

GESTIÓN DEL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN CAMPO DE EXPERIMENTACIÓN AGRARIA EN LA UNIVERSIDAD DE LA RIOJA UTILIZANDO EVMS

Eliseo P. Vergara González

Vicerrectorado de Infraestructuras y Tecnología. Universidad de La Rioja

Pilar Nájera Hernáez

Oficina Técnica de Obras e Infraestructuras. Universidad de La Rioja

Luis Otaño Jiménez

Servicio de Laboratorios. Universidad de La Rioja

David Vergara González

Área de Proyectos de Ingeniería. Universidad de Oviedo

Abstract

This work presents the management of project of construction of a field of agrarian experimentation for the University of La Rioja, using for it the method of the Earned Value (*Earned Value Management System - EVMS*).

The EVMS is an integrated management system that coordinates work scope, schedule and cost goals, and objectively measures progress, facilitating a control month to month of the advance of the project, and allowing the prediction of the possible deviations of cost, time or final cost, which allows to adopt correcting measures before these deviations take place.

The goal of the project is the construction of a field of agrarian experimentation of 16.000m², and the construction of a pavilion of 1.100m² of constructed surface. The amount of the work was of 989.100,95€ and the schedule time was 105 days.

The project finalized with an important reduction of the cost with respect to the predicted, without sacrificing the technical characteristics of the project, and with a high satisfaction by the part of the end users.

Keywords: *EVMS; earned value, public administrations; field of agrarian experimentation.*

Resumen

Este trabajo presenta la gestión de proyecto de construcción de un campo de experimentación agraria para la Universidad de La Rioja, utilizando para ello el método del Valor Ganado (*Earned Value Management System- EVMS*).

El EVMS integra las variables técnicas, de coste y plazos, facilitando un control mes a mes del avance del proyecto, y permitiendo la predicción de las posibles desviaciones de coste, plazo y coste final, lo que permite adoptar medidas correctoras antes de que se produzcan dichas desviaciones.

El proyecto consistía en la construcción de un campo de experimentación agraria de 16.000m², con una importante cantidad de movimientos de tierras, y la construcción de un pabellón de 1.100m² de superficie construida. El importe de adjudicación de la obra fue de 989.100,95€ y el plazo de ejecución previsto de 105 días.

El proyecto finalizó con una importante rebaja del coste respecto al previsto en la licitación, sin necesidad de sacrificar las características técnicas del proyecto, y con un elevado grado de satisfacción por parte de los usuarios finales.

Palabras clave: *EVMS; valor ganado; administraciones públicas; campo de experimentación agraria*

1. Introducción

No es raro, y ya a nadie sorprende, escuchar que determinado proyecto –especialmente los relacionados con las obras públicas-, ha finalizado con un considerable sobrecoste sobre el presupuesto inicial.

Ganuzo (1998) analizó los modificados en proyectos de grandes obras públicas llevadas a cabo por el Ministerio de Fomento. Estudió una base de datos del propio ministerio que recogía todas las obras públicas de más de 500 millones de pesetas que se finalizaron en el año 1994. Los resultados obtenidos por este autor fueron los siguientes: casi el 80% de las obras presentaba sobrecostes. Más de un tercio de las obras tenía un sobrecoste entre el 19 y el 20%.

Ganuzo presenta las siguientes causas de sobrecostes en los proyectos con la Administración Pública:

- La corrección de los defectos del proyecto (en el 43,1% de los casos).
- Mejoras del proyecto original (19,67%).
- Cambios debidos a solicitudes externas (12,21%)
- Cambios debidos a la administración contratante (10,18%).

La propia Administración reconoce que en un 62% de los casos, los sobrecostes están asociados a un proyecto defectuoso o insuficiente.

De acuerdo con el análisis de Ganuzo, el modelo de gestión de los contratos de obra que predomina en nuestro país viene definido por los siguientes rasgos (Rodríguez-Arana y del Guayo, 2002):

1. La Administración prefiere evitar los costes de obtención de información previa y de redacción de proyectos que den lugar a contratos cerrados, ya que puede obtener tal información a coste cero a lo largo de la ejecución de la obra.
2. Esto provoca sobrecostes al optar por un proyecto incompleto o defectuoso, como consecuencia de los proyectos reformados que deberán de ser ejecutados, pero tales sobrecostes ya han sido descontados por la empresa adjudicataria a la hora de trazar su estrategia en la licitación y presentar su oferta. Están incluidos en la cantidad total que sabe cobrará con toda probabilidad. Es decir, que el ahorro obtenido por la Administración por la baja en el concurso, quedará neutralizado por los sobrecostes.

Conocido esto, la pregunta que se hace Rodríguez-Arana y del Guayo (2002), es la siguiente: ¿es preferible contratar por 100 y pagar 100, o contratar por 80 y pagar 20 en sobrecostes?.

La respuesta debe ser inmediata. Un sistema sin sobrecostes es por definición un sistema fundamentalmente transparente y eficiente. Los sobrecostes se determinan en procesos de negociaciones bilaterales Administración-contratista, por lo que cualquier mecanismo de control sobre ellos será costoso e imperfecto.

Dado que parece –y es- altamente recomendable un sistema que evite los sobrecostes, también parece altamente recomendable, que junto con los adecuados procedimientos para asegurar la calidad del proyecto, exista un sistema que permita el control de los costes en fase de ejecución.

El Método del Valor Ganado (*Earned Value Management System- EVMS*) es una herramienta que proporciona a los gestores de los proyectos la visión conjunta de las características tanto técnicas como de planificación y de costes, así como la capacidad de mitigar los riesgos asociados a cualquier proyecto, anticipándose a ellos gracias a la información que el método proporciona. (Hayes, 2001).

Una de las principales ventajas que aporta este método –además de una metodología consistente y una base para el análisis de costes- es que su uso, obliga a utilizar una unidad de medición uniforme para todas las tareas del proyecto. Todo se mide en unidades monetarias, ya sean metros lineales de muro de ladrillo o metros cúbicos de excavación.

La Fuerza Aérea de los EE.UU (USAF – U.S. Air Force) realizó la primera y real implementación de un sistema de gestión basado en el concepto del valor ganado en 1963 como parte de su programa de misiles balísticos *Minuteman*. Lo que diferenciaba esta implementación y la técnica PERT (Sapolsky, 1972), era que la USAF aplicaba 35 criterios que definían los requerimientos mínimos para un sistema de gestión de proyectos aceptable, (Christensen, 1998) y (Hayes, 2001).

Esta innovación proporcionaba al contratista la flexibilidad para generar su propio sistema de gestión de proyectos con el que satisfacer los requerimientos del contrato

En 1967, el DoD adoptó formalmente este sistema, al que denominó C/SCSC (*Cost/Schedule Control Systems Criteria*), que fue aplicado durante las siguientes tres décadas.

Durante su aplicación, se comprobó que la exigencia del cumplimiento de los 35 criterios incrementaba de forma muy considerable el papeleo burocrático al que se sometía a los contratistas, por ello, en 1994 se planteó desarrollar un sistema más “amigable” y más compatible con las necesidades de la industria privada.

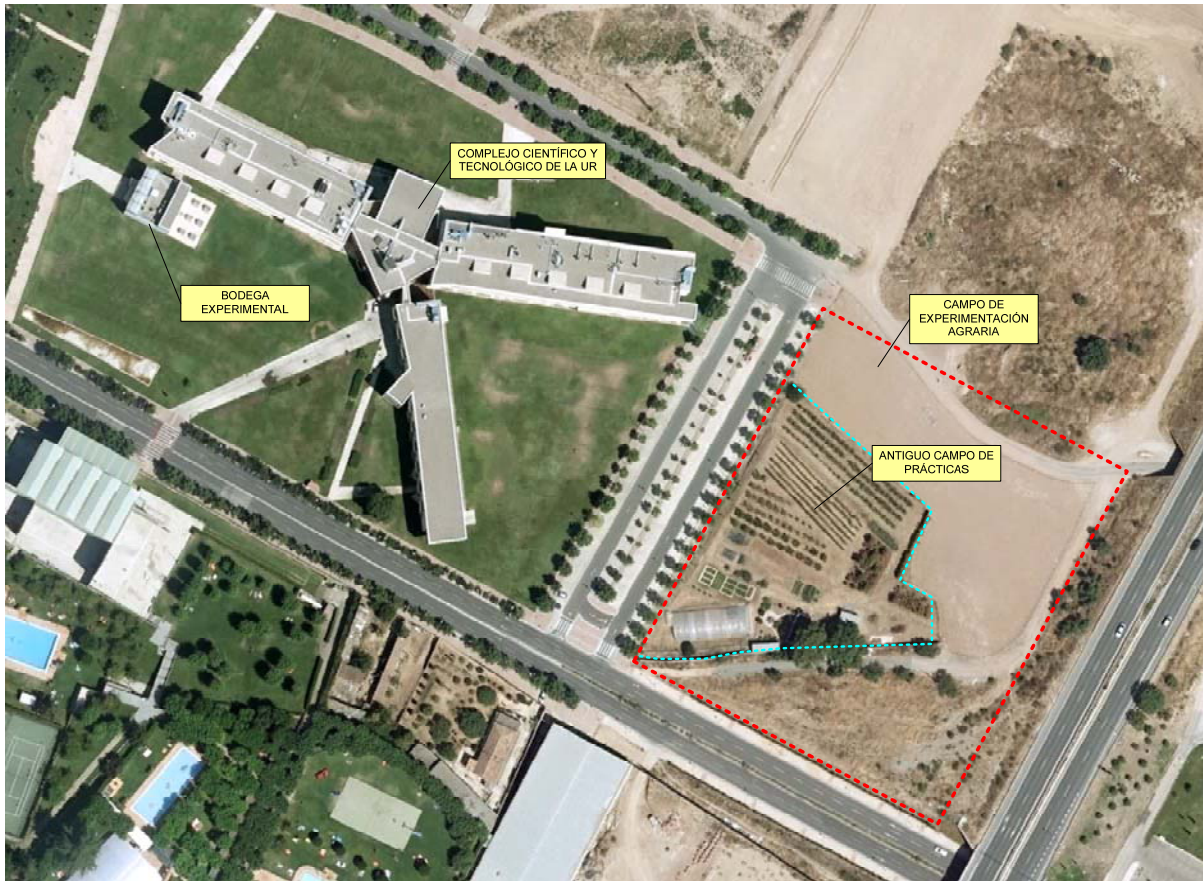
La industria privada jugó un papel proactivo, como parte de la NDIA (*National Defense Industrial Association*), en la reingeniería de los 35 criterios originales del sistema C/SCSC para dar lugar a los 32 criterios que actualmente componen el EVMS (*Earned Value Management System*). (Christensen, 1998)

En 1997, estos 32 criterios fueron aceptados por el DoD, y en julio de 1998 el EVMS fue adoptado como un estándar de la *American National Standards Institute* (ANSI/EIA).

1.1 Descripción del proyecto

El Campo de Experimentación Agraria ocupa la parcela del antiguo campo de prácticas agrícolas y triplica su superficie, al pasar de 5.257m² a 16.077,91m².

Figura 1. Situación del Campo de Experimentación Agraria junto a la Facultad de Ciencias, Estudios Agroalimentarios e Informática.



El Campo de Experimentación Agraria -orientado a la formación e investigación en Ingeniería Agrícola y Enología- cuenta con dos zonas de cultivo, dos invernaderos tipo túnel –a los que se sumarán otros climatizados- y una nave.

Las instalaciones serán utilizadas principalmente por los casi cuarenta profesores del Departamento de Agricultura y Alimentación y los más de 350 alumnos de Ingeniería Agrícola y Enología.

El diseño de las instalaciones se ha realizado con flexibilidad para permitir su adaptación a nuevas necesidades. El campo cuenta con fibra óptica para la transmisión de datos, lo que permite su conexión a diferentes dispositivos de medida y ensayo, como estaciones meteorológicas y facilita el telecontrol de los cultivos, ensayos y operaciones. En cuanto a los espacios transitables se ha creado un cinturón asfaltado para permitir el movimiento de todo tipo de maquinaria de cualquier tamaño.

- **Zonas de cultivo.** Dentro de la parcela se han dispuesto dos zonas de cultivo de $4.264,50\text{m}^2$ y 3.240m^2 y se han instalado conexiones eléctricas en el exterior, de modo que sea posible emplear equipos de ensayos que hasta ahora solo podían aplicarse en zonas construidas, lo que no suele ser frecuente en el campo. Las zonas de riego están divididas por parcela, con capacidad de control automático y posibilidad de dosificación de nutrientes y fitosanitarios.
- **Nave.** La nave, con una superficie de $1.102,13\text{m}^2$, cuenta con oficina, vestuarios, entreplanta, escaleras, tres puertas de acceso, diversos puntos de conexión eléctrica y espacio suficiente para permitir el cambio y evolución en maquinarias y otros sistemas. La zona de almacenamiento de fitosanitarios dispone de control de

seguridad a la entrada y suelo diseñado para hacer de cubeta de recogida de posibles derrames.

- **Invernaderos.** Hay dos invernaderos tipo túnel de 520m², en total, y un umbráculo de 100m² para permitir la transición de los cultivos realizados en los invernaderos con el ambiente exterior. En 2011 se construirán los invernaderos climatizados con sistema de control de las condiciones ambientales, riego y nutrientes mediante telegestión automatizable.
- **Zona de lavado de cisternas.** El campo cuenta con una zona de lavado de cisternas para evitar el vertido de fitosanitarios al terreno, recogándose para su posterior gestión como residuo; con estos sistemas, el campo pretende ser referencia en el aspecto de sostenibilidad en la producción vegetal.

Figura 2. Vista en planta del Campo de Experimentación Agraria



Figura 3. Vista en planta del Campo de Experimentación Agraria. Se observan las dos terrazas a diferentes niveles para los cultivos, el talud donde se muestran diferentes topologías de consolidación de taludes, y la zona donde se sitúan los invernaderos y la nave.



2. El Método del Valor Ganado (EVMS)

1.1 Elementos del EVMS

Budgeted Cost of Work Scheduled (BCWS)

El BCWS, coste presupuestado para el trabajo planificado, o valor planificado (*Planned Value*), es la curva de costes acumulados que representa los costes según el presupuesto del proyecto por unidad de tiempo para las tareas tal como han sido planificadas previamente al inicio de la ejecución de la obra.

Representa el estado del proyecto antes de iniciarse la ejecución. (Christensen, 1999)

Actual Cost of Work Performed (ACWP)

El ACWP representa el coste real para el trabajo realizado. Es la curva de costes acumulados que representa los costes en el que se ha incurrido realmente para llevar a cabo las tareas en las unidades de tiempo consideradas. (Christensen, 1999)

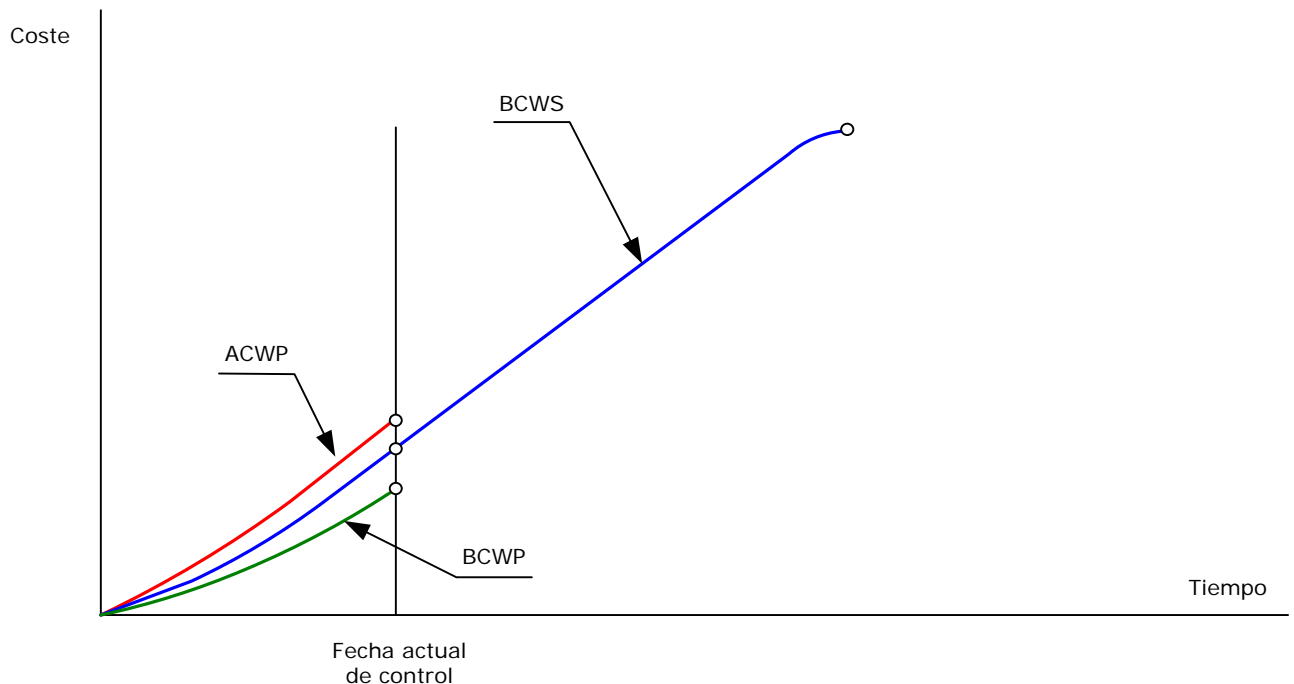
Budgeted Cost of Work Performed (BCWP)

El BCWP, coste presupuestado para el trabajo que se ha ejecutado, o valor ganado (*Earned Value*), es la curva de costes acumulados que representa los costes planificados y aprobados para las tareas que se van completando en un periodo de tiempo dado. (Christensen, 1999)

Budget at Completion (BAC)

Es el coste total planificado del proyecto. En el caso de las obras de construcción tomaremos como BAC el coste del Presupuesto de Ejecución Material (PEM), teniendo en cuenta que esta hipótesis deja fuera de este valor tanto los Gastos General (habitualmente un 13%), el Beneficio Industrial (habitualmente un 6%), la baja del contratista en el concurso público, y el IVA (18%). (Christensen, 1999)

Figura 4. Curvas del BCWS, ACWP y BCWP



1.2 Desviaciones

Una desviación es la diferencia en lo planificado y lo realmente ejecutado, o entre lo presupuestado y el coste real.

Estas desviaciones pueden ser consecuencia de un proyecto pobremente definido, que en base de obra obliga a incorporar nuevas unidades de obra o una cantidad diferentes de las ya existentes, con el correspondiente incremento del coste y del plazo.

En otras ocasiones son consecuencia de situaciones imposible de prever durante la redacción del proyecto.

La existencia de estas desviaciones obligará al gestor del proyecto a tomar medidas correctoras para lograr los objetivos del proyecto.

En el EVMS se han definido tres principales desviaciones.

- Desviación de la planificación (SV)
- Desviación del coste (CV)
- Desviación del coste a la finalización (VAC) que se verá en otro apartado de esta documentación.

Desviación de la planificación (SV)

La desviación de la planificación proporciona una representación del estado de la planificación.

Es la diferencia entre el valor ganado y el valor planificado, según la siguiente expresión:

$$SV = BCWP - BCWS \quad (1)$$

Esta desviación puede calcularse con datos a la fecha o con datos acumulados, utilizándose habitualmente la calculada con datos acumulados.

Una desviación positiva indicará un comportamiento favorable desde el punto de vista de la planificación. Por el contrario, una desviación negativa significaría que ha sido ejecutado menos trabajo que el planificado, y el proyecto se ha retrasado desde el punto de vista de la planificación.

Es importante resaltar que a la finalización del proyecto, esta desviación debe ser siempre cero, ya que todo el trabajo planificado debe haber sido ejecutado.

Dado que en la expresión anterior, la desviación en planificación se mide en unidades monetarias, parece más adecuado normalizar esta expresión, y mostrar esta desviación en forma de valor porcentual, de forma que no aparezcan unidades que pudieran dar lugar a malas interpretaciones, tal como se muestra en la siguiente expresión.

$$SV\% = \frac{SV}{BCWS} = \frac{BCWP - BCWS}{BCWS} \quad (2)$$

Una SV% positiva indicaría que el proyecto se encuentra avanzado en plazos, mientras que una SV% negativa indicará que el proyecto se encuentra retrasado.

Desviación del coste (CV)

La desviación en coste mide la diferencia entre el coste que había sido presupuestado para una tarea dada y el coste real de ejecución de esa tarea.

La expresión es la siguiente:

$$CV = BCWP - ACWP \quad (3)$$

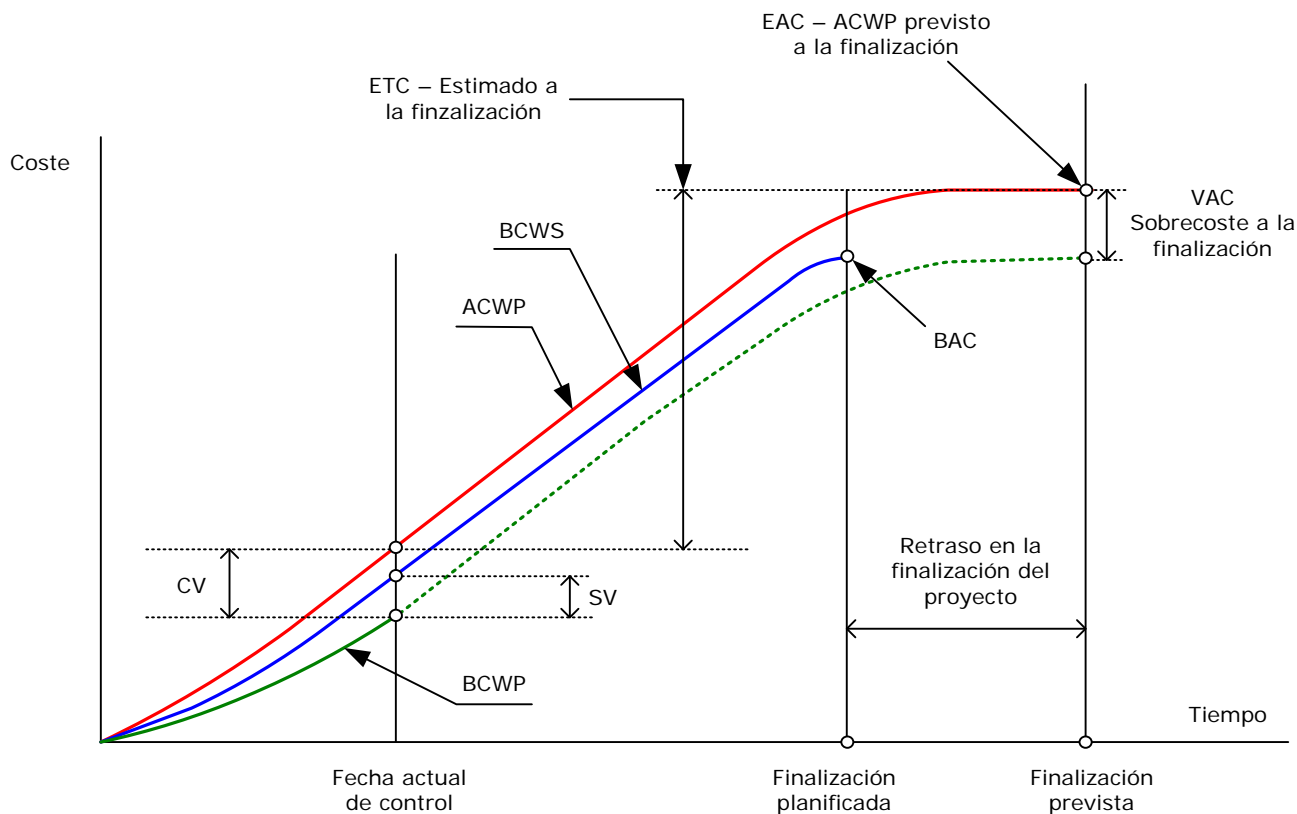
Al igual que en el caso anterior, esta desviación puede calcularse con datos a la fecha o con datos acumulados, utilizándose habitualmente la calculada con datos acumulados.

Una desviación positiva indicará un comportamiento favorable desde el punto de vista del coste. Por el contrario, una desviación negativa significaría que se ha producido un incremento del coste respecto del presupuestado.

$$CV\% = \frac{CV}{BCWP} = \frac{BCWP - ACWP}{BCWP} \quad (4)$$

Una CV% positiva indicaría que el proyecto ha permitido un ahorro, mientras que una CV% negativa indicará un sobrecoste.

Figura 5. Los diferentes parámetros del EVMS



1.3 Índices de ejecución

Los índices de ejecución muestran el porcentaje de variación entre el estado que el proyecto debería tener según la planificación y el estado real del proyecto.

Schedule Performance Index (SPI)

El SPI indica la capacidad del contratista para cumplir la planificación dada, y compara el presupuesto para las tareas planificadas para ser ejecutadas en la fecha dada con el presupuesto del trabajo que realmente ha sido ejecutado.

Se calcula según la siguiente expresión:

$$SPI = \frac{BCWP}{BCWS} \quad (5)$$

Un SPI igual a 1 indicaría que el proyecto se encuentra ajustado al presupuesto y a la planificación con un 100% de eficiencia.

- Un SPI superior a 1, indica un adelanto sobre lo planificado.
- Un SPI inferior a 1, indica un retraso sobre lo planificado

Cost Performance Index (CPI)

El CPI indica la capacidad del contratista para controlar los costes, y compara el coste presupuestado para las tareas planificadas para ser ejecutadas en ese período, con el coste del trabajo que realmente ha sido ejecutado.

Se calcula según la siguiente expresión:

$$\text{CPI} = \frac{\text{BCWP}}{\text{ACWP}} \quad (6)$$

- Un CPI igual a 1 indica que para cada euro gastado, se ha ejecutado trabajo por valor de 1 euro.
- Un CPI superior a 1, indica que para cada euro gastado, se ha ejecutado trabajo por un valor superior a 1 euro. Refleja una ejecución por encima de lo esperado.
- Un CPI inferior a 1, indica que para cada euro gastado, se ha ejecutado trabajo por valor inferior a 1 euro. Refleja una ejecución por debajo de lo esperado.

Un aspecto importante en este índice es su estabilidad (Christensen y Payne, 1992). Hay que tener en cuenta que el peso de este índice es muy grande a la hora de calcular el EAC. Por otro lado, un CPI estable da una idea de que el gestor del proyecto tiene controladas las variables del proyecto, y por último, un CPI estable hace que este índice sea de gran importancia a la hora de compararlo con el TCPI, como veremos más adelante.

Dos estudios independientes afirman que una vez que el proyecto ha superado el 20% de ejecución (*Percent Complete* - PC), el CPI acumulado no cambia más de un 10%. En realidad, en la mayor parte de los casos, empeora. (Christensen, 1993c) y (Christensen y Heise, 1993).

Por ejemplo, en Abril de 1990, el programa del avión de ataque A-12 llevaba un PC=37% e informaba de un CPI=0.77. En septiembre, con un PC igual al 47%, el CPI era de un 0.72. (Christensen y Heise, 1993).

Los índices CPI y SPI pueden estar basados en datos mensuales, acumulados o datos medios. En función de ellos, pueden representarse de muy diversas formas. En este trabajo, representaremos los índices basados en datos acumulados con el subíndice CUM. Lo basados en datos promedio de varios meses con un índice que represente el número de meses empleados, comenzando por el mes más reciente, y retrocediendo en el tiempo.

Habitualmente, el índice promedio se define de la siguiente forma (Christensen, 1993b):

$$\text{CPI}_x = \frac{\sum \text{BCWP}_x}{\sum \text{ACWP}_x} \quad (7)$$

$$\text{SPI}_x = \frac{\sum \text{BCWP}_x}{\sum \text{BCWS}_x} \quad (8)$$

Percent Complete

Uno de los cálculos más utilizados en construcción es el de porcentaje completado (*Percent Complete*). Es la relación entre el valor presupuestado para lo que ha sido completado hasta la fecha, y el presupuesto total, según la siguiente ecuación:

$$\text{Percent Complete} = \frac{\text{BCWP}}{\text{BAC}} \times 100 \quad (9)$$

Planned Percent Complete

Junto con el porcentaje completado, el porcentaje completado planificado (*Planned Percent Complete*) proporciona una comparación para lo que ha sido planificado hasta la fecha.

La expresión es la siguiente:

$$\text{Percent \% Complete} = \frac{\text{BCWS}}{\text{BAC}} \times 100 \quad (10)$$

Percent Spend

Una comparación entre el porcentaje completado y el porcentaje gastado (*Percent Spend*) indica la eficacia del gasto.

El indicador *Percent Spend* se calcula como la relación entre el coste actual y el presupuesto a la finalización, según la siguiente expresión:

$$\text{Percent Spend} = \frac{\text{ACWP}}{\text{BAC}} \times 100 \quad (11)$$

1.4 Estimaciones

El EVMS además de ser utilizado como una herramienta para detectar los problemas que durante la ejecución del proyecto se puedan presentar, puede ser utilizado para realizar estimaciones.

Durante la ejecución de un proyecto, la estimación tiene dos objetivos:

- 1 Proporcionar una estimación del resultado del proyecto basada en el estado actual y la tendencia en la evolución.
- 2 Detectar tendencias y desviaciones futuras que requieran acciones correctoras.

Cuando se realizan estimaciones, debe tenerse en cuenta la fase en la que el proyecto se encuentra. Así, al comienzo del proyecto, los datos dan lugar a estimaciones con una incertidumbre es alta. Por el contrario, estimaciones realizadas en los últimos meses del proyecto presentan una incertidumbre mucho menor.

Aún así, se ha comprobado que las estimaciones realizadas en los momentos iniciales del proyecto, a pesar de la incertidumbre antes mencionada, se han mostrado sumamente confiables desde un 15% de avance del proyecto.

A partir de los datos proporcionados por el EVMS, pueden predecirse los siguientes valores:

- El coste estimado a la finalización (*Estimate at Completion - EAC*).
- El índice TCPI (*To-Complete Performance Index*).
- La fecha estimada de finalización (*Estimate Completion Date – ECD*).

Estimate at Completion - EAC

El EAC es una importante herramienta utilizada en las estimaciones debido a que proporciona una indicación del coste final del proyecto.

El 7 de enero de 1991, el Secretario de Defensa Cheney anunció la cancelación del programa de la U.S.Navy A-12 Avenger II, un avanzado avión de ataque embarcado que era el primer proyecto de avión de la U.S.Navy desde 1980 (Christensen, Antolini y McKinney, 1995). Y aunque existieron diversas razones para su cancelación, un factor que contribuyó enormemente a esta cancelación fue la imposibilidad de estimar el coste a la finalización del proyecto. (Christensen, 1993a, 1993b, 1993c y 1994a).

En el momento de su cancelación, el coste estimado del proyecto a su finalización (*Estimate at Completion - EAC*) era de 1.000 millones de dólares por encima del techo asignado al

contrato. Esta estimación difería mucho de otros cálculos realizados por la oficina del programa A-12 y por los contratistas (McDonnell-Douglas y General Dynamics).

La forma más sencilla de calcular el EAC es la que se muestra en la siguiente expresión:

$$EAC = \frac{BAC}{CPI} \quad (12)$$

Christensen presenta una serie de métodos de cálculo del EAC, sin embargo, todos ellos parten de la forma básica que se muestra en la siguiente expresión, (Christensen, 1999):

$$EAC = ACWP_{CUM} + \frac{(BAC - BCWP_{CUM})}{P_f} \quad (13)$$

En esta expresión P_f representa un “factor de ejecución” o performance factor, que es utilizado para ajustar la ecuación hacia valores más conservadores.

Habitualmente el EAC calculado por la propiedad se denomina IEAC (*Independent Estimate at Completion*), para distinguirlo del EAC calculado por el contratista, que puede denominarse también LRE (*Latest Revised Estimate*).

Existen cuatro tipos de performance factors (P_f) que pueden ser utilizados (Christensen, 1996 y 2004). Todos ellos asumen que el rendimiento con que se venía desarrollando hasta ahora el proyecto, va a continuar. Los cuatro factores son los siguientes:

- SPI – *Schedule Performance Index*
- CPI - *Cost Performance Index*
- SCI - *Schedule Cost Index*

Índice compuesto

Por regla general, el límite superior vendrá dado por la utilización del SCI como P_f .

Del SPI y del CPI ya se ha hablado en esta documentación. Trataremos ahora del SCI y del índice compuesto.

De todos estos factores, el más utilizado es el CPI, sin embargo, la utilización de diversos factores puede proporcionar un rango de valores para el IEAC. El límite inferior de este rango suele estar generado por un valor de P_f de 1.0, por el que se asume que el futuro trabajo se realizará tal como está planificado y con el valor dado y con una desviación de coste que se mantendrá constante.

El SCI (*Schedule Cost index*) es el producto de los índices SPI y CPI

$$SCI = SPI \times CPI \quad (14)$$

El índice compuesto es la suma ponderada del SPI y del CPI, donde los pesos deben sumar la unidad. El valor asignado a dichos pesos debe basarse en la experiencia y en los datos históricos de otros proyectos de características similares.

$$\text{Índice Compuesto} = (w_1 \times SPI) + (w_2 \times CPI) \quad (15)$$

donde $w_1 + w_2 = 1$

De estos cuatro tipos de factores, ¿cuál es el más preciso?. No es fácil responder a esa pregunta, ya que según Christensen (1996), la estimación de las fórmulas basadas en índices depende fuertemente del tipo de proyecto y de la fase en que se encuentre dicho proyecto (Christensen, 1993b).

Un EAC basado en el CPI se considera un “suelo” para el coste final (Christensen, 2004), y así ha venido utilizándose tras la cancelación del programa del avión de ataque A-12.

Por su parte, numerosos expertos han sugerido que un EAC basado en el SCI es un valor razonable para el coste final del proyecto, calculado en las fases tempranas o intermedias, ya que se considera un “techo” para el EAC o una estimación de “peor caso”.

En 8 programas de misiles balísticos norteamericanos, se ha informado que el EAC basado en el SCI ha resultado un poco más alto que el coste final en las fases finales de los proyectos (PC=70-90%), y más bajo que el coste final, calculado en las momentos iniciales o intermedios del proyecto (PC=10-60%).

El SCI se muestra como el mejor predictor durante las fases tempranas e intermedias del proyecto, pero en las fases más tardías, el SCI y el SPI proporcionan resultados muy similares.

Por otro lado, aunque habitualmente se suele hablar de la precisión del índice compuesto 20/80 para el SPI y CPI respectivamente, tal afirmación no está respaldada por la evidencia. En el estudio de Riedel y Chance (1989) sólo pudieron documentar su precisión en un pequeño número de casos.

También se ha encontrado que la media sobre periodos cortos (p.e. 3 meses), es más precisa que la media sobre periodos largos (p.e. 6-12 meses), especialmente en las fases intermedias del proyecto

Tabla 1. Resultados de la comparación del EAC (Riedel y Chance, 1989). Se analizaron 13 proyectos de producción de la U.S. Navy.

Fase del proyecto	Mejor índice
Temprana (0%-40%)	CPI ₃ , CPI ₆ , SCI _{CUM}
Media (20%-80%)	CPI ₃ , CPI ₆ , CPI _{CUM} , SCI _{CUM}
Tardía (60%-100%)	CPI ₃ , CPI ₆ , CPI ₁₂

Tabla 2. Resultados de la comparación del EAC (Riedel y Chance, 1989). Se analizaron 11 proyectos de desarrollo del U.S. Army.

Fase del proyecto	Mejor índice
Temprana (0%-40%)	Regresión, Índice compuesto, SPI _{CUM} , SCI
Media (20%-80%)	CPI ₃ , CPI ₆ , CPI ₁₂
Tardía (60%-100%)	CPI _{CUM} , SCI

Tabla 3. Resultados de la comparación del EAC (Riedel y Chance, 1989). Se analizaron 16 proyectos de desarrollo y 40 de producción de la U.S. Air Force.

		Fase del proyecto					
Fase	Sistema	25%	50%	75%	100%	Completo	
Desarrollo	Aeronave	SCI _{CUM}	CPI ₃	CPI ₃	20/80	SCI _{CUM}	
Producción	Aeronave	SCI _{CUM}	CPI ₃	SCI _{CUM}	CPI ₃	SCI _{CUM}	
Desarrollo	Aviónica	SCI _{CUM}	CPI ₃	SCI _{CUM}	CPI ₃	CPI ₃	
Producción	Aviónica	20/80	SCI _{CUM}	20/80	SCI _{CUM}	20/80	
Desarrollo	Motor	CPI _m	SCI _{CUM}	CPI ₃	CPI ₃	CPI ₃	

Producción	Motor	PC	CPI _{CUM}	SCI _{CUM}	PC	CPI _{CUM}
------------	-------	----	--------------------	--------------------	----	--------------------

Otras fórmulas para el EAC están basadas en análisis de regresión, en análisis de series temporales o en complicadas ecuaciones heurísticas. Sin embargo, las fórmulas de este tipo nunca han sido muy populares ya que exigen estar familiarizados con ciertos métodos estadísticos.

Las fórmulas basadas en la regresión suelen obtenerse utilizando el análisis de regresión lineal o no lineal, donde se asume que el ACWP es una función del BCWP. Una vez que se ha determinado el coeficiente de regresión, el BAC es sustituido por el BCWP para calcular el EAC.

Su precisión no ha podido ser establecida adecuadamente.

Variance at Completion - VAC

La desviación a la finalización se determina comparando el presupuesto a la finalización (BAC) con el último presupuesto a la finalización estimado (EAC), según la siguiente expresión:

$$VAC = BAC - EAC \quad (16)$$

Otra forma de expresar este indicador es ponerlo en relación con del presupuesto original del proyecto, tal como se muestra en la siguiente expresión:

$$VAC\% = \frac{VAC}{BAC} \times 100 \quad (17)$$

En ambos casos, un valor positivo indicará que si continúa ejecutándose el proyecto de esa forma, finalizará en un coste por debajo del coste estimado originalmente. Si el resultado es negativo, debemos esperar una situación de sobrecoste al final del proyecto

To-Complete Performance Index – TCPI

Este índice es una herramienta que es utilizada para validar la razonabilidad de la estimación del EAC.

El TCPI es una relación entre el trabajo restante y el presupuesto restante. Mientras que el SPI y el CPI indican la eficiencia pasada en la ejecución, el TCPI indica la eficiencia de coste necesaria de aquí en adelante si se pretende que el trabajo restante se ejecute para lograr unos determinados objetivos de coste.

Este objetivo de coste debería ser el BAC, pero debido a que la mayor parte de los contratistas superan este valor, el objetivo de coste acostumbra a ser el EAC determinado, por lo que la expresión más habitual es la siguiente (Christensen, 1994b):

$$TCPI_{EAC} = \frac{BAC - BCWP_{CUM}}{EAC - ACWP_{CUM}} \quad (18)$$

Aunque no es habitual, la expresión para un TCPI_{BAC}, sería la siguiente (Christensen, 1994b):

$$TCPI_{BAC} = \frac{BAC - BCWP_{CUM}}{BAC - ACWP_{CUM}} \quad (19)$$

- Un TCPI superior a 1, indica que la futura eficiencia deberá ser más grande que la planeada.
- Un TCPI inferior a 1, indica que la futura eficiencia podrá ser menor que la planeada.
- El TCPI permitirá estimar, por comparación con el CPI, si el contratista podrá terminar dentro del presupuesto. Mientras que el CPI refleja el rendimiento pasado, hasta la fecha del control, el TCPI refleja el posible comportamiento futuro del

proyecto. Si las diferencias de comportamiento son ostensibles, se puede preveer que no podrá alcanzarse el objetivo fijado al final del proyecto.

Christensen (1999a) y Christensen y Templin (2002) afirman que para un proyecto que ya haya completado más de un 20% del total, si la diferencia entre el $TCPI_{EAC}$ y el CPI_{CUM} es mayor de $\pm 10\%$, el EAC ha sido, probablemente, calculado a la baja.

Por ejemplo, si en un proyecto que ya ha superado el 20% del total, el CPI_{CUM} y el $TCPI_{EAC}$ son respectivamente 0.9 y 1.2, eso significaría que el contratista ha “trabajado” el equivalente a 0.9€ por cada euro gastado en el proyecto, y que para completar el trabajo restante cumpliendo el EAC calculado, el contratista deberá “trabajar” el equivalente a 1.20€ por cada euro gastado.

Como el $TCPI_{EAC}$ excede al CPI_{CUM} en más del 10%, es extremadamente difícil que el contratista sea capaz de operar con este nuevo, y más elevado, nivel de eficacia. O lo que es lo mismo, el EAC es excesivamente optimista.

Un ejemplo real de valores aún más dispares, proporcionado por el fallido proyecto del avión de ataque A-12 Avenger II (Christensen, 1993a), es que cuando se llevaba el 48% del proyecto ejecutado, el CPI_{CUM} y el $TCPI_{EAC}$ eran respectivamente de 0.76 y 1.22, eso significaría que el contratista debería trabajar en el 52% restante del proyecto con una eficacia casi del doble de la que venía empleando hasta ahora si quería evitar el sobrecoste. (Christensen y Heise, 1993).

3. Aplicación práctica del EVMS

Antes de comenzar con la aplicación práctica del método, deben definirse dos cuestiones importantes:

- a. Cómo va a ser medido el valor ganado
- b. Que base de medida va a ser utilizada como elemento de medición

La respuesta a la primera pregunta es sencilla: basta con utilizar las certificaciones mensuales ordinarias como medida del avance del proyecto, lo que implica, de facto, un periodo de análisis de un mes.

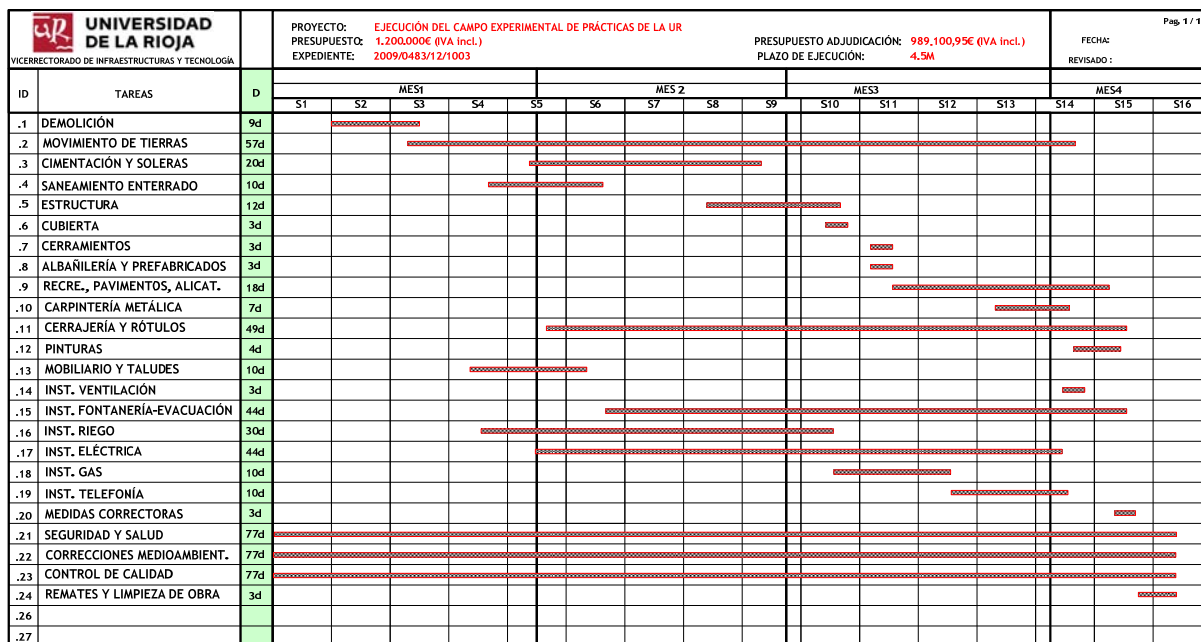
La respuesta a la segunda pregunta es igualmente sencilla. De los diferentes valores que aparecen recogidos en la certificación de obra se ha mostrado como más recomendable el correspondiente al presupuesto de ejecución material. De esta forma se evitará arrastrar en todas las operaciones los coeficientes de Gastos Generales, Beneficio Industrial, baja del licitador en el concurso, y el IVA.

La empresa constructora debe presentar una planificación de obra la cual, una vez aprobada por la propiedad, será considerada la “línea base” del proyecto, mientras no existan modificaciones.

Debe tenerse en cuenta que esta planificación es la que ha definido el adjudicatario del concurso, y que, habitualmente, diferirá de la realizada por el redactor del proyecto, siendo la primera bastante más optimista que la segunda. En el caso que nos ocupa, la duración planificada del proyecto por parte del redactor del mismo fue de 20 semanas, mientras que la ofertada en el concurso público por la empresa adjudicataria del contrato fue 105 días.

Esta planificación deberá ser coherente con el presupuesto del proyecto de forma que sea posible asignar, al menos, a las tareas de nivel más alto de la estructura de descomposición de los trabajos (NASA, 2010a, 2010b, 2010c), su correspondiente partida presupuestaria.

Figura 6. Diagrama de Gantt para la ejecución de la obra del campo de experimentación agraria.



La siguiente imagen muestra el resumen del presupuesto del proyecto en cuestión. Sobre este presupuesto, debería aplicarse la baja del adjudicatario del concurso público.

Figura 7. Presupuesto de ejecución material (PEM) del proyecto del campo de experimentación agraria.

CAPÍTULO	PRECIO €
1 DEMOLICIÓN	43.005,32
2 MOVIMIENTO DE TIERRAS	128.741,18
3 CIMENTACIÓN Y SOLERAS	133.058,15
4 SANEAMIENTO ENTERRADO	38.222,63
5 ESTRUCTURA	58.148,10
6 CUBIERTA	46.835,70
7 CERRAMIENTOS	47.001,39
8 ALBAÑILERÍA y PREFABRICADOS	4.493,54
9 RECERCIDOS, PAVIMENTOS, ALICATADOS Y REVESTIMIENTOS	73.752,71
10 CARPINTERÍA METÁLICA Y ACRISTALAMIENTOS	9.339,28
11 CERRAJERÍA, ROTULOS Y VARIOS	58.066,59
12 PINTURAS	6.627,54
13 MOBILIARIO Y TRATAMIENTO DE TALUDES	9.619,36
14 INST. VENTILACIÓN	657,51
15 INST. FONTANERÍA-EVACUACIÓN Y SANITARIOS	11.092,52
16 INST. RIEGO	44.049,27
17 INST. ELÉCTRICA	111.032,63
18 INSTALACIÓN DE GAS	1.664,17
19 INSTALACIÓN DE TELEFONÍA	1.686,77
20 MEDIDAS CORRECTORAS	1.196,74
21 SEGURIDAD Y SALUD	13.901,39
22 CORRECCIONES MEDIOAMBIENTALES	53.472,68
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	895.665,17

El presupuesto de cada capítulo se denominará BAC (*Budget at Completion*), y es el valor que como máximo puede alcanzar el valor ganado en cada capítulo del presupuesto.

A la vista de la planificación de la obra y del presupuesto, es posible obtener los costes presupuestados para los trabajos planificados (BCWS - *Budgeted Cost of Work Scheduled*) por unidad de tiempo –en este caso, un mes-, sin más que dividir cada tarea en las unidades menores de tiempo que sea posible, y asignar la parte correspondiente a cada mes de obra.

Tras cada certificación mensual, es posible completar los datos en la tabla obteniendo las diferentes desviaciones, índices de ejecución y estimaciones.

Debe recordarse que las certificaciones de obra son certificaciones a origen, por lo que los datos son acumulados y para obtener el valor de cada mes deberá ser descontado lo certificado en el mes anterior.

Figura 8. Construcción de la nave



El 16 de marzo de 2010 se firma el Acta de Comprobación del Replanteo con lo que las obras comenzarían al día siguiente, estimándose como fecha de fin de la obra el 6 de octubre de 2010 (plazo de ejecución de 3,5 meses)

Estando prevista la finalización de la obra el 1 de julio de 2010, el 24 de junio la empresa constructora solicitó una ampliación en el plazo de 20 días laborables. La causa de esta solicitud hay que buscarla en dos motivos:

Por un lado, aparece una arteria de Gas de Alta Presión que abastecía al cercano polígono de Cantabria, y aunque dicha tubería aparecía reflejada en los planos suministrados al inicio de la obra, según las coordenadas teóricas no existía constancia de interferencia con los trabajos a ejecutar.

La presencia de esta tubería obliga a descubrirla, envainarla con tubería de PVC y hormigonarla para su protección. Ello conlleva la localización manual de la tubería en una longitud de 20m lineales al no poder realizar esta operación con maquinaria pesada por razones evidentes.

Por otro lado, durante el transcurso de la obra se registraron hasta 7 días con más de 5 litros por m² de precipitación, lo que obligó a paralizar diferentes trabajos.

El conjunto de estas dos circunstancias dificultó la ejecución de las diferentes unidades de obra.

Tras el correspondiente informe favorable del Director de Obra, y su consideración como justificada por la Oficina Técnica de Obras e Infraestructuras de la Universidad de La Rioja, se procedió a aprobar la ampliación del plazo en 20 día laborables, fijándose como nueva fecha de finalización de la obra el 29 de julio de 2010.

El fin de semana del 25 y 26 de julio tuvieron lugar unas fuertes lluvias que provocaron destrozos en las obras ya ejecutadas, particularmente en las zonas donde se había realizado movimientos de tierras

Figura 9. Aspecto final de la nave terminada. Se aprecia en el exterior el umbráculo.



La obra finalizó el 6 de octubre de 2010, y el 9 de enero, el presidente del Gobierno de La Rioja, junto con el Rector Magnífico de la Universidad de La Rioja inauguró el nuevo Campo de Experimentación Agraria.

La gráfica adjunta muestra la evolución mensual de los tres parámetros básicos –referidos a valores acumulados- del EVMS, el BCWS_{cum}, el BCWP_{cum} y el ACWP_{cum}.

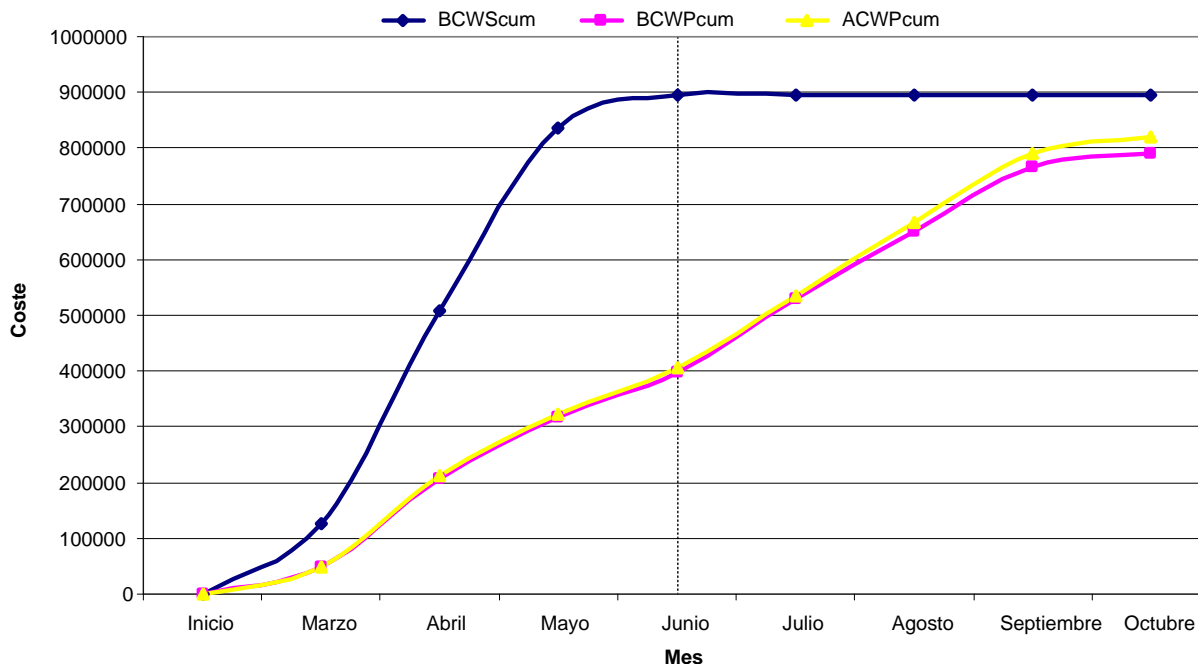
La gráfica muestra que a lo largo de todo el proyecto los costes estuvieron perfectamente controlados, pero una importante desviación de los plazos.

Esto es debido a que mientras que resulta relativamente sencillo realizar un control exhaustivo de las certificaciones de obra, de las mediciones realizadas y de los precios aplicados; el control de los plazos es singular ya que el plazo habrá sido ofertado por el adjudicatario del contrato, y el que este plazo propuesto sea más o menos realista, en la inmensa mayoría de las veces, queda fuera de las posibilidades de control real por parte de la propiedad.

Sobre la variable “plazo”, y dado que la LCSP recoge, en su Art. 196 unas penalizaciones realmente pequeñas de 0,2€ por cada 1.000€ de precio de adjudicación (IVA excluido), que resultan muy poco eficaces como elemento motivador de la empresa, resulta muy recomendable la imposición, vía Pliego de Cláusulas Administrativas Particulares, la imposición de mayores penalidades.

Por otro lado, diversos informes de diferentes Juntas Consultivas de Contratación Administrativa –p.e. el informe 13/2004 de la Junta Consultiva del Ministerio de Hacienda-, reconocen como fraude el incumplimiento del plazo de ejecución, si la reducción de plazo hubiera sido un criterio para la adjudicación del contrato.

Figura 10. Curvas de BCWS_{cum}, BCWP_{cum} y ACWP_{cum}.



La obra, finalmente fue cerrada sin sobrecoste alguno, en un precio de 60.200€ por debajo del presupuesto de adjudicación y 296.652,11€ por debajo del presupuesto de licitación.

Tabla 4. Resumen de los principales índices de ejecución del proyecto y su evolución a lo largo de la ejecución de la obra.

Mes	PC%	SPI _{CUM}	CPI _{CUM}	SCI _{CUM}	TCPI _{BAC}	TCPI _{EAC}	CPI/TCPI 10%
Marzo	5,41%	0,382	1,000	0,382	1,000	11,673	1,000
Abril	23,15%	0,408	0,979	0,399	1,007	3,530	0,972
Mayo	35,56%	0,381	0,986	0,376	1,008	1,925	0,978
Junio	44,53%	0,445	0,984	0,438	1,013	1,411	0,971
Julio	59,07%	0,591	0,988	0,584	1,017	0,901	0,971
Agosto	72,67%	0,727	0,977	0,710	1,066	0,918	0,917
Septiembre	85,42%	0,854	0,968	0,827	1,237	0,908	0,783
Octubre	88,17%	0,882	0,964	0,850	1,384	0,914	0,697

En la tabla se observa que hasta el mes de junio, el CPI_{CUM} es menor que el TCPI_{EAC} lo que querría decir que el contratista ha trabajado el equivalente a –por ejemplo, en mayo- 0,986€ por cada euro invertido en el proyecto, mientras que para terminar el proyecto en el EAC determinado, debería haber “trabajo” por valor de 1,008€.

A partir de junio, el CPI_{CUM} es mayor que el TCPI_{EAC}, lo que quiere decir que el contratista ha tenido un rendimiento mayor que el necesario para finalizar la obra en el EAC dado.

Figura 11. Interior de la nave



Tabla 5. Resumen de la variación a lo largo de la ejecución de la obra, del coste previsto a la finalización, en función de los distintos factores utilizados. Nota: el subíndice IC denota el índice compuesto, con valores de 0.2/0.8 para SPI/CPI

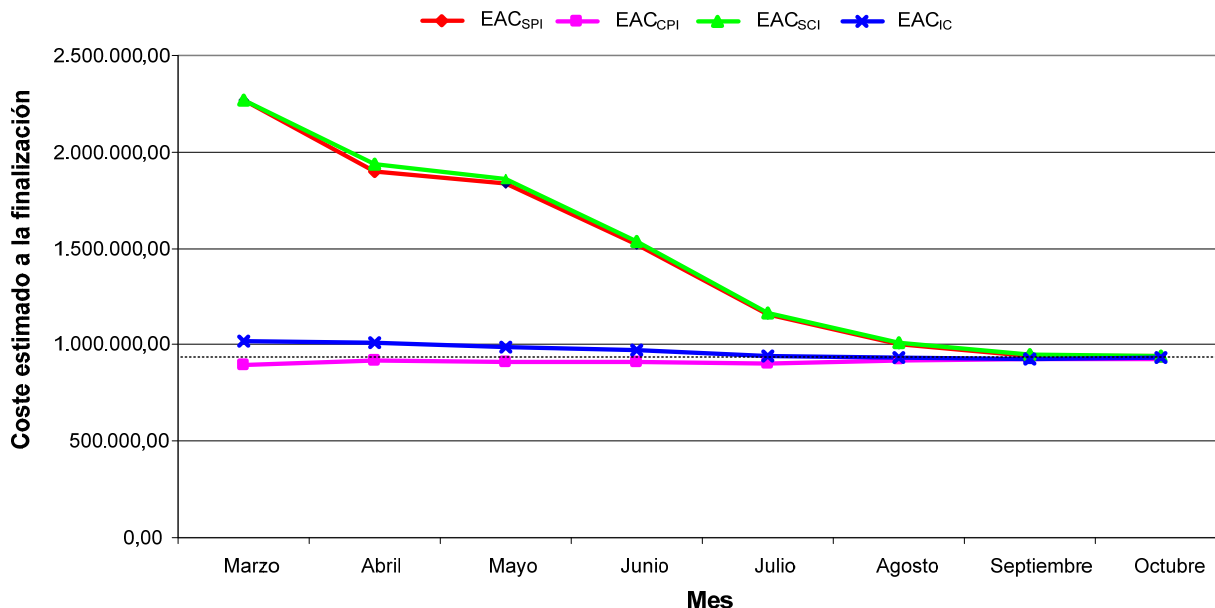
Mes	EAC _{SPI}	EAC _{CPI}	EAC _{SCI}	EAC _{IC}
Marzo	2.266.892,10	895.665,17	2.266.892,10	1.015.171,25
Abril	1.901.073,93	915.332,89	1.938.166,97	1.008.283,36
Mayo	1.837.650,98	908.466,79	1.859.298,95	990.341,24
Junio	1.520.708,26	909.838,11	1.538.360,16	971.906,16
Julio	1.155.871,86	906.251,27	1.163.205,89	938.702,84
Agosto	1.002.895,28	916.592,43	1.010.763,77	930.123,12
Septiembre	942.943,96	924.921,00	947.937,38	928.177,41
Octubre	939.254,75	928.990,01	943.724,21	930.900,18

En la siguiente gráfica, se observa como los índices de ejecución CPI e Índice Compuesto son los que se comportan de una forma más estable a lo largo del proyecto, permitiendo predecir, desde el segundo mes de ejecución de la obra el coste final. Por el contrario, los índices SPI y SCI tienen un comportamiento mucho menos estable.

Se comprueba que una vez más un EAC basado en el índice CPI es un “suelo” para el coste final estimado, mientras que el EAC basado en el SCI es el “techo” para las estimaciones.

Igualmente se comprueba un hecho que debería ser evidente: a medida que transcurre el proyecto, las estimaciones de coste a la finalización son cada vez más ajustada a la realidad final.

Figura 12. Evolución del EAC para diferentes índices de ejecución



Los criterios utilizados para analizar la desviación del coste estimado a la finalización respecto del coste total presupuestado son los siguientes:

Tabla 6. Criterios de aplicación para el VAC

Color	VAC%
Verde	$VAC\% > -5\%$
Amarillo	$-10\% < VAC\% < -5\%$
Rojo	$VAC\% < -10\%$

4. Conclusiones

Tras la aplicación de este método a varios proyectos, es posible concluir que:

- La aplicación del método del valor ganado aporta una considerable mejora a la hora de prever problemas tanto en la gestión de los costes como en los plazos de ejecución.
- Resulta recomendable la utilización como base de medida el presupuesto de ejecución material del proyecto, lo que simplifica los cálculos y reduce la complejidad de las operaciones.
- Las certificaciones ordinarias de obra permite un fácil y cómodo seguimiento de la obra aplicando el EVMS.
- Los índices de ejecución permiten realizar estimaciones razonablemente precisas, o cuando menos, fijar un máximo para el coste estimado a la finalización.

- El índice de ejecución que se ha demostrado más estable y con mayor precisión en la estimación del coste final en el tipo de proyecto realizado es el índice compuesto con coeficientes de 0,2 para el SPI y 0,8 para el CPI y el CPI, aunque de ejecutar un proyecto de mayor duración, y basándonos en la bibliografía existente, probablemente este índice no sería válido para las diferentes fase del proyectos.
- Se comprueba que un EAC calculado para un índice CPI es el “suelo” para el coste final estimado, mientras que un EAC calculado para un índice SCI, es un “techo” para este parámetro de coste.
- Dada esa mayor dificultad para controlar los plazos, y que las penalizaciones que establece la LCSP por incumplimiento del plazo de finalización son muy reducidas y poco motivadoras para las empresas, resulta recomendable incrementar, a través del Pliego de Cláusulas Administrativas, las penalizaciones por incumplimiento del plazo.

5. Referencias

- Christensen, D.S., Payne, K.I., (1992). CPI Stability-Fact or Fiction?" *Journal of Parametrics* 10:27-40.
- Christensen, D. S., (1993a). Determining an Accurate Estimate at Completion *National Contract Management Journal* 25: 17-25.
- Christensen, D. S., (1993b). The EAC Problem - A Review of 3 Studies. *Project Management Journal* 24: 37-42.
- Christensen, D.S., (1993c). An Analysis of Cost Overruns On Defense Contracts. *Project Management Journal* 24:43-48.
- Christensen, D.S., Heise, S., (1993). Cost Performance Index Stability. *National Contract Management Journal* 25: 7-15.
- Christensen, D.S., (1994a). Cost Overrun Optimism: Fact or Fiction?. *Acquisition Review Quarterly* 1: 25-34.
- Christensen, D. S., (1994b). Using Performance Indices to Evaluate the Estimate At Completion. *Journal of Cost Analysis and Management*, pp 17-24,
- Christensen, D.S., Antolini, R.C., McKinney, J.W., (1995). A Review of EAC Research *Journal of Cost Analysis and Management*, pp. 41-62.
- Christensen, D.S., (1996). Project advocacy and the estimate at completion problem. *Journal of Cost Analysis*, pp. 35-60.
- Christensen, D.S., (1998). The cost and benefits of the earned value management process. *Adquisition Review Quarterly*
- Christensen, D.S., (1999). Using the Earned Value Cost Management Report to Evaluate the Contractor's Estimate At Completion. *Acquisition Review Quarterly* 19:283:296.
- Christensen, D.S., Templin, C., (2002). EAC Evaluation Methods: Do They Still Work? *Acquisition Review Quarterly* 9:105-116.
- Christensen, D.S., (2004). Is the Cumulative SCI-based EAC an Upper-Bound to Final Cost on Post-A12 Contracts? *The Journal of Cost Analysis and Management*, pp. 1-10.
- Ganuzá, J. (1998). Los Sobrecostes en las obras Públicas. Un análisis económico del caso español. *Revista de Economía Industrial*, 318, pp. 111-22.

- Hayes III, R.D., (2001). Analysis and application of earned value management to the naval construction force. School of civil engineering Purdue University West Lafayette Indiana.
- NASA - National Aeronautics and Space Administration, (2010a). Schedule Management Handbook. NASA/SP-2010-3403. NASA Headquarters. Washington, D.C. 20546.
- NASA - National Aeronautics and Space Administration, (2010b). NASA Work Breakdown Structure (WBS) Handbook. NASA/SP-2010-3404. NASA Headquarters. Washington, D.C. 20546.
- NASA - National Aeronautics and Space Administration, (2010c). Integrated Baseline (IBR) Handbook. NASA/SP-2010-3406. NASA Headquarters. Washington, D.C. 20546.
- Reidel, M. A., Chance, J.L., (1989). Estimates at Completion (EAC): A Guided to Their Calculation and Application for Aircraft, Avionics, and Engine Programs. Ohio: Aeronautical Systems Division, Wright-Patterson AFB.
- Rodríguez-Arana, J., del Guayo Castiella, I. (2002). *Panorama jurídico de las administraciones públicas en el siglo XXI*. Coedición del Instituto Nacional de Administración Pública y el Boletín Oficial del Estado.
- Sapolsky, H.M., (1972). The Polaris Systems Development. Department of Construction Technology and Management. Harvard University Press.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Eliseo P. Vergara González
Vicerrectorado de Infraestructuras y Tecnología
Phone: +34 941 299 107
Fax: + 34 941 299 120
E-mail : eliseo.vergara@unirioja.es
URL : www.unirioja.es