



ISBN: 978-85-67169-04-0

## SIBRAGEC ELAGEC 2015

São Carlos / SP - Brasil - 7 a 9 de outubro

### DESARROLLO DE UN ÍNDICE PARA EL CONTROL DE AVANCE DE PROYECTOS DE CONTRUCCIÓN DE VIVIENDA DURANTE SU CICLO DE VIDA.

**CABALLERO, Alberto (1); GARCÍA, Salvador (2); CREMADES, Lázaro (3)**

(1) ITESM Campus Monterrey, +528183582000 ext. 5546, e-mail: acaballero@itesm.mx, (2) ITESM Campus Monterrey, e-mail: sgl@itesm.mx, (3) Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), e-mail: lazaro.cremades@upc.edu

#### RESUMEN

El proceso de control de un proyecto de construcción que involucre el ciclo de vida integralmente es una tarea compleja. El control de un proyecto en función solamente de la ejecución de la obra es una versión limitada, ya que, el éxito de un proyecto depende de que todas las etapas de su ciclo de vida sean realizadas correctamente. Encontrar un índice para el control del proyecto que abarque todo su ciclo de vida es una tarea fácil, tiene una perspectiva multidimensional porque considera las etapas de diseño, construcción, ventas y satisfacción del cliente, donde cada una involucra actividades muy diversas. Este artículo desarrolla un índice de control de avance del proyecto, identifica los indicadores de desempeño en cada etapa del ciclo de vida y usa un modelo aditivo de pesos ponderados para integrar el modelo matemático, que permita conocer el avance del proyecto. Se utilizó el método Delphi para conocer los indicadores de desempeño que deben integrar el modelo, aplicándose en proyectos de construcción de vivienda. Este método de investigación podría ser utilizado para desarrollar el índice de control de cualquier proyecto de construcción y ser utilizado como método de comparación en empresas que gestionan múltiples proyectos.

**Palabras clave:** Control, Indicador de desempeño, Delphi, Modelo matemático

#### ABSTRACT

*The control process of a construction project involving the whole lifecycle is a complex task. The control version of a project based only on the performance of the work is a limited version, because the success of a project depends on how stages of their life cycle are carried out correctly. Finding an index for the control of a project that covers its entire life cycle is not an easy task, as it has a multidimensional perspective that considers the stages of design, construction, sales and customer satisfaction, each of which involves a diverse activities. This paper develops an index of control advance of the project, by identifying performance indicators at each stage of the life cycle and using a weighted additive model pesos to integrate the mathematical model, which allows to know the progress of the project. The Delphi method was used to determine the performance indicators to be included in the model, applied in construction projects of housing. This research method could be used to develop the index control of any construction project and be used as a method of comparison in companies that manage multiple projects.*

**Keywords:** Control, Performance indicator, Delphi, Mathematical Model.

#### 1. INTRODUCCIÓN

El sistema productivo por proyecto es usado para fabricar productos únicos, tales como los relacionados con la industria de la construcción, cuya gestión le permite adaptarse a cualquier circunstancia que se pueda presentar (SERER, 2001). El control de proyectos ha sido ampliamente estudiado en muchos contextos, pero se ha enfocado en el control

de la ejecución, debido principalmente a que esto nos brindará la seguridad de que seguimos en el camino de terminar un proyecto exitosamente (DE WITT, 1988).

Durante el ciclo de vida del proyecto se realizan actividades únicas y específicas, las cuales se ven afectadas por múltiples factores que provocan desviaciones en la obtención del objetivo (CHENG, 2010). Estas actividades deben estar eslabonadas, integradas y orientadas a lograr los objetivos del proyecto.

Debido a que en cualquier momento del ciclo de vida pueden surgir desviaciones respecto a lo planeado y si cada etapa está organizada individualmente para lograr su objetivo particular, se pierde el enlace con el proyecto global, corriéndose el riesgo de no lograr el objetivo principal. De la misma manera que la estructura del proyecto es importante, es igualmente relevante el método de control. Puede construirse un modelo matemático, de manera que contenga los elementos de control para las actividades y que las integre mediante indicadores por etapa de su ciclo de vida, desde la planeación, donde se establecen éstas actividades, hasta el servicio posterior a la entrega, donde se cierra el proyecto.

El propósito de artículo consiste desarrollar un índice para el control de avance para proyectos de construcción que considere su ciclo de vida completo, desde su concepción hasta la entrega final y cierre. El índice integrará las actividades del proyecto en un modelo matemático para facilitar su gestión, utilizando para ello indicadores en cada una de las etapas del ciclo de vida, construido con los elementos de control de cada actividad para conocer el avance real del proyecto en cualquier momento durante su ejecución.

## **2. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1. El método de control.**

Walter Shewart (1931) definió el término de control de un proceso como la capacidad de predecir su comportamiento futuro dentro de ciertos límites; cuando el proceso sale de estos límites, es una condición indeseable y por lo tanto se debe actuar inmediatamente para regresar el proceso a un estado de control; para que la decisión de actuación sea lo más inmediata posible, propuso el uso de gráficos de comportamiento del proceso que se lleven en el piso de producción y pueda identificarse un estado no deseable y posteriormente realizar las acciones correctivas.

Un sistema es definido como “un conjunto de partes que interactúan entre sí como un todo” y la gestión de un proyecto podría verse como un sistema (LEWIS 2007), también el objeto-producto de proyecto puede tratarse como un sistema (GOMEZ-SENENT; CAPUZ, 1999), en ambos casos, es importante resaltar el enfoque de sistemas como una visión alternativa, pero imprescindible para el correcto tratamiento de la gestión de los proyectos. Peter Checkland (2012) señaló cuatro conceptos clave para la adaptabilidad de un sistema: la jerarquía de sistemas, un proceso de comunicación que permita su retroalimentación, un número de procesos de control y las propiedades emergentes que definen el estado deseado. Estos cuatro conceptos ayudan a definir la adaptabilidad del sistema y poder aplicarlo a un proyecto permitirá lograr el estado deseado y por lo tanto asegurar al proyecto lograr su objetivo.

De acuerdo a lo señalado anteriormente, podemos inferir que el proyecto puede ser considerado como un sistema de una forma integral abarcando todo su ciclo de vida y que un sistema de control deberá ser parte del proyecto y estará estructurado

jerárquicamente con suficientes elementos de control para retroalimentar en la ejecución y así colaborar para el logro de los objetivos el proyecto.

## **2.2.El ciclo de vida del proyecto.**

El ciclo de vida de un proyecto de construcción consta de tres fases: la fase Creativa, donde se concibe la idea del proyecto: se investiga la forma como será el objeto-producto del proyecto, hasta plasmar este producto en planos; la fase de Construcción, donde el proyecto se lleva a cabo, se obtiene el producto ya elaborado físicamente y listo para operar; y la fase de Explotación, que comprende desde la puesta en marcha o prueba iniciales, la entrega al cliente, la operación, servicio posterior a la entrega y la evaluación final o cierre del proyecto (GOMEZ-SENENT; CAPUZ, 1999).

Basado en el ciclo de vida del proyecto y para incluir la mejora en proyectos subsecuentes, debemos agregar una actividad que integre lo aprendido en un proyecto y pueda aplicarse posteriormente, de esta manera, se establezca un aprendizaje para la empresa. El modelo podrá representarse en forma circular, asegurando que se realizan actividades que generan conocimiento dentro de la organización y por lo tanto el beneficio del aprendizaje se observará al aplicarse en proyectos subsecuentes.

## **3. DESARROLLO DEL ÍNDICE PARA EL CONTROL DE PROYECTOS.**

### **3.1. Indicadores de desempeño.**

Un indicador es definido como una medida utilizada para cuantificar la eficiencia y/o eficacia de una actividad o proceso (HEREDIA, 2001), parte importante es su definición, ya que debe ser claramente establecido el propósito de la medición, es decir, cómo el indicador afectará el comportamiento de la empresa y deberá mantener la cualidad de ser fácil de entender.

Los estudios que se han realizado para controlar proyectos de construcción han utilizado indicadores de desempeño y enfocados en las etapas individuales del ciclo de vida del proyecto (ELDIN, 1989; CHAN y CHAN, 2004). En estos estudios se establecen indicadores tanto cuantitativos: planos, programas, presupuestos, tiempo de construcción, velocidad de construcción, variación del tiempo, costo; como cualitativos (calidad, funcionalidad, cumplimiento de las expectativas de los usuarios, satisfacción de los participantes, entre otros. Los indicadores analizados pueden ser usados para medir el trabajo realizado y establecer un método para medir el avance en tiempo real del proyecto, (ELDIN, 1989; LINet *al.*, 2011).

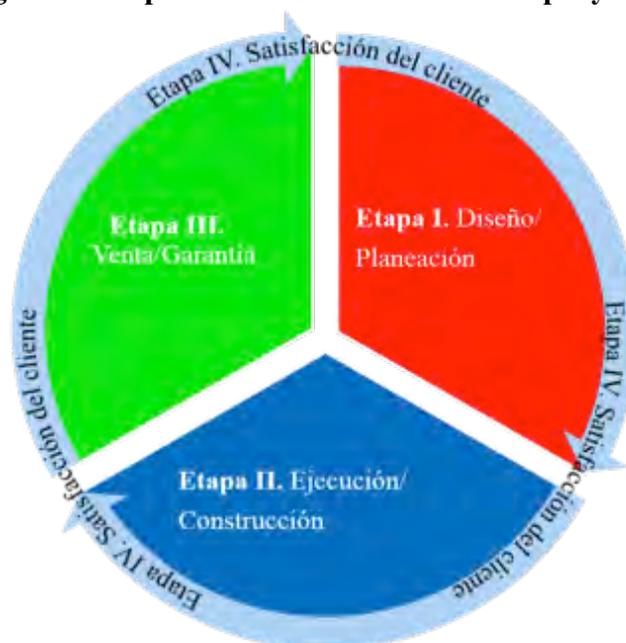
En este artículo se utilizarán indicadores de control de cada actividad del proyecto, para conocer el grado de cumplimiento de las actividades y mediante factores de contribución se integra en un modelo matemático que representa proyectos en todo su ciclo de vida.

### **3.2. Modelo de control.**

Se propone un modelo integral para el control de un proyecto de construcción (Figura 1), considerando todas las etapas de su ciclo de vida, fundamentado en un sistema de indicadores que permiten, de una manera rápida, sencilla y confiable conocer su estado, así como, el avance durante su ciclo de vida, desde la etapa de diseño, siguiendo por la ejecución, operación, entrega, garantía y terminando con el cierre o satisfacción del cliente.

Una característica importante del modelo propuesto es que incorpora una cuarta etapa para el cierre del proyecto, en ella se establece la necesidad de revisar todos los indicadores de satisfacción del cliente interno y externo, el nivel de cumplimiento del programa y presupuesto, así como todos aquellos indicadores que tengan un impacto para la empresa y su entorno, tales como, la siniestralidad, el impacto ambiental, la ganancia neta y los que se consideren específicamente para cada proyecto de acuerdo a las políticas de la empresa. Esta cuarta etapa se debe ir evaluando durante el ciclo de vida del proyecto y no esperar hasta el final, de tal manera que permita ir haciendo modificaciones de mejora en el sitio de trabajo.

Figura 1. Etapas del modelo de control de proyectos.



Fuente: Desarrollo propio

### 3.3. Modelo matemático.

La modelación matemática del sistema de control (Ec. 1) consiste en obtener un **Índice de Avance del Proyecto (IAP)**, el cual está compuesto por los **Índices de avance parcial** de cada etapa ( $IP_i$ ) multiplicadas por su **Factor de contribución** ( $FC_i$ ).

$$IAP = FC_1 IP_1 + FC_2 IP_2 + FC_3 IP_3 + FC_4 IP_4 \quad (1)$$

Donde,  $IAP$  = Índice de Avance del Proyecto;

$FC_1$  = Factor de Contribución de la Etapa I: de Diseño/Ingeniería/Planeación;

$IP_1$  = Índice de Avance Parcial de la Etapa I: de Diseño/Ingeniería/Planeación;

$FC_2$  = Factor de Contribución de la Etapa II: Ejecución/Construcción;

$IP_2$  = Índice de Avance Parcial de la Etapa II: Ejecución/Construcción;

$FC_3$  = Factor de Contribución de la Etapa III: Venta/Entrega;

$IP_3$  = Índice de Avance Parcial de la Etapa III: Venta/Entrega;

$FC_4$  = Factor de Contribución de la Etapa IV: Satisfacción del cliente;

$IP_4$  = Índice de Avance Parcial de la Etapa IV: Satisfacción del cliente;

En cada etapa se construirá el Índice de avance parcial ( $IP_i$ ) en función de los elementos de control de cada actividad del proyecto, de tal manera que, para cada etapa  $i$  tiene una ecuación (Ec. 2).

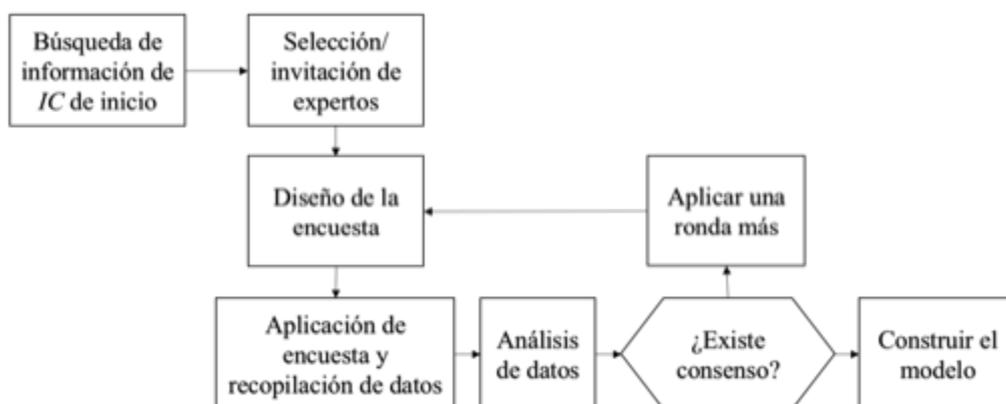
$$IP_i = \sum_{j=1}^{n_j} FC_{i,j} IC_{i,j} \quad (2)$$

Donde,  $IP_i$  = Índice de Avance Parcial de la Etapa  $i$ ;  
 $FC_{i,j}$  = Factor de Contribución del Indicador  $i$  de la Etapa  $j$ ;  
 $IC_{i,j}$  = Indicador de desempeño del elemento de control  $i$  de la Etapa  $j$ ;

#### 4. EL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La técnica Delphi ha sido usada ampliamente en la industria de la construcción para la obtención de información objetiva, mediante el consenso entre expertos de un tema. La selección de los expertos del tema de interés, la construcción de las preguntas y el análisis de sus respuestas es fundamental en la obtención de resultados confiables (SOURANI; SUHAIL, 2014). En la Figura 2 se muestra el procedimiento que se siguió en toda la etapa de investigación.

Figura 2. Procedimiento simplificado del Método Delphi.



Fuente: Desarrollo propio, adaptado de SOURANI; SUHAIL, 2014

Para la selección de expertos se solicitó que fueran profesionistas relacionados con la industria de la construcción (Ingenieros civiles, Arquitectos o Administradores), que tuvieran al menos 5 años de experiencia y que actualmente estuvieran colaborando en proyectos, ya sea como gerentes de obra, administrador o Director de proyecto. La invitación se realizó a expertos del sector vivienda en la zona noreste de México y asistieron a la primera sesión un total de 24 expertos, se realizaron dos rondas hasta que se llegó a consenso y 19 de ellos también participaron en tercera ronda realizada en una segunda sesión.

Tabla 1. Lista inicial de indicadores de control presentadas al panel de expertos.

Etapa del Proyecto	Indicadores de Control	Fuente
Etapa I. Diseño/Planeación	Proyecto arquitectónico. Ingeniería del proyecto. Elaboración del programa de obra. Elaboración del presupuesto	DE WITT 1988; ELDIN 1989; ELDIN 1991.
Etapa II. Ejecución/	Avance real del programa del proyecto Avance real del presupuesto del proyecto	ATKINSON 1999; CHAN y CHAN, 2004;

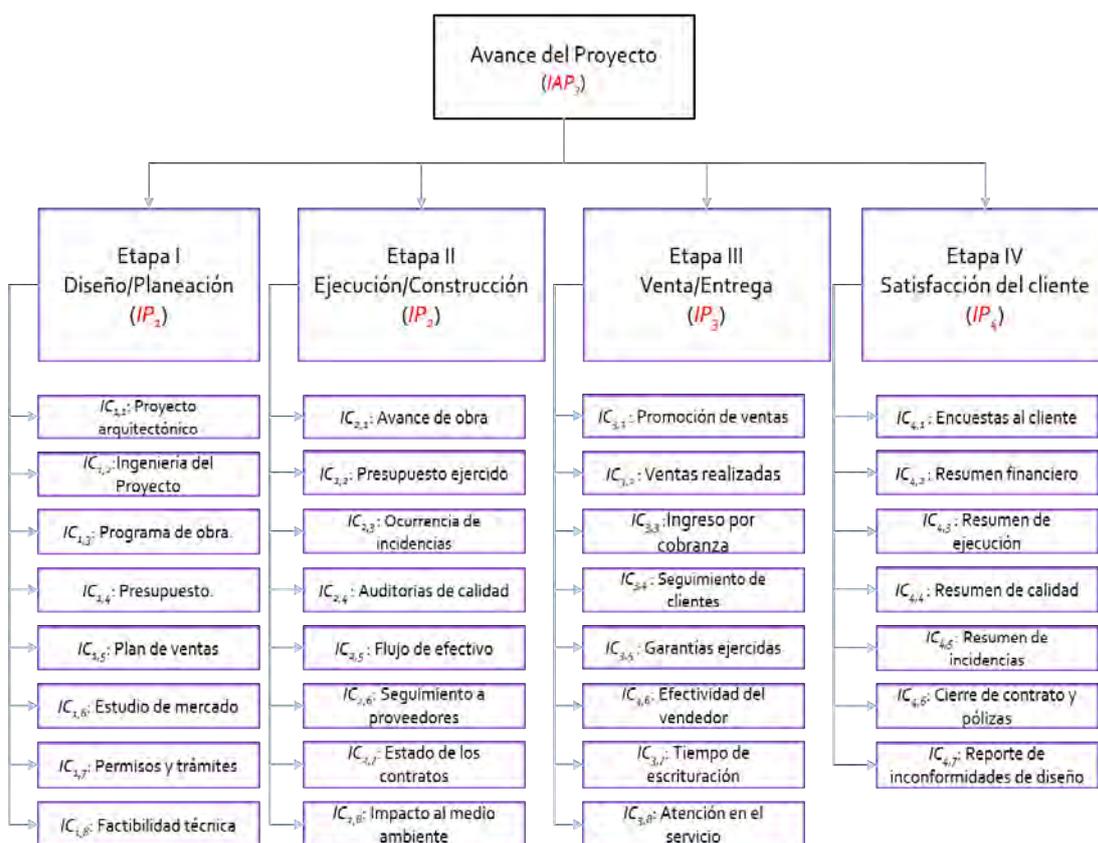
Construcción.	Reporte de Ocurrencia de incidencias Realización de Auditorías de calidad. Seguimiento al Flujo de efectivo.	HORTA <i>et al.</i> , 2010; GONGBO LIN y SHEN 2007; COSTA <i>et al.</i> , 2006
Etapa III. Venta/Entrega.	Promoción de venta ejercida. Ventas realizadas. Ingreso por cobranza. Seguimiento posventa a clientes. Garantías que se han hecho válidas.	GONGBO LIN y SHEN 2007; RAMOS, 2009
Etapa IV. Satisfacción del cliente.	Encuestas de satisfacción del cliente. Resumen de ejecución y financiero. Reporte final de calidad. Resumen final de incidencias.	CHAN;CHAN, 2004; GARZA, 2006

Fuente: Desarrollo propio

Se realizó una búsqueda de Indicadores de Control (*IC*) en la literatura, se hizo un resumen y los indicadores obtenidos, mostrados en la Tabla 1, se presentaron al grupo de expertos para validarlos, dándoles la libertad de agregar o eliminar cualquiera de ellos, en función de su validez para aplicarlo en proyectos de construcción de vivienda.

En la segunda ronda se reformuló el cuestionario, incluyendo sus aportaciones de la etapa anterior, se obtuvieron 31 Indicadores, 8 para cada una de las tres primeras etapas y 7 para la cuarta etapa, se presentaron al grupo y se les pidió que le asignaran a cada factor un valor de contribución al avance del proyecto. En la Figura 2 se muestran el esquema con los indicadores obtenidos.

**Figura 2. Integración de los Índices de avance parcial por cada etapa del proyecto.**



Fuente: Desarrollo propio

En la tercera ronda (segunda sesión), se presentó el resumen y análisis de la sesión anterior y se les pidió que, en función de los resultados mostrados, asignaran un valor de contribución al avance del proyecto a los factores de contribución de cada etapa ( $FC_i$ ) y también a los factores de contribución de cada indicador de control ( $FC_{i,j}$ ), se les presentaron los resultados, llegándose así a consenso.

## **5. APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA.**

### **5.1. Integración del índice de avance del proyecto (IAP).**

La Ec. 3, muestra el modelo matemático obtenido para calcular el avance del proyecto.

$$IAP = 27.21IP_1 + 30.16 IP_2 + 24.37 IP_3 + 18.26 IP_4 \quad (3)$$

El índice muestra el porcentaje de avance de un proyecto; idealmente, este valor puede ser 0% cuando se inicia un proyecto y 100% cuando se termina, pero al terminarse se puede tener valores diferentes en función del cumplimiento de los alcances establecidos al inicio del proyecto. Esta ecuación depende de los Índices parciales de cada etapa ( $IP_i$ )

### **5.2. Índices por cada etapa del proyecto**

Se construyó también una ecuación para el avance de cada etapa del proyecto, el panel de expertos asignó un valor a cada factor de contribución por cada Indicador de control ( $FC_{i,j}$ ). Los resultados se muestran en las Ecuaciones 4 a la 7. Su interpretación indica el valor que representa cada actividad y su aporte al avance de cada etapa del proyecto.

$$IP_1 = 11.0IC_{1,1} + 14.5IC_{1,2} + 11.2IC_{1,3} + 16.6IC_{1,4} + 9.8IC_{1,5} + 13.8IC_{1,6} + 10.8IC_{1,7} + 12.3IC_{1,8} \quad (4)$$

$$IP_2 = 20.6IC_{2,1} + 18.9IC_{2,2} + 7.3IC_{2,3} + 11.7IC_{2,4} + 14.8IC_{2,5} + 10.2IC_{2,6} + 10.5IC_{2,7} + 6.0IC_{2,8} \quad (5)$$

$$IP_3 = 11.3IC_{3,1} + 17.8IC_{3,2} + 16.7IC_{3,3} + 10.8IC_{3,4} + 8.4IC_{3,5} + 10.6IC_{3,6} + 14.8IC_{3,7} + 9.5IC_{3,8} \quad (6)$$

$$IP_4 = 16.1IC_{4,1} + 16.4IC_{4,2} + 13.0IC_{4,3} + 18.3IC_{4,4} + 11.1IC_{4,5} + 12.8IC_{4,6} + 12.3IC_{4,7} \quad (7)$$

Cada  $IP_i$  muestra el porcentaje de avance de cada etapa del proyecto, los valores que podrá tomar serán (0, 100), con las mismas consideraciones hechas en el  $IAP$ . Para conocer el avance real del proyecto, el supervisor actualizará el trabajo ejecutado del Indicador de Control de cada actividad del proyecto y el modelo matemático calcula los avances parciales de cada etapa, actualizando el avance del proyecto.

## **6. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN.**

Podemos interpretar en el modelo obtenido, que los expertos consideraron que la etapa de Ejecución/Construcción es la que tiene mayor aporte, con el 30.16% al avance del proyecto, a pesar de ser la etapa que tiene un mayor valor, rompe con la forma tradicional de ver el avance de un proyecto solo a partir de su ejecución. La etapa de Diseño/Planeación contribuye el 27.21%, para los expertos, un proyecto exitoso va depender en gran medida de un buen diseño/planeación. La etapa de Venta/Entrega se consideró que aporta el 24.37%, esto indica que, para los expertos, el éxito depende del que el producto proyecto sea aceptado por el cliente. Finalmente, la etapa de Satisfacción del cliente/Cierre del proyecto completa el proyecto con un 18.26%, este porcentaje es el peso que se le da al cierre del proyecto, incluyendo la retroalimentación que el proyecto da a la empresa en cuento al desempeño.

Al estar actualizando las actividades en las que se está trabajando, podemos estar realizando trabajo en etapas diferentes, el Índice de Avance del Proyecto muestra el

avance global, incluyendo las contribuciones de lo realizado en de cada etapa. Se puede observar, que alestructurar el proyecto como un todo, desde su etapa inicial, hasta su cierre y que al modelarlo en una ecuación matemática podemos tener una visión global que nos ayude a tener el enfoque correcto durante todo el ciclo de vida.

El modelo matemático con los valores numéricos obtenidos es aplicable, solo para la población representada por los expertos consultados, pero se puede replicar para cualquier tipo proyecto y para una empresa o entidad de gobierno que realice múltiples proyectos, puede tener un método de comparación con información relevante para el avance y el estado de control de todos sus proyectos.

## REFERENCIAS

- ATKINSON, R. 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**. Vol. 17:6, pp. 337-342. 1999.
- CHAN, A.; CHAN, ADA. Key performance indicators for measuring construction success. **Benchmarking: An International Journal**. Vol. 11 No. 2, pp. 203-221. 2004.
- CHENG, M., PENG, H., Y CHEN, T., Estimate at completion for construction projects using evolutionary support vector machine inference model. **Automation in Construction** Vol. 19 pp. 619-629. 2010.
- CHECKLAND, P. Four conditions for serious systems thinking and action. **Systems Research and Behavioral Science Syst. Res.** Vol. 29 No. 5, 465–469. 2012.
- COSTA, D., FORMOSO, C., KAGIOGLOU, M., ALARCÓN, L. Y CALDAS, C., Benchmarking initiatives in the construction industry: lessons learned and improvement opportunities. **Journal of Management in Engineering**, Vol. 22, No. 4, No.4 pp.158–167. 2006.
- DE WITT, A. Measurement of project success. **Project Management**, Vol. 6 No 3, pp.164-170. 1988.
- ELDIN, N. Management of engineering/design phase. **Journal of Construction Engineering and Management**. Vol. 117:1, pp.163-175. 1991.
- ELDIN, N. Measurement of work progress: quantitative technique. **Journal of Construction Engineering and Management**, Vol. 115, No. 3, pp. 462-474.1989.
- GARZA, M. **Modelo de Indicadores de Calidad en el Ciclo de Vida de Proyectos Inmobiliarios**. Tesis (Doctorado en Ingeniería de Proyectos ETSEIB), UPC, Barcelona. 2006.
- GOMEZ-SENENT, E. y CAPUZ, S. **El Proyecto y su Dirección y Gestión: Ingeniería de Proyectos**. Universidad Politécnica de Valencia. Servicio de Publicaciones. Valencia Esp. 1999.
- GONGBO LIN, G. y SHEN, Q., Measuring the performance of value management studies in construction: critical review. **Journal of Management in Engineering**, Vol. 23, No. 1, 2007.
- HEREDIA, J. A. **Sistema de indicadores para la mejora y el control integrado de la calidad de los procesos**. Publicaciones de la Universitat Jaume I, Castellón Esp. 2001.
- HORTA, I.; CAMANHO, A.; y MOREIRA, J. Performance assessment of construction companies integrating key performance indicators and data envelopment analysis. **Journal of Construction Engineering and Management**, Vol. 136:5, pp-581-594. 2010.

**SIBRAGEC - ELAGEC 2015** – del 7 al 9 de Octubre – **SÃO CARLOS – SP**

LEWIS, J. P. **Mastering Project Management**: Applying Advanced Concepts to Systems Thinking, Control & Evaluation, Resource Allocation. McGraw-Hill. Segunda Edición. USA 2007

LIN, G.; QIPING SHEN, G.; SUN, M.; KELLY, J. Identification of key performance indicators for measuring the performance of value management studies in construction. **Journal of Construction Engineering and Management**. Vol. 137:3, pp. 698-706. 2011.

RAMOS, M. A. **Modelo de Gestión Integral de Proyectos de Construcción de Vivienda en México**. Tesis (Doctorado en Ingeniería de Proyectos ETSEIB) - Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona. 2011

SERER, M. **Gestión Integrada de Proyectos**. Ediciones Universitat Politècnica de Catalunya UPC. Barcelona Esp. 2001

SHEWART, W. **Economic Control of Quality of Manufactured Product**. 1931, Quality Press ASQ. Edición de 50 Aniversario, USA 1980

SOURANI, A.; SOHAIL, M. The Delphi Method: Review and use in construction management research. **International Journal of Construction Education and Research**. 00:1-23. 2014.