



Creative Construction Conference 2017, CCC 2017, 19-22 June 2017, Primosten, Croatia

## Proposal of Performance Indicators for the Design of Housing Projects

Pablo Orihuela<sup>a,b\*</sup>, Santiago Pacheco<sup>b</sup>, Jorge Orihuela<sup>b</sup>

<sup>a</sup>*Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima 15088, Perú*

<sup>b</sup>*Motiva S.A., Lima 15073, Perú*

---

### Abstract

In general, every project should have indicators that monitor compliance with established goals. In construction projects, there is 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 article presents a proposal of these three types of indicators for the design phase of housing projects, based on indicators proposed by the same authors in a previous research.

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.

© 2017 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 scientific committee of the Creative Construction Conference 2017

*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, just as the crew members of a ship need to know throughout the journey if they are on the right course, the project team needs Process Indicators to make sure that the project—during its development—is moving towards the expected goals. In that way, if we are diverting from those goals, we can make necessary and timely corrections.

---

\* Corresponding author. Tel.: 51 1 2211093.  
E-mail address: [p Orihuela@motiva.com.pe](mailto:p Orihuela@motiva.com.pe)

As these indicators are obtained a certain period of time after execution, they are known as post-mortem; thus, it is necessary to use Leading Indicators which 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 the Design Phase.

## **2. Current State of Performance Indicators in Construction**

Performance measurements in the construction industry have been carried out under different approaches over the last two decades [1]: (1) Enterprise performance measurements, (2) Project performance measurements, and (3) Benchmarking Programs. 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 used to be evaluated using financial and accounting indicators until the introduction of the Balanced Scorecard [2], in which user, innovation and internal processes indicators were taken into account [1]. 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 between Process, Result and Leading Indicators is needed.

### *2.2. Result Indicators*

Result Indicators seek to evaluate goal achievement or the achievement of expected results. The report on them must be submitted to the project owner and the top management [3]. They can refer both to internal results (at the end of each phase) and final results (at the end of the project).

### *2.3. Process Indicators*

Process Indicators seek to measure the development of activities related to the necessary processes to obtain the final product, which is a building in this case. In other words, they seek to evaluate the steps to reach the goal, such as design, construction, planning and procurement [3].

### *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 [4,5]. In other words, Leading Indicators measure variables that are known to be related to certain Result and Process Indicators [6]. However, unlike these indicators, which are post-mortem, Leading Indicators can be timely measured 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 [7]. 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 [8].

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 [9]. Among the difficulties found by these researchers we have: the lack of relationship between all the metrics, the lack of guarantee 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, the lack of training in the implementation of measurement systems.

In 2013, as part of the creation of a benchmarking system in Saudi Arabia, the King Saud University gathered indicators from enterprises and construction projects based on existing research from around the world. Some of the institutions included in said research were the CII (United States), the Department of Environment, Transport and the Regions (DETR), and the Technical Development Corporation from Chile [10].

In addition to the differences presented by Costa et al., it must be pointed out that the benchmarking initiatives above do 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. Classification of 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 the 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.

Table 1. Classification and Inventory of Result and Process indicators, [11].

References		Number of Indicators			Consolidated list of Result and Process Indicators
Year	Author	Total	Results and Process	Leading	
1997	Jastaniah [12]	9	5	4	1. Client Satisfaction, 2. Safety, 3. Claims, 4. Construction Cost, 5. Construction Lead Time, 6. Financial, 7. Environment, 8. Materials, 9. Social, 10. Stakeholders Satisfaction, 11. Specification Compliance, 12. Scope Changes.
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, Nóvoa, & 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	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.
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	

### 3. Control Panel Proposal

Based on the aforementioned information, besides the classification by type of indicators, it was necessary to locate their position 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 [11].

#### 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 such as safety, environment and customer satisfaction [1, 29, 30].

Nowadays, thanks to several reports made by entities concerned about sustainability, it is known that projects should consider 3 aspects: Society, Environment and Economy, during their life cycle. For this reason, we believe that the vertical structure of the control panel should be composed of 5 criteria: Cost, Time, Quality, Environment, and Society. In Fig. 1, the previously described structure is presented.

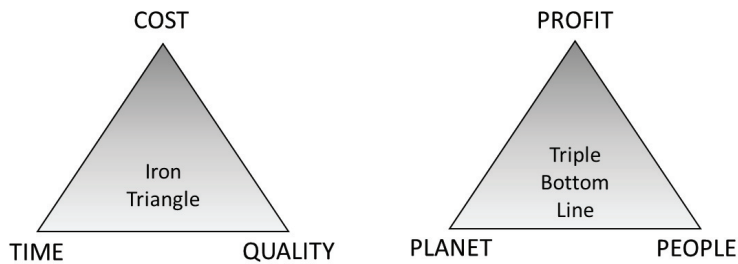


Fig. 1. Iron Triangle and the Triple Bottom.

#### 3.2. Horizontal Structure of the Control Panel

Given that the development of construction projects takes long, it is important to not only use a general Result Indicator for the project but also include Result Indicators per phase. For this reason, the five life cycle phases proposed by Lean Project Delivery System are considered: Project Definition, Design, Supply, Assembly, and Use. In the Definition Phase, the baselines of these indicators must be defined, and in the Use Phase compliance must be ensured.

Figure 2 shows the biaxial control panel that will help us find the Result Indicators:

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

Fig. 2. Control Panel Structure and Project Result Indicators adapted from [11].

#### 4. Proposal of Indicators for the Design Phase of Housing Projects

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

Table 2. Result and Process Indicators for the Design of Housing Projects

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

##### 4.1. 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.

Process Indicators consider the necessary time to obtain a good general agreement about the scopes of the project, i.e. to achieve a correct alignment of the project stakeholders' needs and values. In addition, these indicators consider the response times for investor 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's scope definition are the investor's understanding, the experience of the designer and the system that the people involved in the scope of the project used to handle the information. The clarity of the proposal for the investor and the proposal's technical foundation are the Leading Indicators to obtain the investor approvals as fast as possible. In the same way, compliance with rules and knowing about 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 experience of project designers, the clarity of standards and the protocol of timely interventions are the indicators proposed to achieve an efficient design and development of plans and specifications.

##### 4.2. Quality 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 proposal by Orihuela and Orihuela [31] to estimate the satisfaction of the end user.

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 experience of project designers, continuous and updated training, proactivity, and teamwork.

#### 4.3. Cost Indicator

This Result Indicator is measured through 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 experience and ability of project designers 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 this will lead to comply with the expected cost of the project.

#### 4.4. Environmental Indicator

This Result Indicator compares the credits of environmental certification obtained in the design with the expected credits for this phase. Nowadays, there are many models focused on the certification of sustainable buildings in the world, which cover the environmental aspect quite well despite the fact that 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 3); therefore, it is valid to follow the logic of their rating systems for environmental indicators in each project phase.

SYSTEM	CATEGORIES										
LEED	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	Waste
GREEN STAR	Management	Transport	Materials	Water	Energy	Land Use & Ecology	Indoor Environment	Innovation		Emissions	

Fig. 3. Sustainable Construction Certification Systems

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 impact on the environment.

#### 4.5. Social 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 design standards that project designers and investors must have, as well as the 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. Conclusions

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

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

Then, a group of Process and Leading Indicators are proposed for the design of housing projects, whose structure allows us to easily identify where each indicator belongs, thereby showing on what we focus our improvement efforts. Both of these proposals will help us put into practice the indicator-based monitoring of the design.

In a future research, the same indicators for the Supply and Assembly phases will be proposed.

### References

- [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.

- [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 inovacao na construcao, (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 referenciación para la construcción, *Ambiente Construido*, 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 performane 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 Jorunal 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.



# **PROPUESTA DE INDICADORES DE PERFORMANCE PARA EL DISEÑO DE PROYECTOS DE VIVIENDA (\*)**

**Pablo Orihuela<sup>1,2</sup>, Santiago Pacheco<sup>1</sup>, Jorge Orihuela<sup>1</sup>**

(\*) Traducción de la versión original en inglés. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581733103X>

## **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 Leading.

Este artículo presenta 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 Leading 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 los Indicadores de Proceso e Indicadores Leading correspondientes a la fase de Diseño.

---

<sup>1</sup> Motiva S.A., Lima, Perú, Teléfono: 0051 2211093

<sup>2</sup> Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú

## **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 Leading.

## **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 Leading.

## **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 LEADING**

Los indicadores Leading 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 Leading 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 Leading. 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	Leading	
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
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	de los involucrados, 11. Cumplimiento de especificaciones, 12. Cambios de alcance.
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, Nóvoa, & 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	<b>Consolidado de Indicadores Leading</b> 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 la 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.

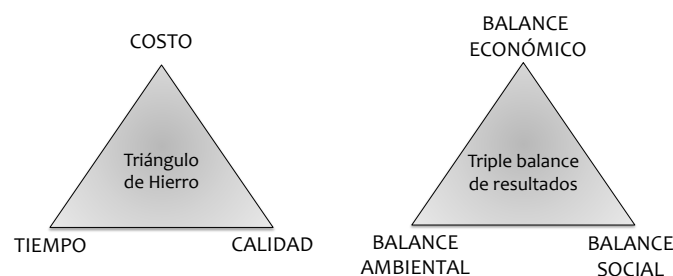


Figura 1. Triángulo de Hierro y Triple Balance de Resultados

### ESTRUCTURA VERTICAL 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, por ello para la estructura horizontal se toman las 5 fases del ciclo de vida propuesto por el Lean Project Delivery System: Diseño, Abastecimiento y Construcción. En la fase de Definición del Proyecto deben definirse las líneas bases de estos indicadores y durante la fase de Uso debe comprobarse su cumplimiento.

De esta manera, la Figura 2 muestra el tablero biaxial que servirá para ubicar a los Indicadores de Resultado:

	DEF. PROJ.	DISEÑO	ABASTECIMIENTO	CONSTRUCCIÓN	USO
TIEMPO	<i>Definición de la Línea Base de los Indicadores</i>	Plazo de Diseño	Plazo de Obra		<i>Cumplimiento de la Satisfacción y el Valor de los involucrados</i>
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	

Figura 2. 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 Leading que nos conduzcan y ayuden a lograr los resultados deseados. La Tabla 2 nos muestra los dos primeros tipos de indicadores:

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

Crterios	Indicadores de Resultado	Indicadores de Proceso
Plazo	Plazo de diseño	Alcances del Proyecto
		Aprobaciones del inversionista
		Aprobaciones de la entidad revisora
		Latencia de Interconsultas
		Diseño y desarrollo de planos
Calidad	Satisfacción del usuario	Seguridad
		Salubridad
		Funcionalidad
		Estética
		Confort
Costo	Costo Objetivo de Obra	Sistema estructural y constructivo
		Tipos de instalacion de servicio
		Nivel de Acabados
M. Ambiente	Impacto al medio ambiente	Eficiencia energética
		Eficiencia hídrica
		Promoción del transporte sostenible
		Contaminación al entorno
Social	Impacto social	Normativa urbana
		Ambientes sociales y productivos

## **INDICADOR DE PLAZO**

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 Leading 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 Leading 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 Leading 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 CALIDAD**

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 Leading 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**

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 Leading 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

constructabilidad, 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 MEDIOAMBIENTAL

Este Indicador de Resultado compara los créditos de certificación ambiental obtenidos en el diseño, contra los deseados para esa fase. 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 3), 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										
LEED	Proceso Integrativo	Ubicación y Transporte	Materiales y Recursos	Eficiencia del agua	Energía y Atmósfera	Sitios Sustentables	Ambiente Interior	Innovación	Prioridad Regional		
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		Emisiones	

Figura 3. Sistemas de Certificación de Construcciones Sustentables

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 Leading 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.

### INDICADOR 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 Leading 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 esparcimiento y la práctica del deporte, así como la flexibilidad de usos de ciertos ambientes productivos que propicien la generación de industrias caseras.

## 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 Leading, para el diseño 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 diseño en base a indicadores.

En una futura investigación, se propondrán los mismos indicadores para las fases de Abastecimiento y Construcción.

## 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 Report 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
- [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 inovacao na construcao*, (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 referenciación 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.