

01-007

## **ANALYSIS OF THE COST SCHEDULE AND EARNED VALUE TECHNIQUES FOR THE MONITORING AND CONTROL OF COMPLEX CONSTRUCTION PROJECTS**

Urgilés Buestan, Paúl<sup>(1)</sup>; Claver, Juan<sup>(1)</sup>; Sebastian, Miguel Angel<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>UNED

Monitoring and control tasks during the development of a project are focused on the continuous and updated knowledge of the degree of compliance with planning. In addition, these efforts seek to have projections and metrics to anticipate possible deviations in the planning of the project. Deviations can be positive, if they are seen as opportunities for improvement, or negative, when they are understood as impacts on project performance, costs and project deadlines. Every project is carried out in an environment of uncertainty. And this becomes more evident in large-scale construction projects, in which are involved a great variety of factors, such as long execution times (years), intrinsic risks (geology, hydrology, climate, etc.), and a large number of multidisciplinary activities developed in parallel. This work analyzed the applicability of the Earned Value and the Cost Schedule techniques in complex construction projects. The consistency and reliability of the results obtained by using these techniques during the development of a project were reviewed, with special attention to the management of costs, time and scope (project performance).

**Keywords:** *project management; earned value; cost schedule; project monitoring; project control*

## **ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS DEL CRONOGRAMA VALORADO Y VALOR GANADO PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN COMPLEJOS**

La ejecución de tareas de seguimiento y control durante el desarrollo de un proyecto, están enfocadas al conocimiento continuo y actualizado del cumplimiento de la planificación, además busca contar con proyecciones y medidas sustentadas que permitan anticipar posibles desviaciones en la planificación del proyecto. Las desviaciones podrían ser positivas, vistas como oportunidades de mejora, o negativas, reflejadas como afectaciones en el desempeño, costos y plazos del proyecto. Todo proyecto se desarrolla en un medio de incertidumbre. Esto se hace especialmente evidente en proyectos de construcción de gran envergadura, donde se cuenta con factores como: prolongados tiempos de ejecución (años), riesgos intrínsecos (geología, hidrología, clima, etc), y la gran cantidad de actividades multidisciplinares a desarrollarse de manera paralela. Este trabajo analizó la aplicabilidad de la técnica del Valor Ganado y del Cronograma Valorado en proyectos de construcción complejos. Se revisó la consistencia y confiabilidad de los resultados que permiten obtener estas técnicas durante el desarrollo de un proyecto, enfocados desde el punto de vista de la gestión del costo, tiempo y alcance (desempeño).

**Palabras clave:** *gestión de proyectos; valor ganado; cronograma valorado; seguimiento de proyectos; control de proyectos*

Correspondencia: Paúl Urgilés: [purgiles1@alumno.uned.es](mailto:purgiles1@alumno.uned.es)/ Juan Claver: [jclaver@ind.uned.es](mailto:jclaver@ind.uned.es) / Miguel Angel Sebastian: [msebastian@ind.uned.es](mailto:msebastian@ind.uned.es)



©2018 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

Un proyecto de construcción complejo, puede definirse como un proyecto constituido por muchos componentes interrelacionados e interdependientes. Los componentes que conforman estos proyectos obedecen a varias disciplinas de la ingeniería, tales como: eléctrica, electrónica, civil, mecánica, entre otras. Un proyecto complejo se considera como un sistema dinámico que se desarrolla en un entorno de gran incertidumbre e imprevisibilidad (Baccarini, 1996) (Transportation Research Board, 2015).

Identificar y gestionar adecuadamente la complejidad de un proyecto en sus etapas más tempranas, es un factor crítico para el éxito del proyecto (Azim, 2010) (Moreno, et al., 2015). Esta responsabilidad suele estar a cargo de la oficina de Seguimiento y Control dentro de la estructura organizacional del proyecto. La ejecución de las tareas de seguimiento y de control, tienen como objetivo monitorizar el desempeño del proyecto, así como de obtener las proyecciones y las medidas que permitan anticipar posibles desviaciones en la planificación (Fernández, et al., 2017). Un proyecto que cuenta con una planificación adecuada en términos de: presupuesto, suministros, financiamiento, contratos, entre otros, facilita la tarea del control de la ejecución del proyecto (Acebes, et al., 2014).

La gestión del cronograma y de los costos, están estrechamente ligadas a las tareas de seguimiento y control de un proyecto. Como lo establece la Guía del PMBOK® (PMI, 2017), las actividades de control del cronograma son de apoyo fundamental a los procesos requeridos para administrar la finalización del proyecto a tiempo; y de la misma forma, las actividades de control de los costos son parte esencial de los procesos que permiten que se complete el proyecto dentro del presupuesto aprobado (Sánchez Montoya & Cuadros Mejía, 2014) (Sánchez & Solarte, 2010).

Existen diversas técnicas, metodologías y herramientas que brindan apoyo a las tareas de seguimiento y control de los proyectos. La técnica del Cronograma Valorado y la técnica del Valor Ganado están entre las más utilizadas como herramientas para realizar las tareas de seguimiento y control de proyectos de cualquier tipo, sin embargo, ¿qué tan eficaz resulta su aplicabilidad a proyectos de construcción complejos?

## 2. Objetivos

El objetivo general del presente trabajo es analizar los resultados obtenidos con las técnicas del Cronograma Valorado y del Valor Ganado al ser aplicadas a un cronograma de un proyecto de construcción complejo.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Construir un modelo estocástico, aplicado a un cronograma con características de un proyecto de construcción complejo, que permita generar valores aleatorios a la duración y a los costos de cada actividad.
- Calcular la probabilidad de ajuste de los indicadores obtenidos al aplicar las técnicas del Cronograma Valorado y del Valor Ganado. La probabilidad se calcula con un modelo de simulación Monte Carlo generando diez mil escenarios.
- Comparar los resultados obtenidos entre las dos técnicas aplicadas.

## 3. Metodología

Para el presente trabajo, se construyó un modelo estocástico que permitió el ingreso de la duración y costo de todas las actividades que conforman el cronograma de proyecto, como variables aleatorias. El modelo utilizó las técnicas del Cronograma Valorado y del Valor

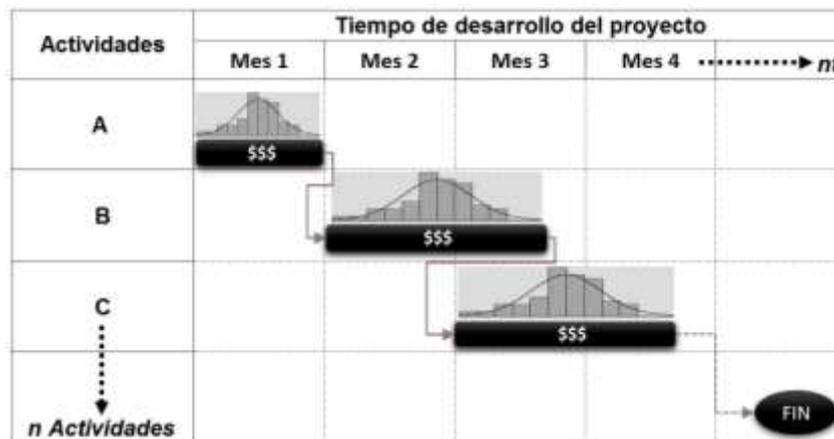
Ganado para calcular las probabilidades de ocurrencia de la duración y costo total del proyecto como variables de salida. A continuación se desarrolla la metodología.

### 3.1 Modelo estocástico del cronograma

La incertidumbre en la que se encuentra inmerso un proyecto de construcción complejo hace que su planificación sea obligatoriamente dinámica y cambiante en el transcurso del tiempo. Esto significa que para ejecutar las tareas de seguimiento y de control es necesario estudiar al proyecto a través de un modelo estocástico que permita representar, conocer y predecir propiedades de los procesos de construcción (Sebastián Rodríguez, 2012).

Se construyó un modelo de simulación que permitió incluir aleatoriedad a las variables de duración y de costo de cada actividad que conforman el cronograma maestro de un proyecto, **Figura 1**. Para caracterizar la distribución de estas variables aleatorias se definieron funciones de distribución (Vitoriano, 2012). Para generar el modelo de simulación, se utilizó el método de Monte Carlo, que se refiere a un método numérico de naturaleza aleatoria, que emplea técnicas de muestreo estadístico para encontrar soluciones aproximadas a problemas cuantitativos (Aguirre Pérez, 2007).

**Figura 1: Esquema de cronograma con variabilidad en duración y costo**



Las variables aleatorias que se definieron como entradas del modelo fueron, el tiempo de ejecución y el costo estimado de cada actividad.

La función de distribución que se utilizó para definir las variables aleatorias de entrada, fue la distribución Pert, donde se estimaron valores mínimos, más probables, y máximos.

Como variables de salida del modelo se definieron la duración total y el costo total del proyecto.

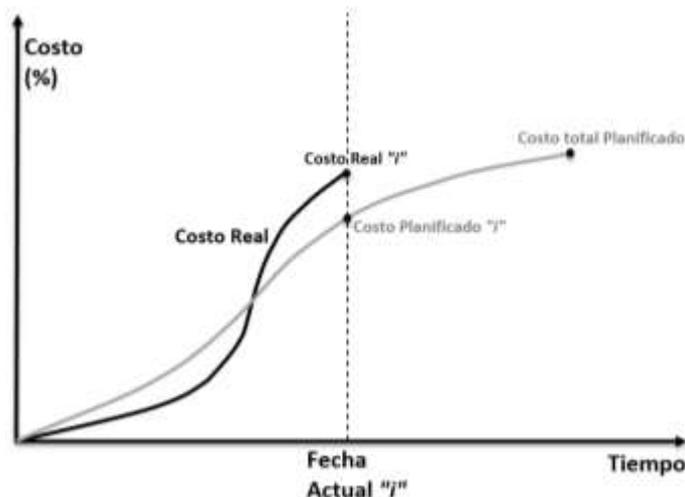
El modelo fue desarrollado en Microsoft Excel utilizando el programa @Risk de PALISADE, el cual permite la utilización de técnicas de simulación Monte Carlo, pudiendo generar distribuciones de posibles resultados de cualquier celda o rango de celdas del modelo de la hoja de cálculo (Palisade Corporation, 2013). La decisión de usar @Risk para el presente trabajo, se fundamenta en la experiencia de su empresa desarrolladora en mantener al programa en el mercado desde 1987, actualmente con más de 150000 usuarios en más de 100 países del mundo y con traducción en siete idiomas. Sin duda @Risk es uno de los software de análisis de riesgo líder en el mercado. Otras opciones de software con gran experiencia son Cristal Ball de Oracle y Risk Simulator de Real Options Valuation.

### 3.2 Técnica del Cronograma Valorado

La técnica del Cronograma Valorado compara los costos planificados en relación a los costos realmente ejecutados durante el desarrollo del proyecto. El cronograma valorado se calcula a partir del presupuesto del proyecto, estableciendo un flujo de costos distribuidos para todas las actividades a través del tiempo. Al final se consigue una curva costo-tiempo inicial que representa la línea base, aunque suele representarse los costos en porcentaje, consiguiendo una curva porcentaje-tiempo (e-Strategia Consulting Grup TM, 2014).

Para el control del avance del proyecto se compara la Línea Base, que está constituida por los costos planificados, en relación a los costos realmente ejecutados en porcentaje, como se muestra en la gráfica de la **Figura 2**.

**Figura 2: Curva Costo-Tiempo de línea base y de ejecución**



### 3.3 Técnica del Valor Ganado

La técnica del Valor Ganado evalúa el desempeño del proyecto durante su ejecución, controlando la gestión integrada del alcance, el cronograma y los costos. Específicamente, esta técnica compara el desempeño de la línea base con respecto al desempeño real en términos del cronograma y costos (PMI, 2017).

Esta técnica se basa en las siguientes mediciones fundamentales (Lledó, 2017):

Valor Planificado (PV).- Se refiere a la sumatoria de los costos planificados de cada tarea en cada periodo de tiempo, desde el día cero o inicio de la ejecución del proyecto, hasta su finalización. La técnica del Valor Ganado considera esta planificación de costos como la línea base que servirá para las comparativas futuras del desempeño.

Costo Real Ejecutado (AC).- Se refiere a la sumatoria de los costos realmente ejecutados en cada tarea y en cada periodo de tiempo.

Valor Ganado (EV).- Se refiere al trabajo realmente ejecutado expresado en costo. Esta medida se calcula al multiplicar el porcentaje del avance físico real de cada actividad por el costo planificado.

Presupuesto hasta la conclusión (BAC).- Es el presupuesto total estimado en la planificación del proyecto.

### 3.3.1 Medición del desempeño

La técnica del Valor Ganado calcula indicadores que representan de manera numérica el desempeño del proyecto en términos del costo y del cronograma en un periodo determinado.

Las principales medidas son: Variación de los costos (CV), Índice de desempeño de los costos (CPI), Variación del cronograma (SV), Índice de desempeño del cronograma (SPI) (Vázquez, et al., 2015).

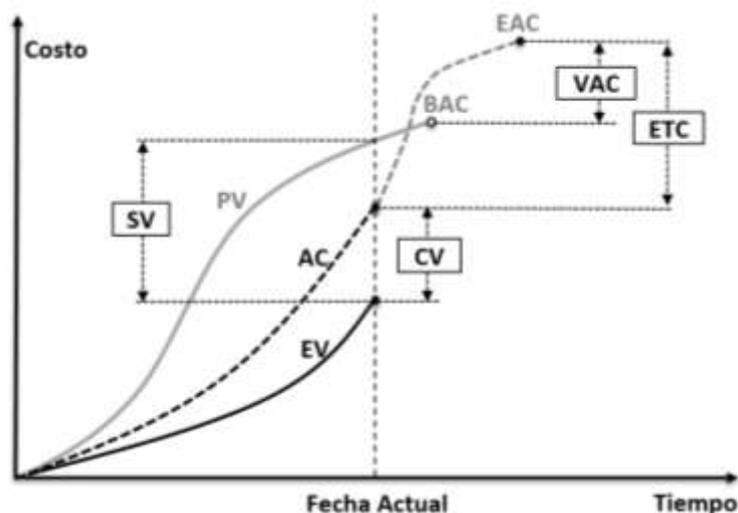
### 3.3.2 Predictores del desempeño

La técnica del Valor Ganado, analiza también las tendencias del desempeño del proyecto en términos de costo y cronograma, es decir, en base a los resultados históricos del desempeño calculados en cada periodo (CV, CPI, SV, SPI), realiza proyecciones a futuro para compararlos con el presupuesto y cronograma inicial.

Las principales medidas de los predictores son: Estimación a la conclusión (EAC), y la Estimación hasta la conclusión (ETC).

En la **Figura 3** se presenta una gráfica costo-tiempo en la cual se muestran los principales indicadores y predictores que la técnica del Valor Ganado calcula.

**Figura 3: Curva Costo-Tiempo con variables de la técnica del Valor Ganado**



## 4 Caso de estudio

Para la aplicación del modelo se planteó como caso de estudio el seguimiento y control de un cronograma para la construcción de una central hidroeléctrica básica, considerando que cumple las características de un proyecto de construcción complejo.

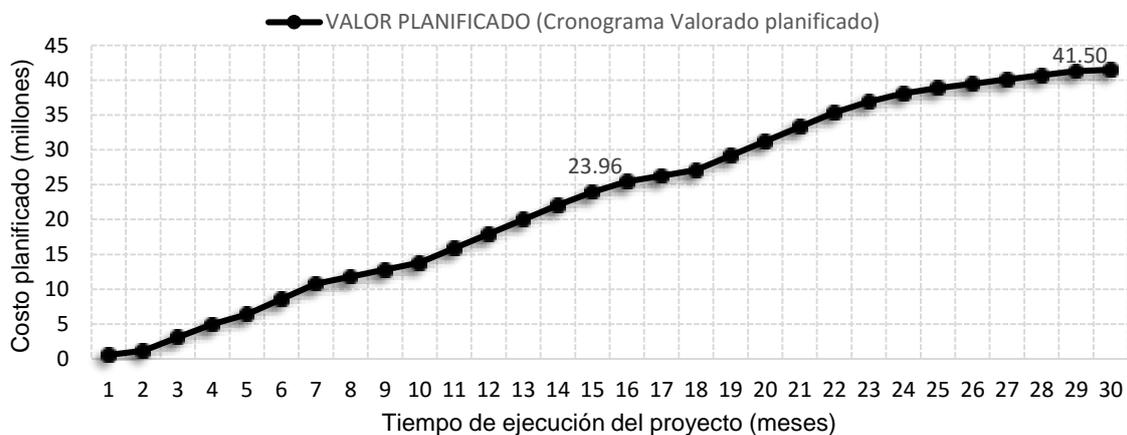
Se construyó un cronograma hipotético de proyecto constituido por veinte actividades de resumen. De acuerdo a la planificación inicial, las actividades se distribuyeron en un total de treinta periodos mensuales de ejecución, y a su vez, se estimaron los costos para cada actividad que fueron distribuidos de manera mensual, obteniendo un costo total de \$ 41.5 millones como se muestra en la **Figura 4**.

**Figura 4: Cronograma con distribución de duración y costo para cada actividad**

Actividades del proyecto	Tiempo de ejecución (meses )							
	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	mes 7	-----> mes "n"
1 Captación	\$0.39	\$0.39	\$0.35					
2 Desarenador	\$0.27	\$0.27						
3 Tubería de acero sobre marcos H			\$0.26	\$0.30	\$0.20			
4 Canal abierto			\$0.03	\$0.33				
5 Túnel de conducción			\$1.06	\$1.25	\$1.25	\$1.25		
6 Tubería PVC enterrada					\$0.06	\$0.81	\$0.81	
"n" Actividad "n"								FIN

El cronograma valorado permitió la construcción de la curva Costo-tiempo que se muestra en la **Figura 5**, y que representa la línea base de comparación de avance del proyecto, según las técnicas de Cronograma Valorado y del Valor Ganado.

**Figura 5: Curva Duración- Costo planificado para el caso de estudio**



El modelo estocástico permitió definir como variables aleatorias al tiempo de duración y a los costos de cada actividad. La variabilidad se proyectó a través de funciones de distribución tipo Pert, donde se definieron valores mínimos, más probables y máximos. La definición de estos valores se los realiza a través del criterio de un equipo multidisciplinario de expertos. Para el caso de este trabajo se definieron los valores basados en la experiencia de los autores. En la corrida del modelo, a través del método de simulación Monte Carlo, se generó diez mil escenarios distintos de posibles situaciones de ejecución del proyecto con variabilidad en la duración y en el costo total del proyecto.

#### 4.1 Aplicación de la técnica del Cronograma Valorado

Al aplicar la técnica del Cronograma Valorado, se construyeron dos curvas de comparación: curva Tiempo- Costo Planificado en relación a la curva Tiempo- Costo de Simulación. Los costos de las curvas se expresaron en porcentaje.

La comparación de estas curvas representa, según la técnica, el avance del proyecto. Para verificar la eficiencia de la técnica se analiza la probabilidad de ocurrencia de la diferencia entre el costo planificado y el costo de la simulación, dentro de un rango del 5% del monto total planificado.

Las variables de salida del modelo fueron: el costo total de la simulación, el tiempo final de la simulación, y la diferencia de los costos planificados y de simulación.

## 4.2 Aplicación de la técnica del Valor Ganado

Aplicando la técnica del Valor Ganado, se generaron tres curvas de comparación: la curva Tiempo- Costo Planificado PV que representa la línea base, la curva Tiempo-Costos de Simulación AC que representa los costos reales gastados, y la curva Tiempo-Valor Ganado EV que representa el avance físico del proyecto.

Utilizando la formulación de la técnica, se calcularon los indicadores predictores: los costos estimados a la conclusión EAC y la duración estimada al finalizar el proyecto.

Las variables de salida del modelo fueron: el Valor Ganado, la diferencia entre costos estimados a la conclusión menos el costo final de simulación, y la diferencia entre la duración estimada menos la duración final de simulación.

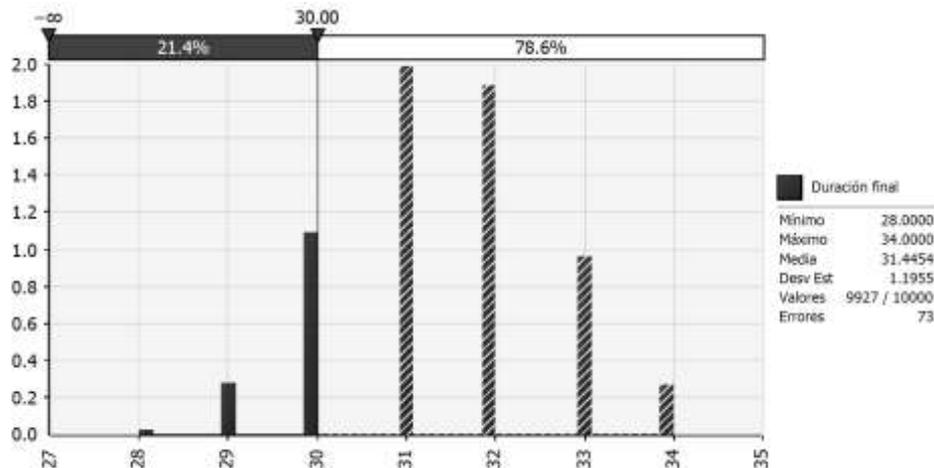
## 5 Resultados

Los resultados que se obtuvieron al aplicar el modelo de simulación al cronograma del caso de estudio, se han dividido en tres tipos de resultados que se detallan a continuación.

### 5.1 Resultados generales del modelo

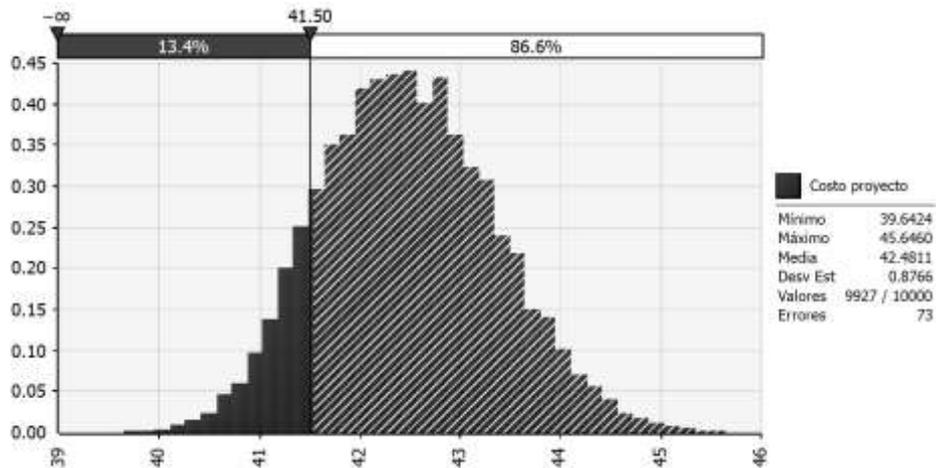
**5.1.1 Duración del proyecto.**- Bajo las condiciones de la programación y de la variabilidad de las distribuciones del tiempo del cronograma del caso de estudio, el modelo calculó una probabilidad del 21.4% de ocurrencia. Esto se interpreta que la duración del proyecto tiene una probabilidad del 21.4% de conclusión en un plazo menor a los 30 meses planificados, entre un rango de variación de entre 28 y 34 meses. Lo dicho se presenta en la **Figura 6**.

**Figura 6: Probabilidad de ocurrencia de la duración final del proyecto**



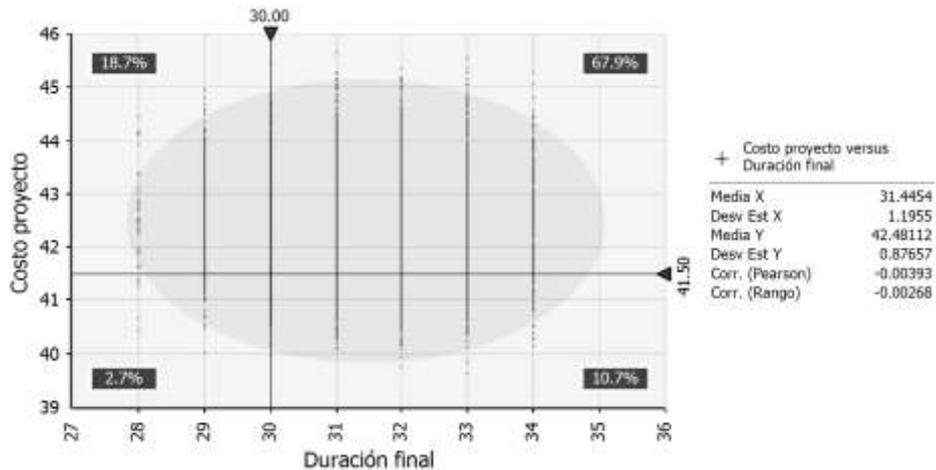
**5.1.2 Costo del proyecto.**- Bajo las condiciones de la programación y de la variabilidad de las distribuciones del costo del cronograma del caso de estudio, el modelo calculó una probabilidad del 13.4% de ocurrencia. Esto se interpreta que el costo final del proyecto tiene una probabilidad del 13.4% de que se concluya en un costo menor a los 41.5 millones planificados, y con un rango de variación de entre 39.6 y 45.6 millones. Lo expuesto se presenta en la **Figura 7**.

**Figura 7: Probabilidad de ocurrencia del costo final del proyecto**



**5.1.3 Relación costo y duración.-** En la **Figura 8** se presenta en los cuatro cuadrantes las probabilidades calculadas de la relación entre las variables duración y costo. Se interpreta que el proyecto tiene una probabilidad del 2.7% de concluir en un plazo menor a 30 meses y a la vez con un costo menor a 41.5 millones.

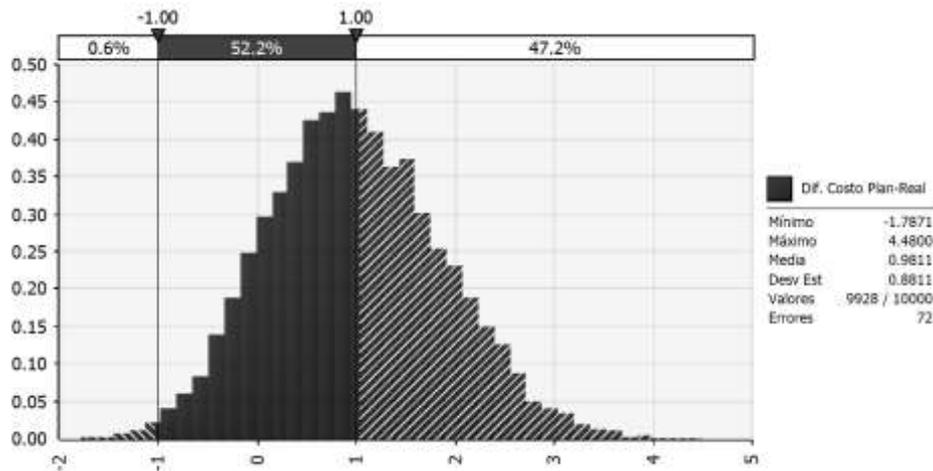
**Figura 8: Probabilidades de la relación Costo-Duración**



## 5.2 Resultados de la técnica del Cronograma Valorado

La comparación realizada entre el costo planificado y el costo obtenido en la simulación del modelo, genera una probabilidad del 52.2% de ajuste dentro de un rango de 2 millones en términos monetarios, como se presenta en la **Figura 9**. Lo expresado se interpreta como: según la técnica del Cronograma Valorado, la probabilidad de que el avance físico de ejecución del proyecto, se ajuste al avance planificado es de apenas el 52.2%.

**Figura 9: Probabilidades de ajuste entre el costo planificado y el costo de simulación**



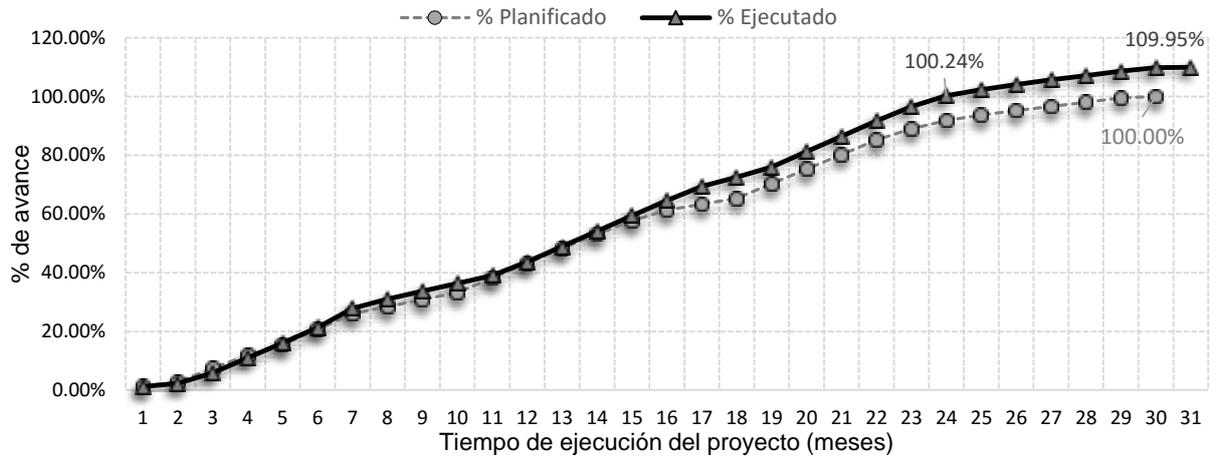
Aplicando la técnica del Cronograma Valorado, Como se muestra en la **Tabla 1**, se realizó un análisis de probabilidades del avance del proyecto durante el transcurso del tiempo de ejecución del proyecto, resultando que la técnica refleja correctamente el avance del proyecto durante los primeros periodos, sin embargo, durante el transcurso de la ejecución del proyecto se pierde completamente la eficiencia del método. Para el caso de estudio, culmina el proyecto con apenas una probabilidad del 52.20% de ajuste del método.

**Tabla 1: Probabilidades de ajuste entre costo planificado y costo de simulación**

Periodo de análisis [meses]	Probabilidad de ajuste Costo Plan-Simulación [rango 5%-2 millones]
1	100.00%
5	91.30%
10	66.50%
15	48.60%
20	31.90%
25	53.20%
Fin	52.20%

En la **Figura 10** se presenta la curva costo-duración expresada en porcentaje, de uno de los diez mil escenarios producto del modelo, donde se pudo apreciar que la técnica aplicada pierde su eficiencia a medida que transcurre el tiempo de ejecución del proyecto. Según la **Figura 10** el método indica que el avance del proyecto llegó al 100% en el mes 24, sin embargo la realidad indicó que el proyecto culminó en el mes 31 y con un costo mayor al planificado.

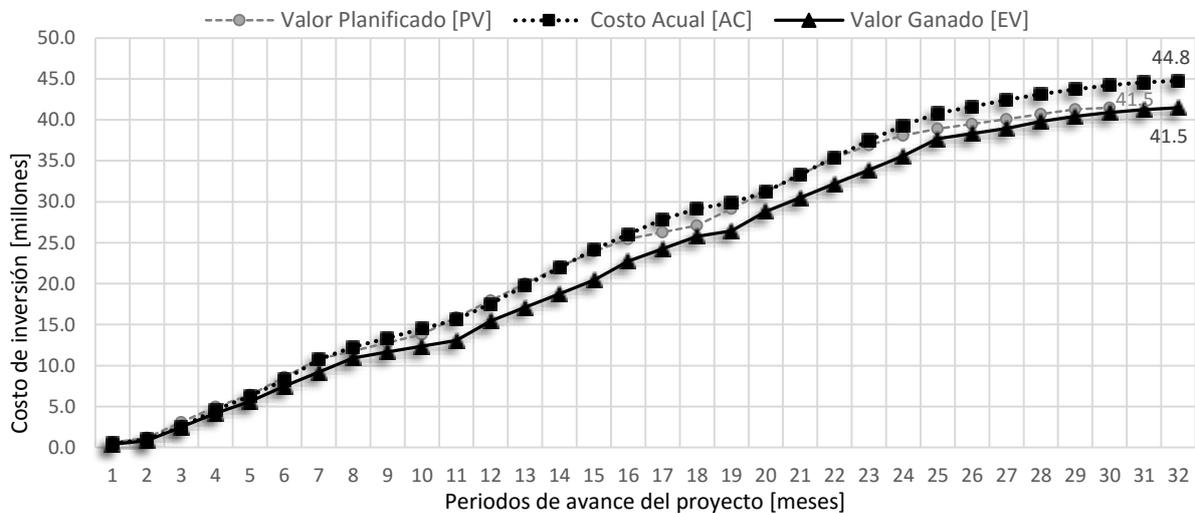
**Figura 10: Curva Duración- Costo Planificado en relación al Ejecutado (%)**



### 5.3 Resultados de la técnica del Valor Ganado

Los resultados para la medición del avance del proyecto, reflejan que la variable Valor Ganado EV se ajusta perfectamente al avance real del modelo, es decir, en los diez mil escenarios de simulación, siempre al concluir el proyecto, la variable Valor Ganado EV, independientemente del periodo de conclusión, se ajusta al costo total planificado que para nuestro caso de estudio es 41.5 millones como se muestra en la **Figura 11**, a pesar que el costo final de la simulación fue de 44.8 millones y concluye en el mes 32.

**Figura 11: Técnica del Valor Ganado aplicado en la curva Duración-Costo**



Los indicadores de predicción del costo final del proyecto, reflejan que la técnica del Valor Ganado, gana eficiencia a medida que transcurre el tiempo de ejecución del proyecto.

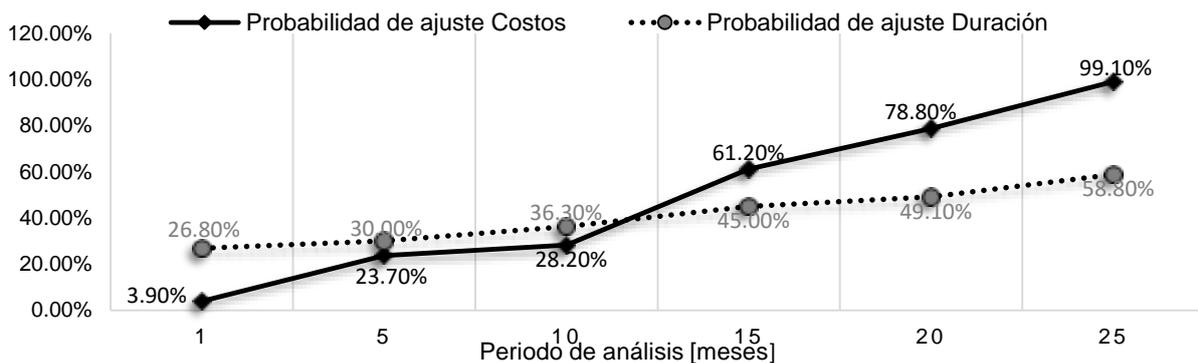
Respecto a la predicción del costo final del proyecto, para los diferentes periodos de tiempo analizados, se obtuvieron probabilidades que reflejan un incremento de ajuste o eficiencia de la técnica del Valor Ganado. Como se aprecia en la **Tabla 2** y en la **Figura 12**, en el primer mes de ejecución se obtuvo una probabilidad apenas del 3.9% de que el costo proyectado se ajuste al costo real de la simulación, mientras que en el mes veinte y cinco de ejecución, existe una probabilidad del 99.1%. Las probabilidades calculadas se basaron en un rango del 5% del monto total planificado.

**Tabla 2: Probabilidades de ajuste de las proyecciones del método del Valor Ganado en términos del costo y de la duración a la conclusión del proyecto**

Periodo de análisis [meses]	Valor Ganado [millones] [Prob.95%]	Probabilidad de ajuste Costos [rango 5% - 2 millones]	Probabilidad de ajuste Duración [rango 5% - 1.6 meses]
1	0.60	3.90%	26.80%
5	7.50	23.70%	30.00%
10	15.50	28.20%	36.30%
15	24.60	61.20%	45.00%
20	32.80	78.80%	49.10%
25	39.60	99.10%	58.80%

Respecto a la predicción de la duración final del proyecto, como se aprecia en la **Tabla 2** y en la **Figura 12**, para los diferentes periodos de tiempo analizados, se obtuvieron probabilidades con valores que mejoraron su ajuste con el transcurso del tiempo, pero sin embargo no sobrepasan del 58.8% en el periodo veinte y cinco de ejecución. Las probabilidades calculadas se basaron en un rango del 5% de la duración final planificada.

**Figura 12: Probabilidades de ajuste de las proyecciones del método del Valor Ganado en términos del costo y de la duración a la conclusión del proyecto**



## 6 Conclusiones

Para las tareas de seguimiento y control de un proyecto de construcción complejo, la técnica de Cronograma Valorado resulta elemental e ineficiente. En lo que se refiere a la técnica del Valor Ganado, ésta sí contribuye con un grupo de indicadores que permiten llevar el seguimiento y control de proyectos de construcción complejos, sin embargo requiere ser complementada con otras técnicas o métodos, como el de la Ruta Crítica y el de Simulación de Riesgos a través de modelos estocásticos. A continuación el detalle de las conclusiones.

### 6.1 Conclusiones Generales:

Las técnicas del Cronograma Valorado y del Valor Ganado, utilizan como línea base para el seguimiento y control del avance físico, la curva Duración- Costo Planificado. Esto significa que las dos técnicas conciben la importancia de las actividades, ponderando exclusivamente sus costos. Con lo dicho, no se consideran otras variables fundamentales para ponderar la importancia de las actividades, como son la duración planificada, y la importancia de las actividades que se encuentran en Ruta Crítica. Un proyecto de construcción complejo se

caracteriza por actividades con duraciones extensas, lo que resulta fundamental considerar como variable principal, a más de los costos también sus duraciones e importancia técnica.

### 6.2 Conclusiones de la técnica del Cronograma Valorado:

La técnica del Cronograma Valorado realiza exclusivamente el seguimiento y medición del avance físico y financiero del proyecto. Esta técnica no calcula indicadores predictores de costo y duración al final el proyecto.

Esta técnica utiliza la misma medida para representar avance físico y financiero. Mide exclusivamente los costos realmente ejecutados expresados en porcentaje.

Con los datos expuestos en la **Tabla 1** y la **Figura 10** se demuestra que esta técnica pierde eficiencia a medida que transcurre el tiempo de ejecución. Por los tiempos extensos de ejecución de un proyecto de construcción complejo, esta técnica no resulta eficiente en medir el avance físico. Serviría para el caso hipotético en que la ejecución del proyecto se realice sin absolutamente ninguna variación en términos de costo, duración y alcance, situación que resulta imposible en un proyecto de construcción complejo.

### 6.3 Conclusiones de la técnica del Valor Ganado:

Esta técnica calcula y genera un grupo de indicadores que permiten un seguimiento y control del avance físico y financiero del proyecto. Además, presentan indicadores predictores de costos y duración al final del proyecto.

De acuerdo a la **Figura 11**, la técnica representa de manera precisa un indicador de avance físico y económico del proyecto a través de sus variables Valor Ganado EV y Costo Actual AC, sin embargo es importante indicar que el avance físico lo mide en términos generales del proyecto, esta técnica no analiza de manera individual el avance físico de las actividades que se encuentran en Ruta Crítica, lo que significa que el indicador de Valor Ganado no necesariamente representa atraso o adelanto en el plazo final del proyecto.

La predicción de los costos estimados a la finalización del proyecto, según la **Tabla 2**, y la **Figura 12** indican que esta técnica se vuelve eficiente con el transcurso del tiempo de ejecución del proyecto, dando un margen adecuado en periodos de tiempo para la toma de decisiones por parte de la dirección del proyecto.

La predicción de la duración final del proyecto, de acuerdo a lo expuesto en la **Tabla 2**, y en la **Figura 12** se presenta que el indicador de Cronograma Ganado, a pesar de que mejora su eficiencia con el transcurso del tiempo de ejecución del proyecto, no termina siendo eficiente.

## 7 Referencias

- Acebes, F., Pajares, J., Galán, J. & López, A., 2014. *Monitorización y Control de Proyectos Utilizando Metodología de Valor Ganado y Simulación de Monte Carlo*. Alcañiz, 18th International Congress on Project Management and Engineering.
- Aguirre Pérez, I., 2007. *Sistema de planificación estocástico de proyectos: Implicaciones en la gestión de riesgos*, España: Universidad de La Rioja Servicios de Publicaciones.
- Azim, S. W., 2010. *Understanding and Managing Project Complexity*, s.l.: University of Manchester.
- Baccarini, D., 1996. The concept of project complexity-a review. *International Journal of Project Management*, 14(4), pp. 201-204.

- e-Strategia Consulting Grup TM, 2014. *Gobierno Por Resultados - GPR GUIA METODOLÓGICA*. Quito: e-Strategia Consulting Andes.
- Fernández, G., Pajares, J. & Onieva, L., 2017. *Implanación de Indicadores de Rendimiento para el Control de Proyectos*. Cádiz, 21ht International Congress on Project Management and Engineering.
- Lledó, P., 2017. *Director de proyectos: Cómo aprobar el examen PMP sin morir en el intento..* 6ta ed. USA: pablolledó.
- Moreno, B., Martínez, G. & Alegre, F., 2015. *La Complejidad en los Proyectos de Ingeniería. Una Aproximación a la Dimensión Social desde el Estudio de un Caso*. Granada, 19th International Congress on Project Management and Engineering.
- Palisade Corporation, 2013. *Guía para el uso de @Risk*, Ithaca NY: PALISADE.
- PMI, 2017. *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. Sexta ed. Pennsylvania: Project Management Institute.
- Sánchez Montoya, J. & Cuadros Mejía, A., 2014. Análisis de Técnicas de Seguimiento y Control de Proyectos. Aplicación en la Industria de Construcción de Botes. *Revista Ciencias Estratégicas*, Vol. 22(No. 31), pp. 51-66.
- Sánchez, L. & Solarte, L., 2010. El cuerpo del conocimiento del Project Management Institute- PMBOK Guide, y las especificidades de la gestión de proyectos. Una revisión crítica. *Innovar Journal*, 20(37), pp. 89-100.
- Sebastián Rodríguez, S., 2012. *Metodología para la gestión del riesgo en proyectos*, Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Trasportation Research Board, 2015. *Guide to Project Management Strategies for Complex Projects*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- Vázquez, E., Amiama, C. & Barrasa, M., 2015. *Seguimiento de Una Obra de Construcción con la Metodología del Valor Ganado Versus Métodos Tradicionales*. Granada, 19th International Congress on Project Management and Engineering.
- Vitoriano, B., 2012. *Modelos y métodos de simulación estocástica. Aplicación en la Valoración de opciones financieras*, Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

## **Agradecimientos**

*A la Escuela Internacional de Doctorado de la UNED*