). Propuesta de Indicadores de Resultado para Proyectos de Edificación. In: *VII Encuentro Latinoamericano de Gestión y Economía en la Construcción*. Universidad de Los Andes, Bogotá, pp. 407-416.
- Pillai, A., Joshi, A., & Rao, K. (2002). Performance measurement of R&D projects in a multi-project, concurrent engineering environment. *International Journal of Project Management*, 20, pp. 165-177.
- Ramírez, R., Alarcón, L., & Knights, P. (2004). Benchmarking system for evaluating management practices in the construction industry. *Journal of Management in Engineering*, 20, pp. 110-117.
- Rankin, J., Fayek, A., Meade, G., Haas, C., & Mansau, A. (2008). Initial metrics and pilot program results for measuring the performance of the Canadian construction industry. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35, pp. 849-907.
- Roberts, M., & Latorre, V. (2009). KPIs in the UK's construction industry: using system dynamics to understand underachievement. *Revista de la Construcción*, 8, pp. 69-82.
- Skibniewski, M., & Ghosh, S. (2009). Determination of key performance indicators with enterprise resource planning systems in engineering construction firms. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135, pp. 965-978.
- Suk, S., Hwang, B., Caldas, C., Dai, J., & Mulva, S. (2012). Performance dashboard for a pharmaceutical project benchmarking program. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138, pp. 864-876.
- Toellner, J. (2001). Improving safety and health performance: identifying and measuring leading indicators. *Professional Safety*, 46, pp. 42-47.
- Toor, S., & Ogunlana, S. (2010). Beyond the "iron triangle": stakeholder perception of key performance indicators (KPIs) for large-scale public sector development projects. *International Journal of Project Management*, 28, pp. 228-236.
- US Green Building Council. (2013). *LEED Reference Guide for Building Design and Construction*. US Green Building Council, Washington, D. C..
- Ward, S., Curtis, B., & Chapman, C. (1991). Objectives and performance in construction projects. *Construction Management and Economics*, 9, pp. 343-353.
- Wideman, R. M. (2004). *The Role of the Project Life Cycle (Life Span) in Project Management*. AEW Services, Vancouver.
- Wong, C. (2004). Contractor performance prediction model for the United Kingdom construction contractor: study of logistic regression approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 130, pp. 691-698.

PANEL DE CONTROL E INDICADORES PARA EL CONTROL DE PRODUCCIÓN DE PROYECTOS DE EDIFICACIÓN (*)

Pablo Orihuela^{1,2}, Santiago Pacheco¹, Jorge Orihuela¹

(*) Traducción de la versión original en inglés. Disponible en:
<https://www.degruyter.com/view/j/otmcj.2018.10.issue-1/otmcj-2016-0027/otmcj-2016-0027.xml?format=INT>

RESUMEN

En general, todo proyecto debe tener indicadores que monitoreen el cumplimiento de las metas establecidas. En Proyectos de construcción, hay un gran número de indicadores, propuestos por diversos investigadores; sin embargo, un análisis del estado del arte nos muestra que existe una frecuente confusión entre Indicadores de Resultado, de Proceso y Proactivos.

Este artículo presenta una versión extendida del artículo presentado por los mismos autores en el Creative Construction Conference 2017, con una propuesta de esos tres tipos de indicadores para la fase de diseño de Proyectos de vivienda, basándose en indicadores propuestos por los mismos autores en una investigación anterior.

De esta manera, todos los involucrados del proyecto pueden tener un Panel de Control que monitoreará si un indicador excede los límites, permitiendo tomar acciones correctivas a tiempo y de una manera efectiva.

PALABRAS CLAVE

benchmarking; continuous improvement; lagging indicators; leading indicators; key performance indicator

INTRODUCCIÓN

Todo proyecto requiere, terminada su ejecución, Indicadores de Resultado que confirmen si se cumplieron los objetivos establecidos a su inicio, estos servirán para retroalimentar futuros proyectos y completar el ciclo de mejora continua. Pero además, así como los tripulantes de un barco requieren saber durante todo el trayecto si están en el rumbo correcto, el equipo del proyecto necesita de Indicadores de Proceso que lo ayuden a confirmar si el proyecto durante su desarrollo, se está dirigiendo a los objetivos deseados; de esta forma, si nos estamos desviando de dichos objetivos podremos hacer las correcciones necesarias de manera oportuna. Estos indicadores se obtienen luego de cierto periodo de ejecución, por eso son llamados post-mortem. Por ello, es necesario contar con Indicadores Proactivos que promuevan el aseguramiento de los objetivos deseados.

Una revisión del estado actual de indicadores en el sector construcción, demuestra que en la literatura encontrada, es muy frecuente confundir estos tres tipos de indicadores. Por este motivo, este artículo propone un Tablero de Control y un grupo de Indicadores de Resultado orientados a proyectos de edificación y luego desarrolla

¹ Motiva S.A., Lima, Perú, Teléfono: 0051 2211093

² Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú

los Indicadores de Proceso e Indicadores Proactivos correspondientes a la fase de Diseño.

ESTADO ACTUAL

Las mediciones de desempeño se han llevado a cabo en el sector construcción durante las últimas dos décadas bajo distintos enfoques [1]: (1) Mediciones del desempeño de empresas (2) Mediciones del desempeño de proyectos y (3) Programas de Benchmarking. Además de esta clasificación, los indicadores utilizados en dichas mediciones pueden ser clasificados como Indicadores de Resultado, Indicadores de Proceso e Indicadores Proactivos.

INDICADORES DE EMPRESAS Y DE PROYECTOS

Las empresas han sido evaluadas habitualmente con indicadores financieros y contables hasta la introducción del Balanced Scorecard [2], en que se comenzaron a tomar en cuenta indicadores de usuarios, innovación y procesos internos [1]. Además las empresas se sustentan en proyectos y estos tienen sus propios indicadores, que miden el nivel de cumplimiento de los objetivos establecidos para los mismos, sin embargo hace falta una mejor diferenciación entre Indicadores de Proceso, Indicadores de Resultado e Indicadores Proactivos.

INDICADORES DE RESULTADO

Los indicadores de resultado son aquellos que buscan evaluar el cumplimiento de los objetivos o logro de los resultados propuestos. Su reporte debe ser presentado a los clientes y a la alta dirección [3]. Se pueden referir tanto a resultados internos (al término de cada fase) como a resultados finales (al finalizar el proyecto).

INDICADORES DE PROCESO

Los indicadores de proceso buscan medir el desarrollo de las actividades vinculadas a los procesos necesarios para la obtención del producto final, en este caso la edificación. En otras palabras, buscan evaluar los pasos seguidos para llegar a la meta, como el diseño, la planificación y el abastecimiento [3].

INDICADORES PROACTIVOS

Los indicadores Proactivos son indicadores relacionados a acciones proactivas o preventivas que pueden ser usados como predictores de futuros niveles de desempeño de algún aspecto del proyecto [4,5]. En otras palabras, los indicadores Proactivos son mediciones de variables que se sabe que están correlacionadas con ciertos indicadores de resultado y de proceso [6]. Sin embargo, a diferencia de estos, que son post-mortem, pueden ser medidos a tiempo para tomar acciones correctivas.

PROGRAMAS DE BENCHMARKING

El benchmarking es una herramienta para identificar el desempeño de todo tipo de empresas y de proyectos, también utilizado por empresas constructoras [7]. Los

programas de benchmarking pueden a su vez ser de benchmarking interno, a nivel de proyectos de una misma empresa, o externo, a nivel de empresas o proyectos de distintas empresas [8].

En cualquiera de los casos, los programas de benchmarking deberían realizarse utilizando indicadores de resultado, ya que los indicadores de proceso no son definitivos y pueden llevar a comparaciones erróneas.

Ejemplos de estas iniciativas son los Key Performance Indicators del Reino Unido (2000), el Sistema Nacional de Benchmarking de la Industria de la Construcción Chilena desarrollado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico CDT (2001), el Benchmarking y Métricas de Estados Unidos desarrollados por el Construction Industry Institute CII (1993) y el Sistema de Indicadores de Qualidade e Produtividade para a Construção Civil denominado SISIND de Brasil (1993). En el año 2004, dichas iniciativas fueron analizadas y se identificaron dificultades o problemas relacionados a cada una de ellas [9]. Entre los inconvenientes encontrados por estos investigadores están: la falta de relación entre todas las métricas, el no tener la garantía de que la información necesaria estará disponible, el uso de indicadores difíciles de medir, la falta de integración de los indicadores a los procesos críticos, la carencia de capacitaciones en la implementación de los sistemas de medición, entre otros.

En el 2013, como parte de la creación de un sistema de benchmarking en Arabia Saudita, la Universidad Rey Saud generó una recopilación de indicadores tanto de empresas como de proyectos de construcción sobre la base de investigaciones ya existentes a nivel mundial. Algunas de las instituciones que forman parte de dicha investigación fueron el CII (Estados Unidos); The Department of Environment, Transport, and the Regions (DETR) y la Corporación de Desarrollo Técnico de Chile [10].

A las diferencias presentadas por Costa et al. se puede añadir que las iniciativas de benchmarking mencionadas no abordan todo el ciclo de vida de un proyecto. Estas generalmente se enfocan en la fase de obra y descuidan el control del proyecto en etapas iniciales, cruciales para el éxito del proyecto. Además, carecen de una clara diferenciación entre los indicadores arriba descritos.

CLASIFICACIÓN DE INDICADORES DE PROYECTO

Una de las principales conclusiones que se puede obtener sobre la lista final de indicadores para proyectos identificados por Ali et al. y otros artículos revisados para este trabajo, es que todos los autores mezclan indistintamente los diferentes tipos de indicadores. Por este motivo es importante identificar primero los Indicadores de Resultado, para que luego estos sirvan de guía en la identificación y estructuración de los Indicadores de Proceso y de los Indicadores Proactivos. La Tabla 1 presenta un conteo de los indicadores propuestos por cada autor, diferenciándolo por su respectiva clasificación y una tabla consolidada de ambos tipos de indicadores.

Tabla 1. Clasificación e inventario de los indicadores en los tipos Resultado y Proceso, [11]

Referencias		Número de Indicadores			Consolidado de Indicadores de Resultado y Proceso
Año	Autor	Total	Resultado y Proceso	Proactivos	Consolidado de Indicadores Proactivos
1997	Jastaniah [12]	9	5	4	1. Satisfacción del cliente, 2. Seguridad, 3. Reclamos, 4. Costo de construcción, 5. Tiempo de construcción, 6. Financiero, 7. Medio ambiente, 8. Materiales, 9. Social, 10. Satisfacción de los involucrados, 11. Cumplimiento de especificaciones, 12. Cambios de alcance.
1998	Egan [13]	7	5	2	
2000	Dept. of the Environment, Transport and Regions [14]	7	5	2	
2001	Alarcon, Grillo, Freire, & Diethelm [3]	13	6	7	
2002	Pillai, Joshi, & Rao [15]	8	3	5	
2004	Wong [16]	8	4	4	
2004	Cheung, Suen, & Cheung [17]	8	5	3	
2004	Ramírez, Alarcón, & Knights [18]	9	5	4	
2006	da Costa, Horta, Guimaraes, Nóbrega, & Sousa [19]	7	4	3	
2007	Botero, Álvarez, & Ramírez [20]	10	7	3	
2008	Kim & Huynh [21]	8	4	4	
2008	Rankin, Fayek, Meade, Haas, & Manseau [22]	8	7	1	
2009	Skibniewski & Ghosh [23]	4	3	1	
2009	Roberts & Latorre [24]	9	6	3	
2010	Toor & Ogunlana [25]	9	5	4	
2011	CII Construction Industry Institute [26]	6	3	3	
2012	Kunz & Fischer [27]	9	6	3	
2013	Constructing Excellence [28]	16	7	9	Planificación, Experiencia del staff, Comunicación, Recompensas, Tiempo, Productividad, Defectos, Riesgo, Efectividad de las decisiones, Compromiso del cliente, Gente, Gestión del lugar, Subcontratos, Innovación, Rendimiento del equipo, Cambios de los procesos, Disputas, Re-trabajos, Integración de los involucrados, Administración de la calidad, Administración de los materiales en el lugar, Equipos y maquinarias, Proveedores, Administración de la compañía, Capacitación, Eficiencia del uso de los recursos, Mano de obra.

PROPUESTA DE UN PANEL DE CONTROL

Sobre la base de lo mencionado anteriormente, además de la separación de los tipos de indicadores, se encontró necesaria su ubicación dentro un criterio de éxito y dentro de la fase del ciclo vida correspondiente, por ello se usará las estructura del tablero biaxial presentado en una investigación anterior por los mismos autores [11].

ESTRUCTURA VERTICAL DE PANEL DE CONTROL

Durante muchos años los 3 criterios de éxito correspondientes al Triángulo de Hierro (Costo, Tiempo y Calidad) han sido considerados como los factores idóneos para determinar el éxito de un proyecto. Sin embargo, investigaciones recientes incluyen otros aspectos como seguridad, medio ambiente y satisfacción del cliente [1,29,30].

Hoy en día, gracias a numerosos reportes de entidades preocupadas en la sustentabilidad, se sabe que los proyectos deben rendir 3 cuentas: a la sociedad, al medio ambiente y a la economía, durante todo su ciclo de vida. Por tanto, creemos conveniente que la estructura vertical del tablero debe estar compuesta por 5 criterios:

Costo, Tiempo, Calidad, Medioambiente y Sociedad. En la figura 1 se observa la estructura descrita anteriormente.

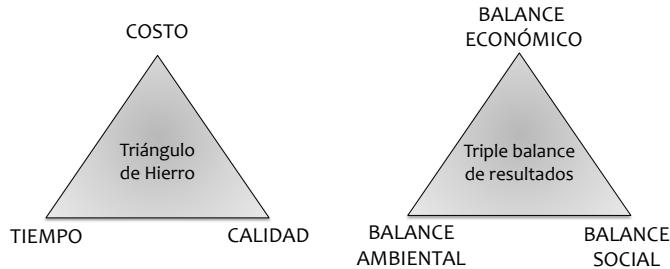


Figura 1. Triángulo de Hierro y Triple Balance de Resultados

Respecto al aspecto ambiental, actualmente existen muchos modelos enfocados a la certificación de edificios sustentables en el mundo, que si bien no abarcan en su totalidad la triple cuenta de resultados, sí cubren bastante bien la cuenta referida al medio ambiente. Una comparación de algunos sistemas de certificación muy conocidos, tales como el LEED, BREEAM y GREEN STAR permiten decir que existe una buena correlación entre sus categorías (ver figura 2), por lo que es válido tomar la lógica de sus sistemas de puntuación para los indicadores ambientales en cada una de las fases del proyecto.

SISTEMA	CATEGORÍAS										
	Proceso Integrativo	Ubicación y Transporte	Materiales y Recursos	Eficiencia del agua	Energía y Atmósfera	Sitios Sustentables	Ambiente Interior	Innovación	Prioridad Regional		
LEED											
BREEAM	Gestión	Transporte	Materiales	Eficiencia del Agua	Energía	Uso del Suelo y Ecología	Salud y Bienestar	Innovación		Polución	Desperdicio
GREEN STAR	Gestión	Transporte	Materiales	Agua	Energía	Uso del Suelo y Ecología	Ambiente Interior	Innovación		Emissions	

Figura 2. Sistemas de Certificación de Construcciones Sustentables

ESTRUCTURA HORIZONTAL DE PANEL DE CONTROL

Debido a que los proyectos de construcción tienen un largo periodo de desarrollo, además de un Indicador de Resultado de Proyecto, es importante disponer también de Indicadores de Resultado por fases. La Figura 3 muestra las fases de construcción por diferentes fuentes.

	DEF. PROY.	DISEÑO			ABASTECIMIENTO		CONSTRUCCIÓN	USO
Integrated Project Delivery - AIA	Conceptualización	Diseño Detallado	Criterios de Diseño	Documentos de Construcción	Coord. Con Agencias	Compra Final	Construcción	Cierre
Construction Life Cycle - APM	Negocio	Diseño			Construcción			Mantenimiento
LifeSpan - Max Wideman	Conceptos y aspectos económicos	Diseño Funcional		Dibujos y especificaciones	Licitación	Construcción		Puesta en marcha
Lean Project Delivery System - LCI	Definición del Proyecto	Diseño Lean			Abastecimiento Lean	Ensamblaje Lean		Uso

Figura 3. Fases del Proyecto por diferentes fuentes

Para la estructura horizontal, se toman las 5 fases del ciclo de vida propuestas por el Lean Project Delivery System: Definición del Proyecto, Diseño, Abastecimiento, Construcción y Uso.

PROPUESTA DE PANEL DE CONTROL

La Figura 4 muestra la propuesta de panel de control biaxial. En las fases de Diseño, Abastecimiento y Ensamblaje este panel de control muestra un grupo de Indicadores de Resultado por cada fase.

	DEF. PROY.	DISEÑO	ABASTECIMIENTO	CONSTRUCCIÓN	USO
TIEMPO		Plazo de Diseño	Plazo de Obra		
CALIDAD		Satisfacción del Usuario	Calidad de los Materiales	Calidad de la Ejecución	
COSTO		Factibilidad Económica	Costo final de Obra		
MEDIO AMBIENTE		Impacto Medio Ambiental	Abastecimiento Medio Ambiental	Ejecución Medio Ambiental	
BALANCE SOCIAL		Impacto Social	Abastecimiento Social	Ejecución Social	Cumplimiento de la Satisfacción y el Valor de los Involucrados

Figura 4. Estructura del tablero de Indicadores de Resultado de Proyecto, adaptado de [11]

PROPUESTA DE INDICADORES DE LA FASE DE DISEÑO PARA PROYECTOS DE VIVIENDA

Debido a las razones ya explicadas, dentro de la fase de Diseño también proponemos unos Indicadores de Resultado, para luego proponer Indicadores de Proceso para cada resultado y finalmente Indicadores Proactivos que nos conduzcan y ayuden a lograr los resultados deseados. La Tabla 2 nos muestra los dos primeros tipos de indicadores:

Tabla 2. Indicadores de Resultado y de Proceso para el Diseño de Proyectos de Vivienda.

Criterio	Indicadores de Resultado	Indicadores de Proceso
Tiempo	Tiempo de Diseño	Tiempo de Definición del Alcance del Proyecto Tiempo de Aprobación del Inversionista Tiempo de Aprobación de la Entidad Revisora Tiempo de Latencia Interconsulta Tiempo de Diseño y Desarrollo de Planos
Calidad	Proyección de la Satisfacción del Usuario	Nivel de Percepción de la Seguridad Nivel de Percepción de la Salubridad Nivel de Percepción de la Funcionalidad Nivel de Percepción de la Estética Nivel de Percepción del Confort
Costo	Costo Objetivo de Construcción	Costo del Casco Costo de las Instalaciones Costo de los Acabados
Medio Ambiente	Diseño Medioambiental	Eficiencia Energética Eficiencia del Agua Transporte Sostenible Polución Medioambiental
Sociedad	Diseño Social	Cumplimiento de las Normas Incorporación de Espacios Sociales y Productivos

INDICADOR DE PLAZO DE DISEÑO

El Indicador de Resultado del plazo de diseño mide la relación entre el plazo real de diseño y el plazo contractual de diseño. El tiempo empleado en el diseño de un proyecto de edificación es muy significativo respecto al plazo total del proyecto; por ello, es necesario controlar que el plazo de diseño no exceda el plazo previsto para el proyecto.

Los Indicadores de Proceso contemplan el tiempo necesario para lograr un buen consenso en los alcances del proyecto, es decir, lograr un buen alineamiento de las necesidades y valores de todos los involucrados del proyecto. Además, estos indicadores consideran los tiempos de respuesta en las aprobaciones del inversionista, los tiempos de respuesta de las aprobaciones del ente revisor, las latencias entre las consultas de los especialistas que conforman el equipo de diseño, y el tiempo de desarrollo propiamente dicho de los planos y especificaciones de todas especialidades del diseño.

Los principales Indicadores Proactivos que nos pueden conducir a lograr los plazos establecidos son la capacidad de entendimiento del inversionista, la experiencia del Diseñador y el sistema empleado para manejar la información entre los involucrados en los alcances del proyecto. La claridad de las propuestas al inversionista y su sustentación técnica son los indicadores Proactivos para lograr la debida celeridad en las aprobaciones del mismo. Del mismo modo, el cumplimiento de la normativa y el conocimiento de los trámites necesarios son indicadores que nos conducen a obtener las aprobaciones de la entidad revisora. Los indicadores Proactivos propuestos para minimizar la latencia de las interconsultas son la disponibilidad, flexibilidad, rapidez y puntualidad de los proyectistas y la efectividad de los medios de comunicación usados. La experiencia de los proyectistas, la claridad de la normativa y el protocolo de intervenciones necesarios son los indicadores propuestos para lograr eficiencia en el diseño y desarrollo de los planos y especificaciones.

INDICADOR DE PROYECCIÓN DE LA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE

Este Indicador de Resultado se mide con la Satisfacción del Cliente, para ello se compara la estimación de la percepción del grado de satisfacción del usuario, hecha por el equipo de diseño luego de concluidos los planos, contra el grado de percepción

esperado y definido en la línea base. La satisfacción del usuario final es uno de los principales objetivos de cualquier proyecto de edificación. Para el presente indicador, en el caso de edificaciones de vivienda, se tomará la propuesta de Orihuela y Orihuela (2014) para estimar la percepción de la satisfacción del usuario final.

Los Indicadores de Proceso contemplan la percepción que se piensa el usuario tendrá respecto a la seguridad física del inmueble, la salubridad, la funcionalidad, la estética y el confort térmico, acústico, lumínico y ergonómico.

Entre los principales Indicadores Proactivos tenemos: La experiencia de los proyectistas en este tipo de proyectos, la capacitación continua y actualizada, la proactividad hacia el proyecto y al trabajo en equipo.

INDICADOR DE COSTO OBJETIVO DE CONSTRUCCIÓN

Este Indicador de Resultado se mide con el costo de obra, para ello se compara el presupuesto en base a los planos y especificaciones, y se le compara contra el costo objetivo de la obra.

Los Indicadores de Proceso contemplan: El sistema estructural y constructivo elegido; los tipos de instalaciones de servicio, tales como las instalaciones eléctricas, mecánicas, sanitarias, de gas, de comunicaciones, de inyección de aire, de extracción de monóxido y contra incendios; y el nivel de acabados. Todas estas decisiones que son determinadas en el diseño impactarán en el costo final de la obra.

Entre los Indicadores Proactivos tenemos: La experiencia y capacidad de los proyectistas para monitorear el costo durante el proceso de diseño, para elegir nuevos materiales, para evaluar múltiples alternativas, para proporcionar un buen nivel de constructibilidad, para obtener un buen nivel de compatibilización y un buen nivel de detalle en los planos, todo lo cual conducirá al cumplimiento del costo objetivo de la obra.

INDICADOR DE DISEÑO MEDIOAMBIENTAL

Este Indicador de Resultado compara los créditos de certificación ambiental obtenidos en el diseño, contra los deseados para esa fase.

Los Indicadores de Proceso contemplan: La eficiencia energética, la eficiencia hídrica, la promoción del transporte sostenible y la contaminación al entorno, cuyas consideraciones a nivel de diseño aminoran el impacto al medio ambiente.

Entre los Indicadores Proactivos tenemos: El conocimiento de equipos de bajo consumo energía y agua, el conocimiento de equipos de monitoreo avanzado tanto de la energía como del agua, el compromiso de los proyectistas y del inversionista ante el medio ambiente, el conocimiento sobre los beneficios de usar los medios de transporte ecoamigables, el conocimiento sobre la reducción de las islas de calor, contaminación lumínica y gestión de aguas pluviales, todo lo cual contribuirá a reducir el impacto que el proyecto genera al medio ambiente. Todos estos aspectos contribuirán en la reducción del impacto del proyecto al medio ambiente.

INDICADOR DE DISEÑO SOCIAL

Este Indicador de Resultado compara el nivel de Impacto Social causado por el diseño contra el nivel establecido en la línea base del Proyecto.

Los Indicadores de Proceso contemplan: El cumplimiento de las normas de diseño y la disponibilidad de ambientes para una vida sociable y productiva.

Entre los Indicadores Proactivos tenemos: La responsabilidad profesional, ética y moral de los proyectistas e inversionistas hacia el cumplimiento de las normas de diseño; la buena disposición para incluir en el proyecto, ambientes que permitan una buena socialización, el espaciamiento y la práctica del deporte, así como la flexibilidad de usos de ciertos ambientes productivos que propicien la generación de industrias caseras.

PROPUESTA DE INDICADORES DE LA FASE DE ABASTECIMIENTO

Por las razones previamente explicadas, se proponen también 5 Indicadores de Resultado para la fase de Abastecimiento, sus correspondientes Indicadores de Proceso y, finalmente, los Indicadores Proactivos que nos guíen y nos ayuden a alcanzar las metas esperadas. La Tabla 3 muestra los dos primeros tipos de indicadores:

Tabla 3. Indicadores de Resultado y de Proceso para el Abastecimiento de Proyectos de Vivienda.

Criterio	Indicadores de Resultado	Indicadores de Proceso
Calidad	Calidad de Materiales y Equipos	Calidad de Materiales Estructurales Calidad de Los Materiales de Instalaciones y Equipamiento Calidad de los Materiales de Acabados
Medio Ambiente	Abastecimiento Medioambiental	Materiales con Sello Verde Transporte Sostenible
Sociedad	Abastecimiento Social	Trabajo local

INDICADOR DE CALIDAD DE LOS MATERIALES Y EQUIPOS

Este Indicador de Resultado compara la calidad especificada para los materiales y equipamiento, contra la calidad adquirida durante la fase de abastecimiento.

Los Indicadores de Proceso contemplan la calidad de los materiales estructurales, los que básicamente son el acero y el concreto; la calidad de los materiales y equipamiento de las Instalaciones Sanitarias, compuestas por la red de tuberías de agua y desagüe y los equipos de bombeo; la calidad de los materiales de las Instalaciones Eléctricas, compuestas por la red de alumbrado y toma corrientes, los cables, los tableros eléctricos y los pozos a tierra; la calidad de los equipos electro-mecánicos; y finalmente la calidad de los principales materiales de los acabados, los cuales han sido especificados en los planos y que dependen en gran medida del mercado meta al que se dirijan.

Algunos Indicadores Proactivos son, el conocimiento del personal de compras y logística acerca de las características técnicas de los materiales adquiridos y su verdadero balance costo / beneficio, una buena política de compras de la empresa, y un buen sistema de retroalimentación post ocupación respecto al desempeño de estos materiales y/o equipamiento.

INDICADOR AMBIENTAL DE ABASTECIMIENTO

Este Indicador de Resultado compara los créditos obtenidos para la certificación contra los créditos esperados durante esta fase de Abastecimiento.

Los Indicadores de Proceso contemplan la utilización de materiales con sello verde, es decir aquellos materiales que desde la extracción de la materia prima hasta el fin de su uso, cumplen con los requisitos de eficiencia medio ambiental; asimismo la utilización de materiales cercanos a la región donde se realiza el proyecto con lo cual se optimiza el transporte y la contaminación ambiental, para ello compara el costo de este tipo de materiales contra el costo total de materiales.

Algunos Indicadores Proactivos son, el conocimiento y la concientización del impacto ambiental que algunos materiales generan a lo largo de su ciclo de vida, lo cual se debe influenciar las políticas de compras de las empresas.

INDICADOR SOCIAL DE ABASTECIMIENTO

Este Indicador de Resultado compara el impacto social causado por el abastecimiento de recursos de la obra contra el impacto social esperado.

Los Indicadores de Proceso contemplan la generación de trabajo local, lo que promueve el bienestar y progreso ocasionados por generación de puestos de trabajo en las comunidades donde se realiza el Proyecto, no solo por los puestos de trabajo directo sino también por la generación de trabajo complementario.

Algunos Indicadores Proactivos son, la responsabilidad social de la empresa y las políticas de abastecimiento.

PROPUESTA DE INDICADORES PARA LA FASE DE ENSAMBLAJE

Por las razones previamente explicadas, se proponen también 5 Indicadores de Resultado para la fase de Ensamblaje, sus correspondientes Indicadores de Proceso y, finalmente, los Indicadores Proactivos que nos guíen y nos ayuden a alcanzar las metas esperadas. La Tabla 4 muestra los dos primeros tipos de indicadores:

Tabla 4. Indicadores de Resultado y de Proceso para el Ensamblaje de Proyectos de Vivienda.

Criterio	Indicadores de Resultado	Indicadores de Proceso
Tiempo	Tiempo de Construcción	Tiempo para Infraestructura Tiempo para Superestructura Tiempo para Acabados
Calidad	Calidad de Ejecución	Calidad de la Estructura Calidad de las Instalaciones Calidad de los Acabados
Costo	Costo de Construcción	Costo del Casco Costo de las Instalaciones Costo de los Acabados
Medio Ambiente	Ejecución Medioambiental	Contaminación y Polución Residuos y Desperdicios Reciclaje
Sociedad	Ejecución Social	Trabajo Formal Accidentabilidad Enfermedades ocupacionales

INDICADOR DE PLAZO DE OBRA

Este Indicador de Resultado compara el tiempo real de ejecución de la obra contra su plazo contractual, es uno de los indicadores más comunes en los proyectos de construcción.

Los Indicadores de Proceso contemplan los tiempos para la construcción de la infraestructura, de la superestructura y de los acabados.

Algunos Indicadores Proactivos son, el nivel de conocimiento del Proyecto y sus restricciones, la habilidad de los planificadores y el trabajo en equipo y el compromiso de los involucrados, entre otros.

INDICADOR DE CALIDAD DE LA OBRA

Este Indicador de Resultado compara la calidad obtenida durante la ejecución de la obra contra la calidad especificada en los planos, especificaciones técnicas, leyes, reglamentos y normas.

Los Indicadores de Proceso contemplan la calidad de la estructura, de las instalaciones sanitarias, electro-mecánicas y de los acabados. Estos indicadores deben

garantizar el buen comportamiento de la edificación tanto en situación estática como dinámica.

Algunos Indicadores Proactivos son, la capacitación y la experiencia de las diferentes cuadrillas del personal obrero, el buen clima laboral y la buena comunicación entre las diferentes áreas, entre otros.

INDICADOR DEL COSTO DE OBRA

Este Indicador de Resultado compara el costo final obtenido contra el costo contractual. Conjuntamente con el Indicador del Plazo de Obra es el más común en proyectos de construcción.

Los Indicadores de Proceso contemplan el costo de la estructura, de las instalaciones y de los acabados.

Algunos Indicadores Proactivos son, la capacidad del equipo de obra para minimizar las pérdidas, la habilidad para aplicar la constructabilidad durante el proceso constructivo, la eficiencia de los planificadores, el trabajo en equipo, la eficiencia de la comunicación entre los grupos involucrados, entre otros.

INDICADOR DE LA EJECUCIÓN AMBIENTAL

Este Indicador de Resultado compara el impacto ambiental causado durante la ejecución de la obra contra el impacto ambiental esperado, esto se puede cuantificar mediante los créditos obtenidos medioambientales contra los créditos esperados durante esta fase de Ejecución.

Los Indicadores de Proceso contemplan la prevención de la contaminación durante la ejecución de la obra, la gestión de los residuos de demolición, la gestión de la reducción de desperdicios, la recolección y almacenamiento de materiales reciclables.

Algunos Indicadores Proactivos son, la incorporación de estas prácticas en las normas y reglamentos por parte del estado, el conocimiento del personal de obra acerca de las normas medioambientales, la concientización y decisión de los inversionistas de incorporar estas políticas medioambientales, entre otros.

INDICADOR DE LA EJECUCIÓN SOCIAL

Este Indicador de Resultado compara el impacto social causado durante la ejecución de la obra contra el impacto esperado. Este trata de promover, en la medida de lo posible, la disminución de la pobreza, el cumplimiento de los derechos laborales, legales, económicos y culturales, así como el respeto a las comunidades y los lugares donde se desarrollan los proyectos.

Los Indicadores de Proceso contemplan: la legalidad laboral, con la cual los obreros pueden acceder a todos sus derechos de salud, de pensión de jubilación y existencia jurídica; la baja frecuencia de accidentabilidad durante el trabajo, la baja frecuencia de enfermedades ocupacionales, el respeto a la tranquilidad y a los derechos de los habitantes de la zona afectada por el Proyecto.

Algunos Indicadores Proactivos son, la responsabilidad social de la empresa, la eficiencia de los sistemas de control, la concientización de los riesgos inherentes, la capacitación de los trabajadores, la inversión en los dispositivos de seguridad, entre otros.

CONCLUSIONES

La revisión de estado del arte sobre los indicadores en proyectos de construcción, nos demuestra que hay una mezcla indiscriminada de los diferentes tipos de indicadores, lo cual no contribuye a un clara y eficaz monitoreo de proyectos en la industria.

El presente trabajo propone en primer lugar un Tablero de Control biaxial que considera por un lado las fases del ciclo de vida del proyecto y por el otro sus criterios

de éxito; sobre este tablero se ubica cada uno de los Indicadores de Resultado de un proyecto de construcción.

En segundo lugar se propone un conjunto de Indicadores de Proceso e Indicadores Proactivos, para cada fase de proyectos de vivienda, con una estructura que permite identificar de una manera muy clara adonde pertenece cada indicador y por ende adonde estamos enfocando nuestros esfuerzos de mejora. Estas dos propuestas permitirán poner en práctica el monitoreo del proyecto en base a indicadores.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Suk, B. Hwang, C. Caldas, J. Dai, S. Mulva, Performance Dashboard for a Pharmaceutical Project Benchmarking Program, *Journal of Construction Engineering and Management*, 138 (2012) 864-876.
- [2] R. Kaplan, D. Norton, The balanced scorecard measures that drive performance, *Harvard Business Review*, 70 (1992) 71–79.
- [3] L. Alarcon, A. Grillo, J. Freire, S. Diethelm, Learning from collaborative benchmarking in the construction industry, in G. Ballard & D. Chua (Eds.), 9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Singapore, 2001.
- [4] J. Toellner, Improving safety and health performance: Identifying and measuring leading indicators, *Professional Safety*, 46(2001) 42–47.
- [5] J. Hinze, S. Thurman, A. Wehle, Leading indicators of construction safety performance, *Safety Science*, 51(2013), 23–28.
- [6] C. Jablonowski, Identification of HSE leading indicators using regression analysis, Society of Petroleum Engineers, Houston, (2011) 21–23.
- [7] M. El-Mashaleh, R. Minchin, W. O'Brien, Management of construction firm performance using benchmarking, *Journal of Management in Engineering*, 23 (2007) 10-17.
- [8] National Research Council, Measuring Performance and Benchmarking Project Management at the Department of Energy, The National Academies Press, Washington, DC, 2005.
- [9] D. Costa, C. Formoso, M. Kagioglou, L. Alarcón, Performance measurement systems for benchmarking in the construction industry, in S. Bertelsen, & C. Formoso (Eds.), 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Denmark, 2004.
- [10] H. Ali, I. Al-Sulaihi, K. Al-Gahtani, Indicators for measuring performance of building construction companies in Kingdom of Saudi Arabia, *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 25(2013) 125-134.
- [11] P. Orihuela, S. Pacheco, R. Aguilar, J. Orihuela, Propuesta de Indicadores de Resultado para Proyectos de Edificación, VII Encuentro Latinoamericano de Gestión y Economía en la Construcción, Bogotá, (2016) 407-416.
- [12] Y. Jastaniah, Performance evaluation and benchmarking of construction industry projects using data envelopment analysis, PhD Dissertation, Southern Methodist University, 1997.
- [13] J. Egan, Rethinking Construction, Construction Task Force Report for Department of the Environment, Transport and the Regions, Londres, 1998.
- [14] Department of the Environment, Transport and Regions, KPI Repor for the Minister for Construction, KPI Working Group, West Yorkshire, 2000.

- [15] A. Pillai, A. Joshi, K. Rao, Performance measurement of R&D projects in a multi-project, concurrent engineering environment, International Journal of Project Management, 20 (2002) 165-177.
- [16] C. Wong, Contractor performance prediction model for the United Kingdom construction contractor: study of logistic regression approach, Journal of construction engineering and management, 130 (2004) 691-698.
- [17] S: Cheung, H. Suen, K. Cheung, PPMS: a web-based construction project performance monitoring system, Automation in construction, 13 (2004) 361-376.
- Pablo Orihuela et al. / Procedia Engineering 196 (2017) 498 – 505 505
- [18] R. Ramírez, L. Alarcón, P. Knights, Benchmarking system for evaluating management practices in the construction industry, Journal of Management in Engineering, 20 (2004) 110-117.
- [19] J. da Costa, I. Horta, N. Guimaraes, H. Nóvoa, R. Sousa, Sistemas de Indicadores de desempenho e produtividade para a construção civil, Encontro nacional sobre qualidade e inovação na construção, (2006) 1-12.
- [20] L. Botero, M. Álvarez, C. Ramírez, Iniciativa colombiana en la definición de indicadores de desempeño como punto de partida de un sistema de referencia para la construcción, Ambiente Construído, 7 (2007) 89-102.
- [21] Kim, S. Y., & Huynh, T. A. (2008). Improving project management performance of large contractors using benchmarking approach. International Journal of Project Management, 758-769.
- [22] J. Rankin, A. Fayek, G. Meade, C. Haas, A. Manseau, Initial metrics and pilot program results for measuring the performance of the Canadian construction industry, Canadian Journal of Civil Engineering, 35 (2008) 849-907.
- [23] M. Skibniewski, S. Ghosh, Determination of key performance indicators with enterprise resource planning systems in engineering construction firms, Journal of construction engineering and management, 135 (2009) 965-978.
- [24] M. Roberts, V. Latorre, KPIs in the UK's Construction Industry: Using System Dynamics to Understand Underachievement, Revista de la Construcción, 8 (2009) 69-82.
- [25] S. Toor, S. Ogunlana, Beyond the "iron triangle": Stakeholder perception of key performance indicators (KPIs) for large-scale public sector development projects, International Journal of Project Management, 28 (2010) 228-236.
- [26] CII Construction Industry Institute, Productivity Benchmarking Summary Report, 2011.
- [27] J. Kunz, M. Fischer, Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions, Center for Integrated Facility Engineering (CIFE), Stanford University, 2012.
- [28] Constructing Excellence, Client's Commitments Best Practice Guide, Constructing Client's Group, London, 2013.
- [29] S. Ward, B. Curtis, C. Chapman, Objectives and performance in construction projects, Construction Management and Economics, 9 (1991) 343-353.
- [30] R. Atkinson, Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria, International Journal of Project Management, 17 (1999) 337-342.

- [31] P. Orihuela, J. Orihuela, Needs, Values and Post-Occupancy Evaluation of Housing Project Customers: A Pragmatic View, Procedia Engineering, 85 (2014) 412-419.