



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERIA
INDUSTRIAL VALÈNCIA

IDENTIFICACIÓN, ANÁLISIS E INTEGRACIÓN DE DIFERENTES MÉTODOS DE CONTROL DE COSTES PARA LA DIRECCIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS CON LA HERRAMIENTA MS PROJECT.

Autor: Brian Leonardo Segovia Araya

Tutor: Dra. Rosario Viñoles Cebolla

Trabajo Fin de Máster – Curso 2018-2019



Máster de Dirección y Gestión de Proyectos

DPI Departamento de
Proyectos de Ingeniería

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar, deseo dar gracias a todos los profesores que imparten el Máster de Dirección y Gestión de Proyectos por su dedicación y compromiso. Agradeciendo, especialmente, a mi tutora Dra. Rosario Cebolla Viñoles por su colaboración y orientación para finalizar con éxito este trabajo.

Mis agradecimientos, también, a mi familia que a pesar de la distancia siempre están atentos a mi desarrollo personal y profesional.

Finalmente, sobre todo agradezco a Fernanda, mi compañera de vida, quien me ha acompañado y apoyado en este proceso.

RESUMEN.

El control de costes en proyectos es un proceso fundamental para cumplir con éxito el objetivo de un proyecto. Mediante el control de los costes un director de proyectos puede identificar desvíos en el proyecto y por consiguiente tomar acciones correctivas de forma temprana, permitiendo finalizar el proyecto dentro del presupuesto establecido en la etapa de planificación.

Uno de los objetivos principales del control de costes es poder estimar los costes finales a partir de las desviaciones del plan inicial. Para realizar estas estimaciones existe una extensa variedad de métodos especialmente abordados desde el enfoque de la gestión del valor ganado. Sumado a esto, actualmente la dirección de proyectos se efectúa mayoritariamente complementada por algún programa informático de gestión, siendo Microsoft Project uno de los programas más populares y utilizados que basa el control de costes en la técnica del valor ganado.

Sobre estas evidencias, el presente Trabajo Fin de Máster pretende integrar diferentes métodos en la herramienta MS Project con el fin de permitir a los directores de proyectos un análisis más detallado del desarrollo de los proyectos empleando diferentes métodos de control de costes.

Para ello se ha llevado a cabo una identificación, análisis y clasificación de diferentes métodos presentes en la literatura. Se procedió a su selección, según su relevancia y capacidad de integración con MS Project y sus herramientas de control. Y finalmente, se efectuó una evaluación de la eficacia y complejidad de las integraciones propuestas a través de un caso práctico, identificándose las ventajas y desventajas que conlleva el uso de cada uno de los métodos.

ABSTRACT.

Project cost control is a fundamental process to successfully achieve the objective of a project. Through cost control a project manager can identify deviations in the project, therefore take earlying corrective actions, allowing to finalize within the budget established in the planning stage.

One of the main objectives of cost control is to estimate final costs from variances. In order to, there is a wide variety of methods, especially raised from the approach to earned value management. In addition, projects are currently necessarily managed complemented by management software, where as Microsoft Project is the most popular and based on cost control of the earned value management.

On this evidence, this Final Project of Master aims to integrate different methods into the MS Project tool in order to allow project managers an analysis more detailed of project development using different methods of control of costs.

For this, an identification, analysis and classification of different methods present in the literature has been carried out. They were selected, according to their relevance and ability to integrate with MS Project and its control tools. And finally, an evaluation of the effectiveness and complexity of the proposed integrations was carried out through a practical case, identifying the advantages and disadvantages that the use of each of the methods entails

RESUM.

El control de costos en projectes és un procés fonamental per a complir amb èxit l'objectiu d'un projecte. Mitjançant el control dels costos un director de projectes pot identificar desviaments en el projecte i per consegüent prendre accions correctives de manera primerenca, permetent finalitzar el projecte dins del pressupost establert en l'etapa de planificació.

Un dels objectius principals del control de costos és poder estimar els costos finals a partir de les desviacions del pla inicial. Per a realitzar aquestes estimacions existeix una extensa varietat de mètodes especialment abordats des de l'enfocament de la gestió del valor guanyat. Sumat a això, actualment la direcció de projectes s'efectua majoritàriament complementada per algun programa informàtic de gestió, sent Microsoft Project un dels programes més populars i utilitzats que basa el control de costos en la tècnica del valor guanyat.

Sobre aquestes evidències, el present Treball Fi de Màster pretén integrar diferents mètodes en l'eina Microsoft Project amb la finalitat de permetre als directors de projectes una anàlisi més detallada del desenvolupament dels projectes emprant diferents mètodes de control de costos.

Per a això s'ha dut a terme una identificació, anàlisi i classificació de diferents mètodes presents en la literatura. Es va procedir a la seua selecció, segons la seua rellevància i capacitat d'integració amb Microsoft Project i les seues eines de control. I finalment, es va efectuar una avaluació de l'eficàcia i complexitat de les integracions proposades a través d'un cas pràctic, identificant-se els avantatges i desavantatges que comporta l'ús de cadascun dels mètodes.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

RESUMEN.....	3
ABSTRACT.	4
RESUM.	5
ÍNDICE.....	6
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.	11
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 <i>Objetivo general</i>	13
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	13
CAPÍTULO 2. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.....	14
2.1 GESTIÓN DEL VALOR GANADO (EVM).....	14
2.1.1 <i>Historia</i>	14
2.1.2 <i>Conceptos claves</i>	15
2.2 ESTUDIO DE MÉTODOS DE CONTROL COSTES.	18
2.2.1 <i>Métodos Deterministas</i>	23
2.2.2 <i>Métodos Estadísticos-Probabilísticos</i>	35
2.2.3 <i>Métodos con uso de inteligencia artificial</i>	49
2.3 RESUMEN Y COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.....	49
CAPÍTULO 3. CONTROL DE COSTES CON MS PROJECT.....	53
3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE MS PROJECT.....	53
3.2 VARIABLES DE COSTES EN MS PROJECT.....	53
3.3 COMPONENTES DE CONTROL.....	54
3.4 VALOR GANADO EN MS PROJECT	63
CAPÍTULO 4. PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE MÉTODOS DE VALOR GANADO EN MS PROJECT	70
4.1 SELECCIÓN DE MÉTODOS Y MS PROJECT.	70
4.2 IMPLEMENTACIÓN DE MÉTODOS EN MS PROJECT.....	71
CAPÍTULO 5. CASO PRÁCTICO	85
5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	85
5.2 INGRESO DE DATOS EN MS PROJECT.....	92
5.2.1 <i>Planificación</i>	92
5.2.2 <i>Ejecución</i>	95

CAPÍTULO 6. RESULTADOS.....	102
6.1 APLICACIÓN DE MÉTODOS DE CONTROL DE COSTES.	102
6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.	106
6.2.1 <i>Curva de la S.</i>	106
6.2.2 <i>Interpretación de resultados.</i>	108
6.2.3 <i>Resumen comparativo.</i>	110
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES.....	113
CAPÍTULO 8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	115
CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
9.1 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.	116
9.2 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	117

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1	Valor Ganado, Valor Planificado y Costes Reales (PMI, 2017).....	17
Figura 2	Clasificación de Métodos de Control de Costes.....	22
Figura 3	Concepto de la programación ganada (Lipke, 2003)	27
Figura 4	Curva de la S del modelo de crecimiento Gompertz (Narbaev & De Marco, 2014a)	34
Figura 5	Representación de números difusos (Naeni et al., 2011).	41
Figura 6	Seguimiento de rendimiento y pronóstico probabilísticos usando las curvas de las SS	43
Figura 7	Curvas de control – Criterio de Calidad	44
Figura 8	Curvas de control – criterio de la evaluación comparativa	45
Figura 9	Curvas de control – criterio de la varianza incremental.....	46
Figura 10	Vista de pestaña de informes.	57
Figura 11	Ventana de informes visuales.	58
Figura 12	Opciones para selección de campo personalizado.	59
Figura 13	Ventana campo personalizado.	60
Figura 14	Opciones para grabación de macros.	61
Figura 15	Cuadro de diálogo Grabar macro.	62
Figura 16	Ventana Visual Basic para aplicaciones.....	62
Figura 17	Gráficas del Valor Acumulado predefinidas	66
Figura 18	Barra de opciones del panel de tareas.	67
Figura 19	Ventana Informes visuales: selector de campos.	68
Figura 20	desplegable de opciones de la celda de tareas.	69
Figura 21	Fórmula de EAC en campo personalizado.....	72
Figura 22	Fórmula de EAC (SPI) en campo personalizado.....	73
Figura 23	Fórmula de EAC (CR) en campo personalizado.	73
Figura 24	Campos personalizados de los pesos Wt1 y Wt2 para CI.....	74
Figura 25	Fórmula de EAC (CI) en campo personalizado.	75
Figura 26	Plantilla “ES Calculator V1b Copyright 2003 Lipke”.(Lipke, 2006).....	76
Figura 27	Plantilla “ES Calculator V1b Copyright 2003 Lipke”-modificada.	77
Figura 28	Q_{wxr} en plantilla de informe visual.....	78
Figura 29	Trabajo previsto por tarea en plantilla de informe visual.	79
Figura 30	U_{rx1} en plantilla de informe visual.	79
Figura 31	AP_{wxt} en vista uso de tareas.....	80
Figura 32	EAC con mediante índice con matrices en hoja de cálculo.	80
Figura 33	Hoja de cálculo con cálculo de EAC con mediante suavizamiento exponencial.	81
Figura 34	Campo personalizado de N (tareas ejecutadas).....	82
Figura 35	Campo personalizado Índice de esfuerzo de costes.	83
Figura 36	Hoja de cálculo del índice de relación de esfuerzo de costes	84
Figura 37	Ventana Información del Proyecto – Aplicación de caso práctico.	92
Figura 38	Vista de tareas planificadas sin asignación de recursos.....	93
Figura 39	Diagrama de Gantt de las tareas planificadas.	94
Figura 40	Hoja de recursos planificados.....	94
Figura 41	Vista dividida Uso de tareas – Formulario de tareas.....	95
Figura 42	Opciones Project - Programación.....	96
Figura 43	Opciones Project - Programación.....	98
Figura 44.	Vista Hoja de recursos con tasa estándar real.	99
Figura 45.	Selección tabla seguimiento.....	100

Figura 48 Tabla de seguimiento.	100
Figura 48 Vista Uso de tareas con detalle de distribución de trabajo.	101
Figura 49 Curva de la S – Caso práctico.....	107

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 Métodos de control en fuentes bibliográficas.....	21
Tabla 2 Resumen y comparación de métodos de Análisis de Variación de progreso de los proyectos	52
Tabla 4 Tasas de trabajo de los recursos del caso práctico.....	87
Tabla 5 Recursos asignados a cada tarea – Caso práctico.....	88
Tabla 6 Cantidad de duración y trabajo asignado para cada recurso y tarea – caso práctico.....	89
Tabla 7 Costes reales unitarios (tasa estándar real) de los recursos – Caso práctico.....	90
Tabla 8 Progreso real de las tareas – Caso práctico.....	91
Tabla 9 EAC método Clásico.....	103
Tabla 10 EAC método CPI.....	103
Tabla 11 EAC método SPI.....	103
Tabla 12 EAC método CR.....	104
Tabla 13 EAC método CI.....	104
Tabla 14 EAC método ES.....	104
Tabla 15 EAC método Matrices.....	105
Tabla 16 EAC método Suavizamiento Exponencial.....	105
Tabla 17 Índice de relación de Esfuerzo.....	106
Tabla 18 Resumen de resultados de control de costes – Caso práctico.....	108
Tabla 19 Resumen Comparativo de los métodos implementados.....	112

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

El control y monitorización de costes es uno de los procesos de mayor importancia para poder cumplir con éxito la gestión de proyectos. “Gran parte del esfuerzo de control de costes se dedica a analizar la relación entre los fondos del proyecto consumidos y el trabajo efectuado correspondiente a dichos gastos” (PMI, 2017). El objetivo principal del control de costes es que al finalizar el proyecto este se encuentre dentro del presupuesto establecido en la línea base elaborada en la etapa de planificación. Esto no sólo significa que se deben monitorear y guardar los datos de progreso, sino que se deben analizar estos y tomar medidas correctivas (Kerzner, 2009).

Como se describe en el párrafo anterior, el fin principal del control de costes es finalizar el proyecto dentro del presupuesto, sin embargo, los proyectos en su desarrollo contendrán desviaciones. Estas desviaciones son innatas al desarrollo de cualquier proyecto. Por lo tanto, el objetivo de controlar los costes se convierte en el proceso de estimar los costes al final del proyecto, según estas desviaciones. A la vez, estas estimaciones permitirán actuar de manera temprana sobre la causa de estas desviaciones, efectuar los cambios o acciones correctivas que sean necesarias y asegurar que el trabajo se realice conforme a lo planificado. En resumen, el control de costes permite tomar decisiones de forma oportuna para cumplir el proyecto dentro del presupuesto planificado.

Dentro del proceso del control de costes el pronosticar o predecir cuanto serán los costes al final del proyecto es una tarea esencial. Sobre la base de esta premisa, es qué desde el origen de la gestión de proyectos como disciplina, se han desarrollado métodos que permitan realizar estimaciones sobre los costes al finalizar el proyecto. Abarcando multiplicidad de enfoques desde los más simple hasta los más complejos; tales como métodos básicos de control como la técnica PERT o CPM, pasando por el valor ganado, hasta técnicas que incluyen simulación de Montecarlo o inteligencia artificial para sus estimaciones.

En la actualidad, la gestión y control de proyectos se desarrolla necesariamente complementada con el uso de herramientas tecnológicas o informáticas. Dentro de las cuales destaca MS Project, la herramienta más popular alrededor del mundo (Capterra, 2018), según el número de clientes, usuarios y presencia en redes sociales. MS Project es una herramienta integral que permite gestionar y seguir la ejecución de proyectos de forma eficaz.

INTRODUCCIÓN.

1.1 JUSTIFICACIÓN.

Para llevar a cabo el control de costes, en la literatura se pueden encontrar distintos métodos y herramientas para realizar el control y la estimación de costes al final del proyecto. Uno de los métodos más difundidos y utilizado es el análisis del valor ganado (EVA¹) o gestión del valor ganado (EVM²), el cual además de considerar mediciones de costes, incluye datos de programación y alcance de los proyectos. Tal como se verá más adelante, también existen otras extensiones que incluyen datos de riesgos o juicio de expertos para complementar las estimaciones a realizar.

Si bien, el análisis de valor ganado permite visualizar el estado de un proyecto, identificar tendencias y problemas (alertas tempranas), y establecer las bases para posibles acciones correctivas; a lo largo de los años se han ido desarrollando nuevos métodos y extensiones del EVA, que incluyen otras variables y técnicas para realizar el análisis de tendencias y pronósticos de estimaciones al final del proyecto. En forma general, estos métodos se pueden clasificar como aquellos basados en: índices, análisis estadísticos/deterministas, datos estadísticos/probabilísticos y en inteligencia artificial.

Por su parte, MS Project dentro de sus múltiples funcionalidades, posee características que permiten realizar el seguimiento y rendimientos de los costes asociados al proyecto, incluido parámetros relacionados con el análisis de valor ganado. Dentro de estas características considera varios tipos de informes predefinidos y tablas con datos útiles al momento de realizar el seguimiento del proyecto. En consideración a lo anterior, toma importancia el estudio y análisis de: ¿qué otros métodos de análisis de control o extensiones del EVA pueden ser utilizados directamente con el programa o con los datos entregados por el mismo? Por consiguiente, con el resultado establecer las limitaciones o versatilidad del programa en el seguimiento y control de costes, especialmente en lo referido a las estimaciones de costes al final del proyecto.

De acuerdo con el PMI (2017) el plan de gestión de costes de un proyecto debe considerar las reglas de medición de desempeño mediante EVM. En este sentido, señala que se deben especificar las metodologías de seguimiento y fórmulas de cálculo del EVM para determinar la estimación a la conclusión (EAC³) proyectada. En consecuencia, conocer las distintas variantes de cálculos de EAC es una tarea a la cual se le debe dar relevancia según el tipo de proyecto a desarrollar y las herramientas que se poseen para gestionarlo.

¹ EVA: Earned Value Analysis.

² EVM: Earned Value Management.

³ EAC: Estimate at Conclusion..

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Investigar, analizar y comparar las distintas alternativas de cálculo del costo estimado a la conclusión (EAC) de acuerdo con la gestión del valor ganado y comparar éstas con las herramientas incluidas en MS Project, con su posterior implementación a un proyecto.

1.2.2 Objetivos específicos

- Investigar en la literatura asociada al control y seguimiento de proyectos, las distintas opciones existentes para el análisis de variación de costes y el cálculo de estimación a la conclusión.
- Realizar un análisis comparativo entre los métodos de cálculo de la estimación a la conclusión. Incluyendo las distintas opiniones emitidas por diversos autores y analizando ventajas y desventajas de los métodos propuestos.
- Estudiar y describir todas las herramientas enfocadas en el control de costes que posee MS Project.
- Integrar el análisis de variación de costes y pronóstico de resultados estudiados a un proyecto propuesto siendo programado y monitorizado con MS Project.
- Determinar o validar qué métodos son aplicables o compatibles con el uso MS Project en la gestión de proyecto.
- Establecer líneas futuras de investigación y emitir conclusiones respecto a la idoneidad del uso de MS Project junto a los diferentes métodos de control de costes asociados a la gestión de valor ganado.

CAPÍTULO 2. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.

De acuerdo a la definición establecida por (PMI, 2017) “análisis de variación es el proceso de revisar las diferencias entre desempeño o rendimiento planificado y el real”. A la vez este análisis puede incluir estimaciones de duración y costes, utilización de recursos, tarifas de recursos, rendimiento técnico y otras variables.

Si bien es cierto que, el objetivo de este trabajo es analizar los métodos de control de costes, principalmente el cálculo de EAC, es crucial aclarar que existe una gran interrelación entre varias de las variables de análisis, especialmente entre los cálculos de duración y costo. Todo esto se podrá apreciar con mayor profundidad en la revisión de la literatura, donde se detallará las algunas de las propuestas de mayor relevancia según Willems & Vanhoucke (2015) y otras propuestas encontradas bajo otros conceptos de búsqueda. Principalmente este estudio se centrará en aquellos métodos o técnicas relacionadas con la gestión del valor ganado, abarcando desde métodos que sólo utilizan índices obtenidos directamente de los datos del proyecto hasta métodos que integran la incertidumbre, riesgos, datos históricos o experiencia, a través de cálculos estadísticos o matemáticos más complejos. También se nombrarán algunas técnicas que integran la inteligencia artificial para el control de proyecto, sin adentrar mayormente en el detalle de su aplicación.

2.1 GESTIÓN DEL VALOR GANADO (EVM)

Antes de profundizar en el sistema de gestión de valor ganado (EVMS)⁴ y a modo de introducción, en el presente apartado se expondrá un breve resumen del estado del arte, junto con un repaso de los términos y conceptos básicos relacionados con su aplicación.

2.1.1 Historia.

Desde el comienzo de la práctica de la gestión de proyectos como profesión, se ha planteado la problemática de conocer el estado real de progreso o avance del proyecto. Por lo que EVM ha sido una de las técnicas históricamente utilizada por los profesionales de gestión de proyectos para intentar dar respuesta a esta cuestión.

⁴ EVMS: Earned Value Method System.

Una de las formas más básicas de EVM se remonta a los ingenieros industriales de las fábricas de finales del siglo XIX. Sin embargo, el EVM como tal, tiene su origen como un componente clave del estándar llamado Criterios de Sistemas de Control de Costes/Programación (C/SCSC)⁵. Estos criterios fueron creados por primera vez en Diciembre de 1967 por el Departamento de Defensa de Estados Unidos y, a partir de allí, se ha implementado este método y algunas variaciones del mismo por otras agencias de gobierno, otros gobiernos y otras industrias (Fleming & Koppelman, 2010).

Estos criterios fueron ampliamente utilizados hasta los años 90's, hasta que finalmente se elabora la normativa "Sistemas de Gestión del Valor Ganado" del American National Standards Institute/Electronics – Industries Alliance o (ANSI/EIA-748), a consecuencia de una serie de problemas identificados por el Pentágono en informes de costo/programación en programas de alta importancia. El caso que tuvo mayor incidencia fue la cancelación del proyecto de desarrollo del avión A-12 de la Armada de EE.UU., debido a que aumentó el interés en una mayor compresión del EVMS y el uso de su información para la alerta temprana (Abba, 2001; F. Anbari & Kwak, 2012).

En 1999, se crea el primer Colegio de Gestión del Desempeño (CPM⁶), que es una organización destinada a la investigación de EVM y de la planificación y control de proyectos, incluyendo esta metodología en el PMBoK (De Marco & Narbaev, 2013).

Hoy en día, se sigue investigando y desarrollando extensiones de la metodología del EVM, detallando alguno de los más relevantes en los apartados que se explicaran más adelante.

2.1.2 Conceptos claves.

A continuación, se definen a algunos de los conceptos de mayor relevancia y más utilizados dentro de las técnicas del EVM.

a) Presupuesto hasta la conclusión (BAC)⁷

Es la suma total de todos los presupuestos de los trabajos a realizar en el proyecto, es decir, es el valor total del presupuesto planificado hasta el final del proyecto.

b) Valor Planificado (PV)⁸

El valor planificado corresponde al presupuesto aprobado asignado al trabajo programado en un período de tiempo determinado. Describe cuan avanzado debe estar el trabajo en un cierto punto de la programación del proyecto. Por consiguiente, es una medida monetaria del trabajo presupuestado que está programado para realizarse, lo que también se conoce como línea base del proyecto. Anteriormente también llamado coste presupuestado del trabajo programado (CPTP)⁹, previo a la simplificación de

⁵ C/SCSC: Cost/Schedule Control System Criteria.

⁶ CPM: College of Performance Management.

⁷ BAC: Budget At Completion.

⁸ PV: Planned Value.

⁹ BCWS: Budgeted Cost of Work Scheduled.

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.

terminología introducida por el PMI en el año 2000 (F. Anbari & Kwak, 2012). La sumatoria del valor planificado de todas las tareas corresponde al BAC del proyecto.

c) Valor Ganado (EV)¹⁰

El valor ganado es el costo presupuestado para la cantidad de trabajo terminado más el porcentaje de avance del trabajo en ejecución a la fecha de control. En otras palabras, se puede describir como una instantánea del avance del trabajo en cierto momento establecido, en función de los costes planificados. Anteriormente también llamado coste presupuestado del trabajo realizado (CPTR)¹¹.

d) Costo Real (AC)¹²

El costo real o actual es el costo que se ha gastado al realizar el trabajo real completado hasta la fecha medición o fecha de estado. Es decir, refleja los costes en los que se ha incurrido independiente de los costes presupuestados. Anteriormente también llamado coste real del trabajo realizado (CRTR)¹³.

e) Variación del Cronograma (SV)¹⁴

Variación del cronograma o desviación en plazos es la comparación entre costo planificado que se gastaría hasta cierta fecha y costo presupuestado del trabajo real ejecutado. Esta se expresa matemáticamente como la diferencia del EV menos el PV.

f) Variación de costes (CV)¹⁵

También llamada desviación de costes es la cantidad monetaria en la que se ha incurrido realmente a la fecha, en comparación con la cantidad presupuestada para el trabajo real completado. Expresada matemáticamente es la diferencia del EV menos el AC.

g) Índices de desempeño o rendimiento.

Los índices de desempeño tanto del cronograma (SPI)¹⁶ como de costes (CPI)¹⁷ son valores derivados de las medidas de EV, AC y PV para establecer la eficiencia en tiempo y costes del proyecto hasta fecha de medición. Estas razones son utilizadas en algunos métodos para pronosticar el costo final y la duración total del proyecto.

¹⁰ EV: Earned Value.

¹¹ BCWP: Budgeted Cost for work performed.

¹² AC: Actual Cost.

¹³ ACWP: Actual Cost for work performed

¹⁴ SV: Schedule Variation.

¹⁵ CV: Cost Variation.

¹⁶ SPI: Schedule Performance Index.

¹⁷ CPI: Cost Performance Index.

Las fórmulas de cálculo de estos índices y su aplicación al cálculo de pronósticos serán detalladas en los apartados 2.2.1.2a), 2.2.1.2b), 0, 0 y 2.2.1.2e), donde se explicará individualmente cada método.

h) Curva de la S.

El gráfico conocido como curva de la S, es la representación gráfica de los costes acumulados del valor planificado, costo real y valor ganado respecto al tiempo. Para la elaboración de esta, el equipo de proyecto o director de proyecto debe realizar mediciones periódicamente, normalmente semanal o mensualmente, según los requerimientos del proyecto.

En esta gráfica también pueden ser representados los valores de variación de costes y cronograma, además de los pronósticos y presupuestos de los costes finales del proyecto, tal como se muestra en la Figura 1 .

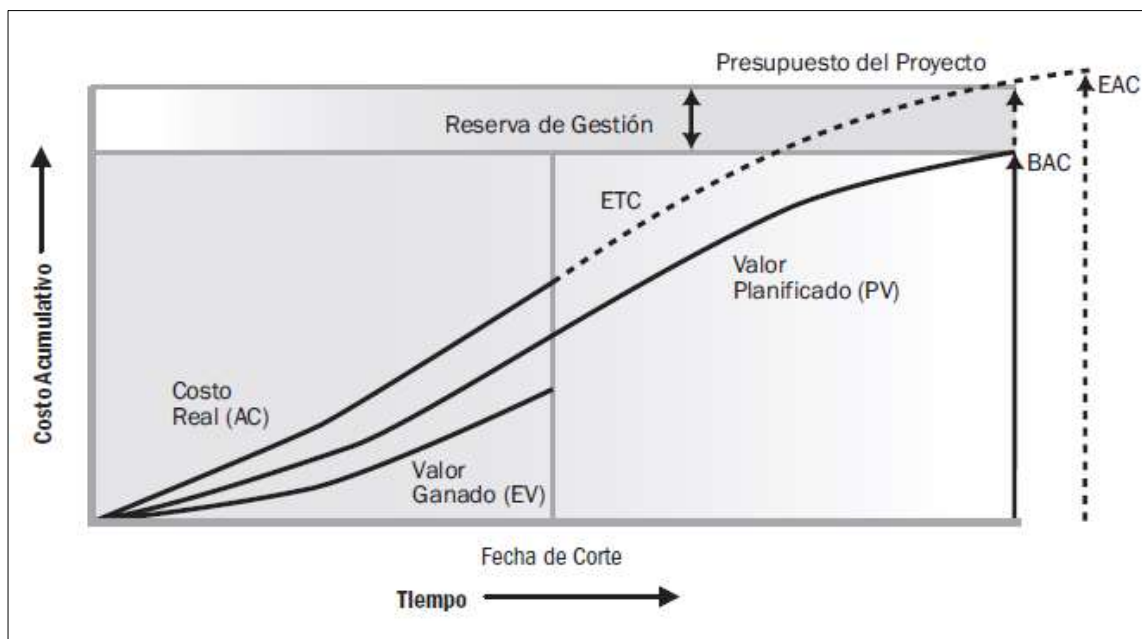


Figura 1 Valor Ganado, Valor Planificado y Costes Reales (PMI, 2017).

i) Estimación a la conclusión (EAC).

Las estimaciones a la conclusión son los costes pronosticados al finalizar el proyecto. La EAC es comúnmente una evaluación periódica del estado del proyecto, que también puede realizarse cuando existan cambios sustanciales en el proyecto.

Este parámetro pretende responder la pregunta ¿Cuánto esperamos ahora (punto de control) que nos cueste el trabajo total? (Kerzner, 2009). En consecuencia, los cálculos de EAC a lo largo del ciclo de vida del proyecto entregan al equipo del proyecto o director del proyecto información esencial para la tomar acciones preventivas rápidas, y así, de forma oportuna, ayudar a completar los trabajos dentro del

presupuesto aprobado al finalizar (BAC) (Narbaev & De Marco, 2014a). En consecuencia, en caso de que las EAC superen los límites establecidos para el BAC, el proyecto podría hasta ser cancelado.

Normalmente para los cálculos de EAC hay que basarse en datos de costes ya incurridos más una estimación hasta la conclusión (ETC)¹⁸ de los costes asociados al trabajo faltante para completar el proyecto. A lo largo de los años se han realizado una gran cantidad de investigaciones en estas área y las metodologías utilizadas han sido diversas (Cheng, Peng, Wu, & Chen, 2010). Estos estudios abarcan desde metodologías que solo consideran formulas basadas en índices de valor ganado hasta metodologías que intentan predecir los resultados mediante el uso de análisis estadísticos y probabilísticos de datos, incluyendo desde regresiones lineales y no lineales hasta el uso de sistemas de inteligencia artificial.

2.2 ESTUDIO DE MÉTODOS DE CONTROL COSTES.

En este apartado se detallarán los métodos de mayor relevancia y más investigados en el ámbito del control de proyectos y algunos otros un poco más específicos que abordan nuevos enfoques y técnicas complementarias a las establecidas en la metodología del valor ganado.

Para realizar la selección de los métodos, primero fue necesario recopilar, revisar y analizar información de varios artículos y libros referidos al tema de control de proyectos (ver Tabla 1). La recolección de información se basó principalmente en la búsqueda mediante la web Google Académico y el buscador en línea de la Universidad Politécnica de Valencia con palabras claves (en español y su traducción al inglés) como: control de proyectos, valor ganado, gestión, EVM, pronóstico, estimación, costes en otros con sus distintas combinaciones. De este proceso se obtuvieron diferentes fuentes bibliográficas, como libros, artículos y conferencias.

Una vez recopiladas las fuentes bibliográficas se debió revisar y filtrar los artículos que tuvieran relación directa con el control de costes en proyectos. Dentro del proceso de revisión de artículos fue fundamental la publicación de Willems & Vanhoucke (2015), debido a que esta realiza una clasificación de los artículos de control de proyectos y valor ganado, por lo que propone un filtro para establecer la importancia de los artículos y una serie de clasificaciones de las distintas publicaciones. Las clasificaciones propuestas son según los siguientes criterios: problema, contribución, metodología, análisis, validación y aplicación.

¹⁸ ETC: Estimate to complete.

Fuente Bibliográfica	Métodos referenciados ¹⁹²⁰
A new approach for project control under uncertainty. Going back to the basics (Acebes, Pajares, Galán, & López-Paredes, 2014)	ES; SPI; CPI; Curvas límites; CPI/SPI con control de riesgos; Enfoque Difuso; Límites de Confianza
Monitoring project duration and cost in a construction project by applying statistical quality control charts (Aliverdi, Moslemi Naeni, & Salehipour, 2013)	CPI; SPI; Curvas límites; Límites de confianza; Enfoque difuso.
Applications and extensions of the earned value análisis method (F. T. Anbari, 2001)	CR; SPI; CPI.
Probabilistic Control of Project Performance Using Control Limit Curves (Barraza & Bueno, 2007)	Curvas Límites.
Improving project forecast accuracy by integrating earned value management with exponential smoothing and reference class forecasting (Batselier & Vanhoucke, 2017)	CPI; SPI; CI; ES; Suavizamiento exponencial.
Conditions of success for earned value analysis in projects (Bryde, Unterhitzberger, & Joby, 2018)	CPI; SPI; Inferencia Bayesiana; ES-Gompertz.
Defining cost-schedule performance indices and their ranges for design projects (Chang, 2011)	CPI; SPI.
Estimating Project S-Curves Using Polynomial Function and Neural Networks (Chao & Chien, 2009)	Redes Neuronales;
Integration of cost and schedule using extensive matrix method and spreadsheets (Chen, 2008)	Índices con matrices
Estimate at completion for construction projects using evolutionary support vector machine inference model (Cheng et al., 2010)	Máquinas de soporte Vectorial; CPI; SPI.
Artificial intelligence approaches to achieve strategic control over project cash flows (Cheng, Tsai, & Liu, 2009)	Curvas límites; Enfoque difuso; Redes Neuronales; Algoritmo genético.
Value cost management report to evaluate the contractor's estimate (Christensen, 1999)	CR; ES; SPI; CI; CPI.

¹⁹ Abreviaciones y métodos mencionados serán explicados en los apartados 162.2.1, 2.2.2 y 2.2.3.

²⁰ Además de los nombrados existen otros métodos propuestos que debido al alcance del presente estudio han quedado fuera de este análisis.

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.

A Review of Estimate at Completion Research (Christensen, Antolini, & McKinney, 1995)	CR; ES; Clásico; SPI; CI; CPI.
Completing projects according to plans: An earned-value improvement index (Cioffi, 2006)	Índice de relación de esfuerzo; CPI; SPI.
Earned Value-Based Performance Monitoring of Facility Construction Projects (De Marco & Narbaev, 2013)	CPI; SPI; ES.
Earned Value – Project Management (Fleming & Koppelman, 2010)	Clásico; CPI; CR.
A review of analytical models, approaches and decision support tools in project monitoring and control (Hazir, 2015)	Límites de confianza; ES – Gompertz; Enfoque Bayesiano; CPI/SPI con control de riesgos; Índice de rendimiento.
Extensions of earned value management: Using the earned incentive metric to improve signal quality (Kerkhove & Vanhoucke, 2017)	CPI; SPI; ES; Índice de relación de esfuerzo; Enfoque difuso;
Project Management (Kerzner, 2009)	Clásico, CPI.
Connecting Earned Value to the Schedule (Lipke, 2005)	CR; ES; Clásico; SPI; CI; CPI.
Prediction of project outcome. The application of statistical methods to earned value management and earned schedule performance indexes (Lipke, Zwikael, Henderson, & Anbari, 2009)	ES; CPI; Límites de confianza
A fuzzy approach for the earned value management (Naeni, Shadrokh, & Salehipour, 2011)	Enfoque Difuso; CPI; SPI; ES; Límites de confianza.
An Earned Schedule-based regression model to improve cost estimate at completion (Narbaev & De Marco, 2014a)	ES-Gompertz; ES; CPI; SPI; Enfoque Bayesiano; Límites de confianza; CPI/SPI con control de riesgos; enfoque difuso.
Earned value and cost contingency management: A framework model for risk adjusted cost forecasting (Narbaev & De Marco, 2017)	ES-Gompertz; Inferencia Bayesiana; CPI; CR; SPI; Curvas límites.
Forecasting final budget and duration of highway construction projects (Pewdum, Rujirayanyong, & Sooksatra, 2009)	Redes Neuronales; Análisis Weibull; Enfoque difuso, CI.
Complete fuzzy scheduling and fuzzy earned value management in construction projects(Ponz-Tienda, Pellicer,	CPI; SPI; Enfoque Difuso.

& Yepes, 2012)	
Analisis of forescating methods from the point of view or early warning concept in project management (Popescu, 2017)	CR; ES; SPI; CI; CPI; Enfoque Bayesiano.
Practice Estándar for Earned Value Management (Project Management Institute, 2005)	CR; ES; Clásico; SPI; CI; CPI.
A comparison of different project duration forecasting methods using eaned value metrics (Vandevoorde & Vanhoucke, 2006)	CR; ES; Clásico; SPI; CI; CPI.
Support Vector Machine Regression for project control forecasting (Wauters & Vanhoucke, 2014)	Máquinas de soporte vectorial; ES.

Tabla 1 Métodos de control en fuentes bibliográficas.

Para la clasificación utilizada en este informe se consideró el tipo de análisis de los datos utilizados por los distintos métodos. Estableciéndose una clasificación de métodos basados en análisis deterministas, estadísticos probabilísticos e inteligencia artificial (ver Figura 2 Clasificación de Métodos de Control de CostesFigura 2). A partir de esta clasificación el estudio de fuentes bibliográficas fue dividiéndose para la posterior explicación de cada método.

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.

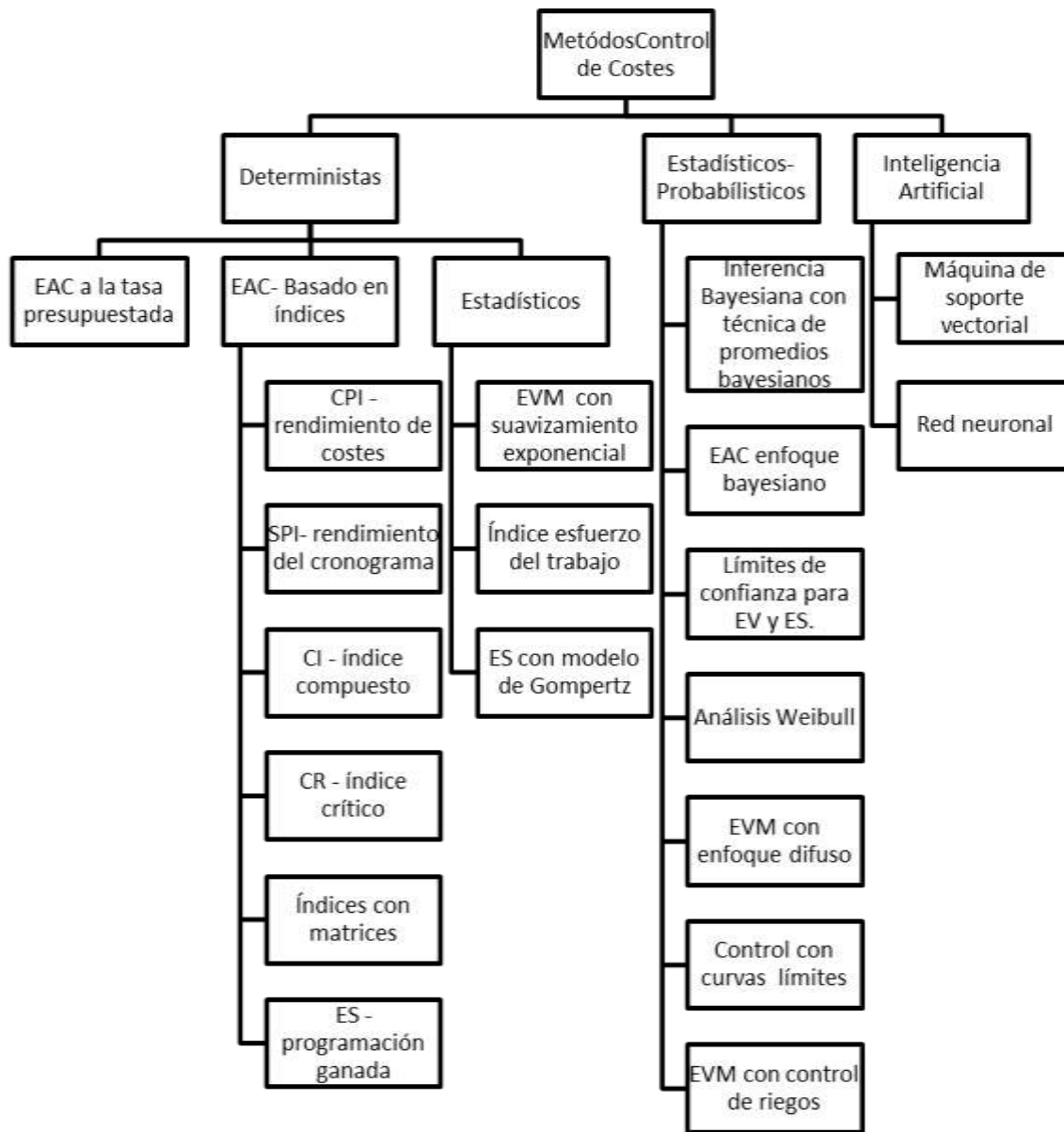


Figura 2 Clasificación de Métodos de Control de Costes

2.2.1 Métodos Deterministas.

Por definición un método determinista se establece como aquellos métodos o modelos donde los resultados dependen exclusivamente de los datos de entradas, es decir, a los mismos datos de entradas se obtendrán los mismos resultados. Esta definición considera además que un método determinista no contempla la incertidumbre dentro de su proceso de cálculo. El método del valor ganado por sí sólo posee un origen determinista. Debido a que sus resultados se basan únicamente en las variables de los trabajos ejecutados en el proyecto, dejando de lado cualquier tipo de eventualidad ajena ellos para la obtención de resultados.

Considerando lo anterior, en los siguientes apartados se describen y explican los métodos basados exclusivamente a partir de las variables del valor ganado y otros métodos que adicionan factores estadísticos a estas variables.

2.2.1.1 Método estimación a la conclusión a la tasa presupuestada (Método Clásico)

La forma más básica de obtener un valor de costes estimados a la conclusión se expresa como el costo real (AC) más el presupuesto total inicial (BAC) y menos el valor ganado (EV) a la fecha de control (Ec. 1). Que, explicado de otra manera, es el costo real incurrido a la fecha más el trabajo restante al costo presupuestado. Otra interpretación es que los trabajos restantes se ejecutarán de acuerdo al rendimiento de costes presupuestados en la etapa de planificación.

$$EAC_1 := AC + BAC - EV \quad \text{Ec. 1}$$

A pesar de lo básico de este cálculo, es una manera simple de saber cuándo un proyecto comienza a tener problemas de costes. De acuerdo a lo señalado (Fleming & Koppelman, 2010) un proyecto raramente se recupera una vez que se ha desviado de la línea base de manera temprana, por lo que este método constituye el mejor escenario en el rango de posibles costes finales del proyecto.

2.2.1.2 Métodos basados en índices.

El EVM originalmente ha basado sus predicciones de costes y tiempo al final del proyecto en índices de rendimiento de tiempo y costo, que a su vez son obtenidos a partir de los datos de Valor Ganado (EV), Valor Planificado (PV) y Costo Real (AC). Sin embargo, en la actualidad se han investigado y desarrollado diversas fórmulas y extensiones del cálculo de los índices de rendimientos, esto a raíz principalmente del interés generado por la cancelación del proyecto del avión A-12 de la armada EE.UU. (Lipke, 2004).

La metodología del valor ganado tradicional fue establecida por el departamento de defensa de EE.UU., incluyéndose las tres variables principales (EV, PV, AC) y dos índices de rendimiento (SPI, CPI) para el control de proyectos.

El índice de rendimiento de costes CPI permite comparar el valor del trabajo realizado con el costo real gastado. El CPI se expresa como la razón del valor ganado por el costo real (Ec. 2), siendo una

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.

medida fácil de obtener para establecer la eficiencia de costes de los trabajos realizados. Si el CPI es menor a 1, significa que el proyecto se encuentra con sobrecostos respecto a lo planificado para el trabajo realizado y si es mayor a 1, indica que los trabajos realizados han generado menores costes que los planificados.

$$\text{CPI} := \frac{\text{EV}}{\text{AC}} \quad \text{Ec. 2}$$

Por otro lado, el índice de rendimiento del cronograma (SPI) permite comparar el cumplimiento de avance de la programación mediante la razón del valor ganado por el costo planificado (Ec. 3). Si el valor de SPI es menor a 1, esto significa que el trabajo se está realizando con retrasos, por el contrario, si SPI es mayor a 1, indica que las tareas se están realizando con antelación a lo planificado.

$$\text{SPI} := \frac{\text{EV}}{\text{PV}} \quad \text{Ec. 3}$$

A continuación, se detallan los métodos de predicción, basado en índices de rendimiento de valor ganado, que han tenido gran popularidad y han sido estudiados con mayor énfasis por diversos autores.

a) Estimación a la conclusión – CPI.

A partir del índice de CPI el equipo o director de proyecto puede realizar los pronósticos de estimación a la conclusión EAC, el cual indicará el costo final del proyecto de acuerdo con el índice calculado hasta el momento (Ec. 4), es decir considera que el proyecto se seguirá desempeñando al mismo rendimiento calculado a la fecha. Este índice se puede considerar como el valor acumulado de EV y AC o utilizar los valores del instante de evaluado.

$$\text{EAC}_2 := \text{AC} + \frac{(\text{BAC} - \text{EV})}{\text{CPI}} \quad \text{Ec. 4}$$

Según lo expuesto en varias investigaciones (Christensen, Antolini, & McKinney, 1995; Christensen & Heise, 1993; Lipke, 2005; Lipke, Zwikael, Henderson, & Anbari, 2009) esta fórmula tiende a establecer resultados razonablemente más bajos para los costes finales del proyecto y que el valor de CPI se estabiliza a partir del 20% de avance del proyecto, no habiendo variaciones mayores a 0,1 con el CPI final. Para Fleming & Koppelman (2010) este método “es una técnica vital para usar en todos los proyectos de valor ganado”.

De forma independiente, mediante este método es posible obtener un pronóstico del tiempo que durará el proyecto. Esto calculado a partir de la división de la duración inicial por SPI (Ec. 5).

$$\text{DFC} := \frac{\text{DI}}{\text{SPI}} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde,

DFC: es la duración estimada a la conclusión si el proyecto mantiene el rendimiento de tiempo a la fecha.

DI: es la duración inicial calculada para todo el proyecto.

b) Estimación a la conclusión – SPI.

Una alternativa de cálculo de EAC considerada en menor medida, es el pronóstico de los costes finales teniendo en cuenta únicamente el índice de rendimiento del cronograma a la fecha. Esto implica que la estimación de costo va directamente ligado a los desvíos de la duración de las tareas y no considera el rendimiento de los costes (CPI).

De manera análoga a la ecuación de EAC del CPI, el cálculo de la estimación a la conclusión en función del SPI se expresa de la siguiente forma:

$$EAC_3 := AC + \frac{(BAC - EV)}{SPI} \quad \text{Ec. 6}$$

La utilización de esta fórmula es recomendada en aquellos proyectos donde la influencia de la duración de tareas sobre los costes totales es preponderante, es decir, donde el costo de las tareas depende exclusivamente de cuanto se extienda el trabajo de los recursos.

c) Estimación a la conclusión – Índice Crítico.

Esta extensión del cálculo de la EAC, presentada por primera vez por F. T. Anbari (2001), se obtiene al combinar los índices de rendimiento de cronograma (SPI) e índice de rendimientos de costes (CPI) mediante su producto, valor conocido como índice crítico (CR)²¹ (Ec. 7). La utilización de CR en EAC implica que el pronóstico de los costes al final del proyecto se ve influenciado de igual manera por el CPI como el SPI obtenidos a la fecha.

$$CR := CPI \cdot SPI \quad \text{Ec. 7}$$

$$EAC_4 := AC + \frac{(BAC - EV)}{CR} \quad \text{Ec. 8}$$

Además, el índice CR puede ser utilizado independientemente como métrica de alcance de objetivos, ya que un valor de CR igual a 1 o cercano a 1 indicaría que los objetivos se están logrando. Esto debido a que si uno de los índices señala un mal desempeño, el otro debe tener un desempeño superior para así compensar el alcance de los objetivos (F. T. Anbari, 2003).

²¹ CR: Critical Ratio

d) Estimación a la conclusión – Índice Compuesto.

Otra forma de incluir los índices CPI y SPI en el cálculo de EAC se obtiene a partir de la suma de cada uno de los índices multiplicados por un respectivo peso, que se define según sea la importancia de los índices para cada proyecto. Este índice tiene se conoce como índice compuesto (CI)²² y su fórmula se expresa:

$$CI := W_{t1} \cdot SPI + W_{t2} \cdot CPI \quad \text{Ec. 9}$$

Donde,

W_{t1} , W_{t2} son valores de los pesos de cada índice que van desde 0 a 1 y sumando entre ambos 1. Al igual que las formas anteriores, para el caso de la EAC en función de CI se expresa matemáticamente como:

$$EAC_5 := AC + \frac{(BAC - EV)}{CI} \quad \text{Ec. 10}$$

Las proporciones con mayor uso, y en las cuales los estudios han tenido mayor enfoque (Christensen, 1999; Christensen et al., 1995; De Marco & Narbaev, 2013), son 0.8 para el CPI y 0.2 SPI. Sin embargo, la definición de los pesos queda a juicio del director de proyecto, quién debe indicar qué índice tiene mayor influencia, según su experiencia o información de proyectos similares anteriores.

e) Método de la programación ganada (ES)²³.

A pesar de no ser directamente un método de control de costes, la técnica de la programación ganada (ES) es importante debido que su aplicación permite obtener valores más exactos de SPI y SV. La ES es un método que nace como solución a los problemas EVM respecto a la inestabilidad que presentan SV y SPI al acercarse a las tareas finales del proyecto, donde su tendencia cambia y finalmente sus valores se hacen 0 y 1 respectivamente al final del proyecto (Lipke, 2003).

El método ES es una técnica basada en la curva de la S, pero que a diferencia de EVM no utiliza variables de costo para la obtención de SV y SPI, sino que propone dos nuevas variables de tiempo para su cálculo. Estas variables corresponden al tiempo actual (AT)²⁴ y a la programación ganada (ES).

ES se obtiene al comparar el valor ganado EV con costo planificado PV, específicamente se determina proyectando el EV en una cierta fecha de control (AT) a la curva de PV, esta proyección determina cuando deberían haberse realizado los trabajos según la planificación inicial.

$$ES := C + \frac{(EV - PV_t)}{(PV_{t1} - PV_t)} \quad \text{Ec. 11}$$

²² CI: Composite Index.

²³ ES: Earned Schedule.

²⁴ AT: Actual Time.

Donde,

C corresponde al número de incrementos de tiempo ejecutados por completo hasta el tiempo actual (ej. días, meses, trimestre).

En consecuencia, la variación del cronograma SV en función del tiempo es la diferencia entre la programación ganada menos el tiempo actual (Ec. 12) y de manera análoga SPI es la razón entre ES por AT (Ec. 13).

$$SV(t) := AT - ES \tag{Ec. 12}$$

$$SPI(t) := \frac{AT}{ES} \tag{Ec. 13}$$

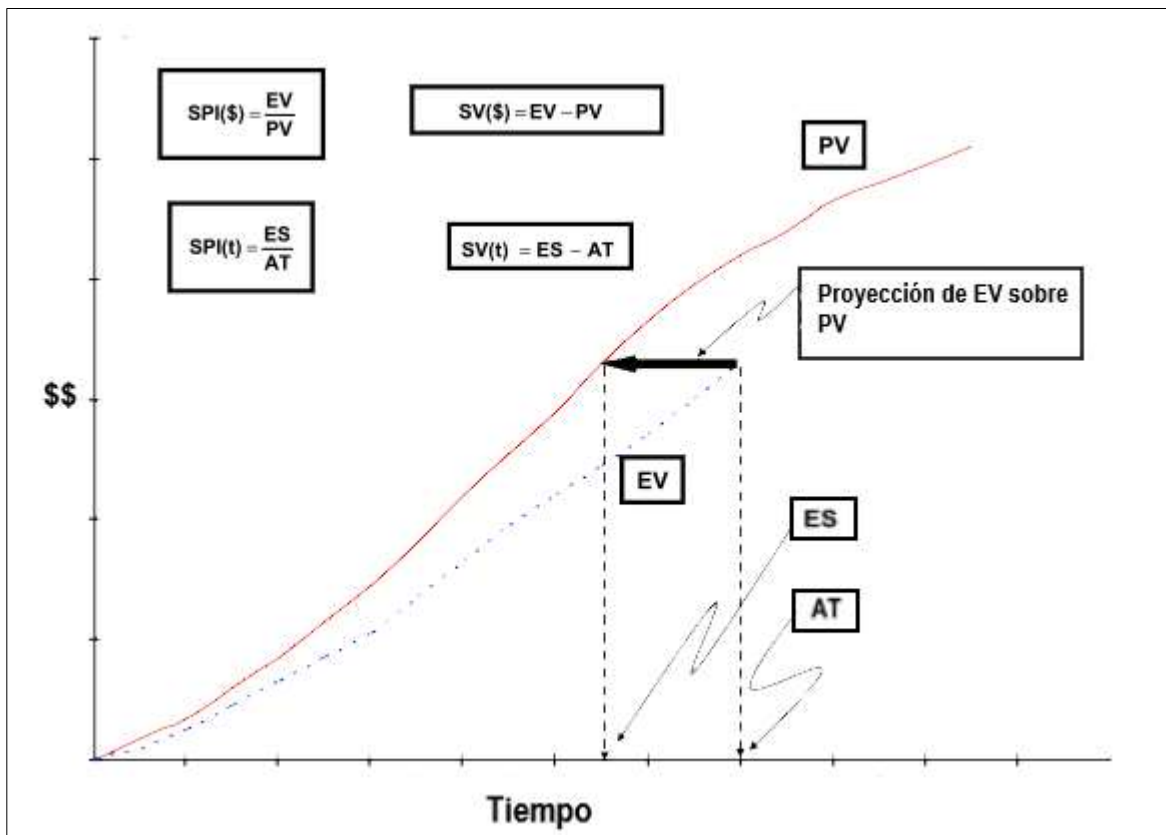


Figura 3 Concepto de la programación ganada (Lipke, 2003)

f) Método cálculo de índices mediante matrices. (Chen, 2008)

Antes de explicar el método propiamente tal, primero se deben identificar algunas matrices básicas derivadas de los datos de planificación del proyecto.

La primera matriz de cantidades Actividades-Recursos, que indica la cantidad de recursos asignados a cada actividad.

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.

$$Q_{w \times r} = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1r} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2r} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ q_{w1} & q_{w2} & \dots & q_{wr} \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde q_{ij} representa la cantidad recursos j asignados a la actividad i y w, r corresponden al número total de actividades y recursos respectivamente.

Para realizar el seguimiento del progreso del trabajo, este método define el “valor del trabajo completado” como las horas de trabajo presupuestadas para el trabajo realizado. Por lo tanto, el porcentaje de finalización en cualquier etapa es la relación entre el valor del trabajo completado hasta la fecha y el valor del trabajo a completar para todo el proyecto. Esto es representado mediante la matriz de relación de progreso actividad-tiempo:

$$P_{w \times t} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1t} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2t} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{w1} & p_{w2} & \dots & p_{wt} \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde p_{ij} es la relación de progreso que tiene la actividad i durante el intervalo de tiempo j .

w y t son el número de actividades e intervalos de tiempo, respectivamente. Para cada actividad, todas las relaciones en diferentes intervalos de tiempo deben sumar hasta 1.

A partir de las matrices bases se pueden obtener otras matrices que integran valores de costo, programación u otra información relevante para el control de proyectos, como las que se describen a continuación:

- Matriz de cantidad de recursos-tiempo: Donde los valores q_{ij} corresponde a la cantidad de recurso i en el intervalo de tiempo j .

$$Q_{rxl} := Q_{wxr} \cdot P_{wxt} \quad \text{Ec. 16}$$

- Matriz de costo de Recursos-Actividad: Que describe el costo de las actividades i , según los recursos asignados j . Esta matriz se obtiene desde las siguientes ecuaciones:

$$U_{rxl} > U_{rxr} \quad \text{Ec. 17}$$

$$C_{wxr} := Q_{wxr} \cdot U_{rxr} \quad \text{Ec. 18}$$

Donde U_{rxr} es la matriz diagonal de los costes unitarios de los recursos.

- Matriz de costo de actividades-tiempo: Que describe el costo de cada actividad por intervalo de tiempo. Matriz que es obtenida a partir de las siguientes ecuaciones:

$$C_{wxl} := Q_{wxr} \cdot U_{rxl} \tag{Ec. 19}$$

$$C_{wxl} > C_{wxw} \tag{Ec. 20}$$

$$C_{wxt} := C_{wxw} \cdot P_{wxt} \tag{Ec. 21}$$

Donde C_{wxl} es el vector de costo por cada actividad y C_{wxw} es su matriz diagonal.

Ya una vez calculadas estas matrices y junto con la recopilación de los datos de progreso reales del proyecto es posible realizar los cálculos de las matrices de PV, EV y AC. Posteriormente realizar el cálculo de índices de valor ganado (CPI, SPI o CR).

$$PV := C_{wxw} \cdot P_{wxt} \quad PV := C_{wxt} \tag{Ec. 22}$$

$$EV := C_{wxw} \cdot AP_{wxt} \tag{Ec. 23}$$

$$AC := AC_{wxw} \cdot AP_{wxt} \tag{Ec. 24}$$

Como se puede observar en Ec. 22, la matriz de valor planificado corresponde a la matriz de costes Actividad-Tiempo, que a su vez fue obtenida desde los valores de planificación de las matrices de costo por actividad y progreso-tiempo. Por otro lado, para las matrices de valor ganado y costo real es necesario recopilar los datos del proyecto actual mediante las matrices relación de progreso de actividad – tiempo real AP_{wxt} y la matriz Coste real de la actividad AC_{wxw} . Esta última a su vez derivada de los datos recopilados mediante el vector de costo real unitario de los recursos AU_{rxl} , calculo análogo al realizado al cálculo de la matriz de costo de actividades-tiempo.

2.2.1.3 Métodos Estadísticos Deterministas.

Como se ha mencionado anteriormente, el control de proyectos mediante EVM se basa en un modelo determinista, especialmente lo referido al cálculo de EAC. Con el objetivo dar mayor exactitud a los pronósticos, los métodos presentados en los siguientes apartados integran los datos obtenidos desde el proyecto con modelos o variables estadísticas. Los modelos propuestos buscan principalmente ajustar los índices o pronósticos a través de nuevas relaciones entre los datos.

a) Integración de EVM con fórmula de suavizamiento exponencial (Batselier & Vanhoucke, 2017)

Tal como se señala en el título del apartado, esta técnica de pronóstico de EAC (tiempo y costo) se basa en la incorporación de las métricas tradicionales de EVM dentro de fórmulas de suavizamiento exponencial. Singularmente, la fórmula básica a utilizar es la siguiente:

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.

$$F_{tk} := L_t + kT_t \quad \text{Ec. 25}$$

Con t referido al tiempo actual, k como la cantidad de períodos sobre los que se desea pronosticar, F_{t+k} es el valor pronosticado, L_t es el valor a largo plazo y T_t es la tendencia por período. Valores que se obtienen con las ecuaciones que se muestran a continuación:

$$L_t := \alpha \cdot y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad \text{Ec. 26}$$

$$T_t := \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad \text{Ec. 27}$$

Donde α y β son constantes de suavizamiento, y_t corresponde al valor en el tiempo actual, que para el caso de las métricas de EVM son los valores de AT y ES para el pronóstico de tiempo, y AC y EV para el pronóstico de costes.

No obstante, en la ecuación de L_t Ec. 26 los valores de los períodos anteriores no pueden ser suavizados por la constante α . Esto debido a que el tiempo ha transcurrido y los costes han sido gastados, no pudiendo modificar estos valores. Por lo tanto, el valor de α se considera igual a 1.

Puesto que el procedimiento de obtención de EAC de tiempo y costo son paralelos y similares, los cálculos que se describen a continuación serán sólo detallados para los valores relativos al cálculo EAC de costes del EVM. Para el caso del pronóstico de EAC para el tiempo, se deben cambiar los valores de EV por ES y AC por AT.

A continuación, se realizan los reemplazos de las métricas de EVM en las ecuaciones Ec. 26 y Ec. 27 para la obtención del EAC de costo, en las cuales se diferencian dos situaciones. Primero, la situación real con los gastos reales incurridos en el proyecto:

$$EAC_{\phi} := AC_t + k \cdot T_{t.AC} \quad \text{Ec. 28}$$

$$T_{t.AC} := \beta(AC_t - AC_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1.AC} \quad \text{Ec. 29}$$

Y segundo, la situación con los costes previstos de acuerdo con la línea base:

$$BAC := EV_t + kT_{t.EV} \quad \text{Ec. 30}$$

$$T_{t.EV} := \beta(EV_t - EV_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1.EV} \quad \text{Ec. 31}$$

Donde,

$$T_{0.AC} := \frac{BAC}{N} \tag{Ec. 32}$$

$$T_{0.EV} := \frac{BAC}{N} \tag{Ec. 33}$$

Siendo N el número de períodos en los cuales se realizará el seguimiento.

Para establecer EAC (Ec. 28), primero se requiere una estimación basada en los costes del número esperado de los próximos períodos de seguimiento k. Por lo tanto, desde Ec. 30 se despeja el valor k:

$$k := \frac{BAC - EV_t}{T_{t.EV}} \tag{Ec. 34}$$

Al sustituir esta expresión de k en la ecuación de EAC, se obtiene que:

$$EAC_{0.} := AC_t + \frac{BAC - EV}{\frac{T_{t.EV}}{T_{t.AC}}} \tag{Ec. 35}$$

En esta última ecuación podemos observar que el factor de rendimiento CPI del método tradicional de EVM, para este caso se puede expresar como:

$$PF := \frac{T_{t.EV}}{T_{t.AC}} \tag{Ec. 36}$$

Finalmente, sólo queda definir el valor β , el cual dependerá de cuanta influencia se le dará al valor de rendimiento respecto al rendimiento futuro del proyecto. Este valor puede ir desde 0 a 1, incluyendo cualquier valor intermedio. En el caso de que $\beta=0$ significa que es trabajo restante del proyecto se realizará de acuerdo con el plan. Por el contrario, si el valor $\beta=1$ significa que el trabajo restante seguirá el rendimiento establecido en el último período de control.

Si bien el valor β , en el párrafo anterior, se puede entender que se establece antes de comenzar el proyecto, no obstante, los autores (Batselier & Vanhoucke, 2017) aclaran que este valor puede subdividirse por la cantidad total de períodos a evaluar, es decir, $1/t$ o dar mayor prioridad a los factores de rendimiento obtenidos en ciertas fases del proyecto.

b) Índice de relación de esfuerzo del trabajo restante (Cioffi, 2006).

En este estudio se presenta una técnica de cómo calcular un nuevo índice de productividad, en términos del rendimiento promedio del valor ganado durante la primera parte de un proyecto. Para ello muestra

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.

cómo la nueva tasa de productividad depende de la fracción de tareas completadas. Incluyendo el cálculo de un índice que muestra la relación de esfuerzo requerido en el trabajo restante.

Para comenzar a explicar este método primero se definen factores de costo y tiempo (Ec. 37), que simplemente son la inversa de los índices de CPI y SPI, respectivamente.

$$F_i := \frac{C_i}{C_b} \quad \text{Ec. 37}$$

Donde F_i es la forma general de expresar ambos factores (costo y tiempo).

Para realizar el cálculo de los factores acumulados, se propone establecer un cálculo basado en valores continuos, en vez de utilizar la sumatoria de valores discretos de cada factor por un valor de peso correspondiente. Esta expresión de rendimiento para todo el proyecto toma la siguiente forma:

$$F_i := \int_0^{xn} F_i(x) dx + \int_{xn}^1 F_i(x) dx \quad \text{Ec. 38}$$

Donde,

x , representa el momento de evaluación y representando x_n la fracción de tareas completadas (N) respecto al total de tareas del proyecto (M). Por lo que x es igual a 1 al final del proyecto.

Sin embargo, como para los efectos de cálculo no es necesario conocer el valor del factor en un determinado instante, sino el valor promedio en cualquier intervalo, y ese promedio es por definición constante en el intervalo de interés. Esta constancia libera el factor medio de los límites de la integral y conduce a la siguiente definición general del factor de rendimiento:

$$F_i := x_n \cdot F_i(xn) + (1 - x_n) \cdot F_i(1 - xn) \quad \text{Ec. 39}$$

Ahora cuando se calcula sobre todas las tareas del proyecto se busca que F_i sea igual a 1. Esta condición conduce a una expresión para el factor de rendimiento promedio durante la segunda parte de un proyecto en términos de lo logrado inicialmente:

$$F_i(1 - x_n) = \frac{1 - x_n \cdot F_i(xn)}{1 - xn} \quad \text{Ec. 40}$$

Si bien esta expresión representa el rendimiento a futuro, no necesariamente expresa la eficacia requerida en la parte no completada. De ahí que se propone la relación inversa de los índices de rendimiento para establecer este índice de mejora, donde un valor mayor que uno indica un rendimiento mejor que el realizado en las primeras N tareas.

$$\Xi := \frac{F_i(x_n)}{F_i(1-x_n)} = \frac{(1-x_n) \cdot F_i(x_n)}{1-x_n \cdot F_i(x_n)} \quad \text{Ec. 41}$$

Además, esta ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$\Xi := \frac{1-x_n}{x_n} \frac{z}{1-z} \quad \text{Ec. 42}$$

Donde z equivale a la contribución de los esfuerzos iniciales a la medida del rendimiento total.

A partir de estas expresiones deriva el valor de recuperación estricta, que se define como la capacidad de alcanzar el costo o cronograma planificados; que no puede ocurrir más allá de $x = x_s$.

$$z < 1 \quad \rightarrow \quad x_n < \frac{1}{F_i(x_n)} = x_{.s} \quad \text{Ec. 43}$$

En términos de los índices de rendimiento habituales (definidos como $1/F_i$), esta condición establece que para que la fracción de las tareas completadas debe ser inferior al índice estándar para que sea posible la recuperación. Como z tiende a 1 el índice de mejora va hasta el infinito y la recuperación es estrictamente imposible.

Considerando la derivada de la función del índice de rendimiento como la velocidad con que cambia el índice de rendimiento. Cuando esta es igual a 1 establece un "límite de recuperación probable" que se produce cuando x_n es igual a:

$$x_p := \frac{1}{F_i(x_n)} \cdot \left[1 - \sqrt{F_i(x_n)(F_i(x_n) - 1)} \right] \quad \text{Ec. 44}$$

c) Combinación de programación ganada ES y modelo de crecimiento Gompertz (Narbaev & De Marco, 2014a)

Los autores de este método proponen una manera de calcular el pronóstico de costo final del proyecto a través de la combinación del Modelo de Crecimiento Gompertz (GGM²⁵) y las fórmulas clásicas basadas en índices, integrando a la vez un factor de ES, que permite incluir los costes asociados a la duración del proyecto.

La ecuación del modelo Gompertz tiene la siguiente composición:

$$\text{GGM}(x) := \alpha \cdot e^{\left[-e^{(\beta-\gamma \cdot x)} \right]} \quad \text{Ec. 45}$$

Donde,

²⁵ GGM: Gompertz Growth Model

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.

α es el valor futuro de la asíntota del modelo que representa el costo final cuando el tiempo (x) tiende al infinito.

β corresponde a la intercepción eje y, indicando un tamaño de presupuesto inicial.

γ es un parámetro de escala que rige la tasa de crecimiento de costes.

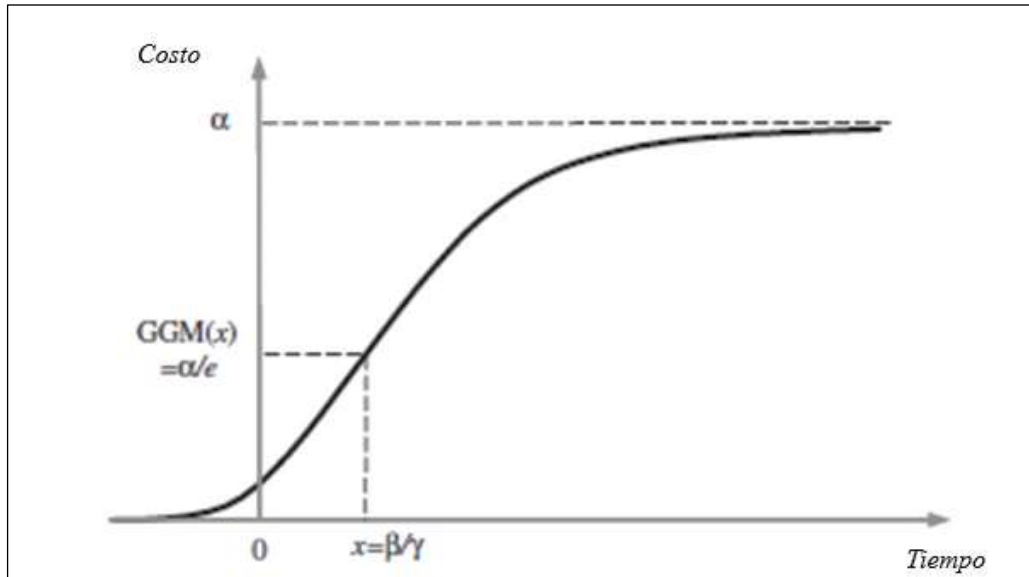


Figura 4 Curva de la S del modelo de crecimiento Gompertz (Narbaev & De Marco, 2014a)

Para obtener los parámetros α , β , y γ , primero se debe realizar una normalización de los datos de tiempo (unidad de tiempo) acumulado y costes (AC o PV). Para la normalización de tiempo el valor final de 1.00 corresponde a la duración total del proyecto. Por otro lado, para la normalización de los datos de costes el valor final 1.00 corresponde al presupuesto inicial total (BAC) y los datos de normalización se obtienen con los datos de AC, hasta la fecha de control y con los datos de PV para después de la fecha de control. La regresión debe realizarse considerando que el tiempo corresponde a la variable x, y los costes son los resultados de la función GGM(x).

Una vez obtenido los parámetros de GGM se debe calcular el EAC mediante la siguiente fórmula propuesta:

$$EAC(x) := AC(x) + (GGM(1.00) - GGM(x)) \cdot BAC \quad \text{Ec. 46}$$

Finalmente, para obtener la EAC definitiva se modifica la Ec. 46. integrando el pronóstico del progreso del trabajo del método de la ES. Esta modificación consiste en reemplazar el $x=1.00$ por $CF(x)$ en GGM. El valor de 1.00 que asumía que el proyecto termina en el tiempo planificado. En cambio, el valor $CF(x)$ corresponde a la relación de la duración estimada al finalizar (mediante ES) y la duración planificada.

$$EAC(x) := AC(x) + (GGM(CF(x)) - GGM(x)) \cdot BAC \quad \text{Ec. 47}$$

2.2.2 Métodos Estadísticos-Probabilísticos.

El uso del enfoque probabilístico en el control de proyectos surge como alternativa para resolver la problemática de la incertidumbre intrínseca de los proyectos. El enfoque probabilístico aplicado al control de proyecto permite integrar variables externas a los datos del proyecto, como lo pueden ser, datos de riegos, juicio de expertos, simulaciones de proyectos similares, entre otros. Los métodos presentados en este informe abarcan principalmente la incertidumbre a partir de modelos o procesos estocásticos o mediante la lógica difusa. Donde el método estocástico aborda la incertidumbre desde el punto de vista de la aleatoriedad de las variables, mientras que los métodos difusos se enfocan en la vaguedad o ambigüedad de los datos.

a) Combinación de Inferencia Bayesiana y una técnica de promedios de Modelos Bayesianos (Kim & Reinschmidt, 2011).

Este método de pronóstico utiliza una combinación de inferencia bayesiana y una técnica de promedio de modelos bayesianos. Mediante la utilización de la inferencia bayesiana se puede cuantificar la incertidumbre en términos de distribuciones de probabilidad, permitiendo incorporar información subjetiva basada en intuición, experiencia o juicios junto a datos observados. Por su parte el método de los promedios de modelos bayesianos (BMA²⁶) proporciona una distribución de diferentes modelos ponderados, según el modelo de probabilidades posterior, condicionado a los datos observados.

La ecuación fundamental de la Inferencia Bayesiana se expresa como se detalla a continuación:

$$p(\theta|D) = p(\theta)p(D|\theta)/p(D) \quad \text{Ec. 48}$$

La ecuación fundamental consta de cuatro términos que se describen a continuación:

$p(\theta)$ es la distribución previa de los parámetros de interés (θ).

$p(D|\theta)$ es la probabilidad condicional de que resultados particulares D (nuevos datos) podrían ser observados, dado los parámetros θ .

$p(D)$ es la distribución marginal de los observables D.

$p(\theta|D)$ es la distribución posterior de los parámetros θ dado los resultados D observados.

La ecuación de inferencia bayesiana es adaptada al control de costes considerando los datos de control del progreso entregados por el EVM, como AC, EV y BAC. Para ello, se establece que el porcentaje de trabajo completado está representado por EV/BAC y que el costo real acumulado, generalmente no es descrito por una pendiente lineal, sino que tiene fluctuaciones. Por lo tanto, el modelo de progresos de costes propuestos busca obtener una distribución de probabilidad de un indicador de rendimiento de costes.

²⁶ BMA: Bayesian Model Averaging

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.

Sin embargo, asumiendo que los datos de progreso real se ajustan a un modelo lineal, la pendiente β del modelo se puede obtener a partir de:

$$\beta(t) = \frac{AC(t)}{\%C(t)} = \frac{AC(t)}{EV(t)/BAC} = \frac{AC(t)}{EV(t)} BAC = \frac{BAC}{CPI(t)} \quad \text{Ec. 49}$$

Por lo que el EAC para este modelo sería equivalente a β . Como este método busca obtener una distribución posterior de EAC condicionada a los datos observados D, la función quedaría expresada de la siguiente forma:

$$p(EAC|D) = p(\beta|D) = p(\beta)p(D|\beta)/p(D) \quad \text{Ec. 50}$$

Desarrollando los nuevos términos del modelo, el primer término $p(\beta)$ puede ser obtenido a partir de diversos recursos por medio de métodos probabilísticos o modelos de regresión basado en datos históricos.

Los datos D corresponderán al porcentaje de trabajo completado %C (EV/BAC) y el costo real AC, obtenidos en períodos de tiempo determinados hasta la fecha de control. Por consiguiente, $p(D|\beta)$ es calculado en base a las desviaciones entre los costes reales y los estimados mediante el parámetro β . La desviación es modelada como un error aleatorio con la media y las desviaciones estándar. Por lo tanto, la probabilidad $p(D|\beta)$ se puede obtener a partir del producto de cada uno de los datos observados:

$$p(D|\beta) = \prod_{i=1}^N p(\%C, AC|\beta) = \prod_{i=1}^N \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \right) e^{(-0.5 * \left(\frac{\%C * \beta - AC_i}{\sigma} \right)^2)} \quad \text{Ec. 51}$$

Finalmente, el cálculo de $p(D)$ viene dado por la siguiente expresión:

$$p(D) := \int p(D, \beta) d\beta \quad \text{Ec. 52}$$

Donde $p(D, \beta)$ es la probabilidad de distribución conjunta de los datos D y el parámetro β

$$p(D, \beta) := p(D|\beta)p(\beta) \quad \text{Ec. 53}$$

b) Enfoque Bayesiano en el cálculo de EAC (Caron, Ruggeri, & Merli, 2013).

El modelo Bayesiano utilizado en este método se desarrolla desde la base de dos supuestos fundamentales. El primero establece que los índices CPI y SPI son independientes y segundo es que sus valores periódicos describen una distribución normal logarítmica.

La primera fase en la modelación es el análisis de datos y la transformación logarítmica de los índices. Al igual como se describió en el apartado anterior, el modelo Bayesiano se basa en la ecuación fundamental

(Ec. 48Ec. 54), la cual incluye la función previa de distribución (PDF), que al definir un índice x , se escribe como:

$$f(x|\mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad \text{Ec. 54}$$

Posteriormente se deben escoger las distribuciones previas para los parámetros μ y σ^2 de la distribución normal logarítmica (Ec. 55, Ec. 56). Con estas distribuciones la función posterior puede ser expresada como se muestra en Ec. 58.

$$f(\mu) \sim N(\theta, \xi^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\xi} e^{-\frac{(\mu-\theta)^2}{2\xi^2}} \quad \text{Ec. 55}$$

$$f(\sigma^2) \sim INVG(\alpha, \beta) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)\sigma^{2(\alpha+1)}} e^{-\frac{\beta}{\sigma^2}} \quad \text{Ec. 56}$$

$$f(\mu) \sim N(\theta, \xi^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\xi} e^{-\frac{(\mu-\theta)^2}{2\xi^2}} \quad \text{Ec. 57}$$

$$f(\mu, \sigma^2|x) \propto \frac{\exp\left[\frac{\sum_{i=1}^n (\ln(x_i) - \mu)^2}{-2\sigma^2}\right]}{[\sigma^2]^{\frac{n}{2}}} \times \exp\left[\frac{(\mu - \theta)^2}{-2\xi^2}\right] \frac{\exp\left[\frac{-\beta}{\sigma^2}\right]}{[\sigma^2]^{\alpha+1}} \quad \text{Ec. 58}$$

La segunda etapa de la modelación es la transformación de los conocimientos de los expertos en una distribución previa. Esta es obtenida a través de la encuesta a los expertos respecto de:

- La mediana del costo final del proyecto.
- La mediana de la duración final del proyecto.
- El rango del nivel de incertidumbre expresado en valores de bajo medio y alto.

Basado en estos valores, debe ser derivada la distribución previa de los índices. Donde los dos primeros valores están relacionados con el parámetro μ y el tercero con el σ .

El interés principal es el logaritmo de los valores μ señalados por los expertos, que contribuyen a las ecuaciones Ec. 59 y Ec. 60 para determinar el valor de los hiperparámetros ξ y θ de distribución previa μ .

$$\theta = \frac{\sum_{k=1}^N \mu_k}{N} \quad \text{Ec. 59}$$

$$\xi = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\mu_k - \theta)^2}{N - 1}} \quad \text{Ec. 60}$$

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.

Los hiperparámetros α y β de distribución σ^2 se han elegido de una manera diferente, utilizando un enfoque cualitativo basado en el nivel de incertidumbre del proyecto evaluado por los expertos. Al dividir el nivel de incertidumbre μ en tres categorías, que corresponden a un rango de 1 a 3, respectivamente, es posible calcular un nivel de μ promedio para la incertidumbre del proyecto. Por ende, es posible determinar el valor posterior de la desviación estándar CPI y SPI.

La última etapa de este método es la obtención de la función de la distribución posterior, como Ec. 58 no puede resolverse directamente. Los autores proponen separa la función en dos partes (Ec. 61 y Ec. 62).

$$f(\mu | \sigma^2, X) \sim N \left(\frac{\left[\xi^2 \cdot \sum_{t=1}^n \ln(x_t) + \sigma^2 \cdot \theta \right]}{\xi^2 + \sigma^2}, \left[\frac{\sigma \cdot \xi}{\sqrt{(\xi^2 + \sigma^2)}} \right]^2 \right) \tag{Ec. 61}$$

$$f(\sigma^2 | \mu, X) \sim INVG \left(\frac{n}{2} + \alpha, \frac{1}{2} \cdot \sum_{t=1}^n (\ln(x_t) - \mu)^2 + \beta \right) \tag{Ec. 62}$$

Debido a que, estas ecuaciones están condicionada a datos y otros parámetros, las ecuaciones son sometidas a un proceso de muestreo mediante muestro Gibbs, un tipo de simulación Marko Chain Montecarlo. Después de algunas iteraciones de la simulación es posible obtener la densidad predictiva posterior de los índices CPI y SPI(t) insertando los valores $l - m$ de μ_j, σ_j obtenidos a través del muestreo Gibbs, en el PDF log-normal (Ec. 63).

$$f(x_k)_{TN+1} \cong \frac{\sum_{m+1}^l \text{LogN}(x_k | \mu_j, \sigma_j^2)}{l - m} \tag{Ec. 63}$$

Donde,

l es el número de iteraciones-

m es el número de valores descartados como un resultado de arranque.

$TN+1$ es el siguiente período considerado.

X_k son los valores de CPI o SPI.

El PDF predictivo posterior debe integrarse a 1; por lo tanto, los valores x_k deben elegirse con mucho cuidado para que la función de paso que se aproxima a la función de densidad esté dada por:

$$\sum_{k=1}^K f(x_k)_{TN+1} \cdot (x_{k+1} - x_k) \cong 1 \tag{Ec. 64}$$

Finalmente, la función de paso se normaliza para alcanzar exactamente el valor unitario en Ec. 64 y se utiliza para calcular el valor central de la distribución, correspondiente a la media de muestra discreta, y los límites superior e inferior, eliminando un área acumulativa del 2,5% de la derecha y la izquierda de la curva, respectivamente.

c) Aplicación de límites de confianza para los pronóstico (Lipke et al., 2009)

La aplicación de este método estadístico busca complementar o mejorar la obtención de pronósticos al final de costes y programación, en particular en este estudio se muestran las ecuaciones enfocadas en los costes. En este caso se utiliza la inclusión de límites superiores e inferiores en los resultados de predicción que aportan confiabilidad a los resultados obtenidos por lo métodos tradicionales.

Los límites de confianza son obtenidos a partir de la base de la siguiente ecuación estadística:

$$CL := \text{Promedic} \pm Z \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{Ec. 65}$$

Donde,

Z es el valor de la distribución normal, el cual dependerá de los niveles de confianza utilizados, que frecuentemente estos límites de confianza son calculados con límites entre 90% al 95%.

σ es la desviación estándar.

n es el número de observaciones realizadas.

Para el objeto de este método, el valor de promedio es calculado como el logaritmo natural del índice acumulado (CPI o SPI) y la desviación estándar se obtiene calculando el logaritmo natural de los valores periódicos, tal como muestra la siguiente ecuación:

$$\sigma := \sqrt{\frac{\sum_n \left(\left(\ln(\text{indice}_{\text{per}}(i)) - \ln(\text{indice}_{\text{acum}}) \right) \right)^2}{(n - 1)}} \tag{Ec. 66}$$

Los métodos estadísticos, por definición, asumen una población de examinación infinita, y por el contrario los proyectos se establecen como una población finita de datos (tienen un comienzo y un fin). Debido a esto, es que es necesario incluir factores de ajuste (AF) en el cálculo de los límites de confianza.

$$AF_c := \sqrt{\frac{(BAC - EV)}{\left(BAC - \frac{EV}{n} \right)}} \tag{Ec. 67}$$

Una vez conocidos estos elementos, se replantea nuevamente la ecuación de los límites de confianza adaptada a los datos de costo y tiempo.

$$CL := \ln(\text{indice}_{\text{acum}}) \pm Z \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \cdot AF \tag{Ec. 68}$$

Al estar los valores índices insertos en logaritmo para el cálculo de EAC, los valores de CL deben ser calculados a través de la exponencial.

$$EAC_6 := \frac{BAC}{e^{(CL_c^-)}} \quad \text{Ec. 69}$$

d) Aplicación de Análisis Weibull de los índices de rendimiento (Nassar, Gunarsson, & Hegab, 2005)

Este método es una aplicación de un enfoque estadístico, llamado análisis Weibull, que evalúa estocásticamente los datos de rendimiento de los proyectos. La función Weibull es una función de distribución de probabilidad, que se expresa generalmente como:

$$f(x) := \begin{cases} \frac{\beta}{\alpha} \cdot \left(\frac{x-L}{\alpha}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left[\frac{(x-L)}{\alpha}\right]^\beta} & \text{if } x \geq L \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{Ec. 70}$$

α : corresponde a un parámetro de escala o extensión de la distribución.

β : es un parámetro de forma, indicando incremento, decrecimiento o constante.

Para poder aplicar la distribución Weibull al control de proyectos, el primer paso es recoger los datos del porcentaje del proyecto completado y el cálculo de C/SPI. Posteriormente, el segundo paso, es ajustar los datos de C/SPI a la función de distribución acumulada de Weibull, que toma la siguiente forma:

$$F(x) := 1 - e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta} \quad \text{para } x > 0 \quad \text{Ec. 71}$$

Para obtener los parámetros α y β , ya antes descrito, se utiliza el método de la clasificación de la mediana, el cual consiste en ordenar los valores de C/SPI en forma ascendente y, a la vez, siendo numerados. La clasificación de la mediana de cada dato es calculada como el número de ranking-0.3 dividido por el número de puestos. Luego, se debe calcular los valores de las siguientes expresiones:

$$X_w = \ln(\ln(1/(1 - (\text{clasificación de la mediana})))) \quad \text{Ec. 72}$$

$$Y_w = \ln(C/SPI) \quad \text{Ec. 73}$$

para ser graficados en el sistema ordenado, donde el eje Y se representa por el primer valor y eje X por el segundo. A partir de estos puntos graficados se realiza una regresión lineal ($y=mx+b$), donde m corresponderá a β y α es determinado por la exponencial de (b/β) .

Finalmente, el tercer y último paso es determinar la probabilidad de obtener el valor de índice deseado (CPI o SPI), según la distribución Weibull.

e) EVM mediante enfoque difuso (Naeni, Shadrokh, & Salehipour, 2011)

La teoría o lógica difusas explica la incertidumbre de aquellos eventos o sistemas, donde la incertidumbre deriva de la vaguedad o confusión más que solo aleatoriedad.

Para aplicar la teoría difusa al control de proyectos mediante el valor ganado, lo primero es aplicar los principios de la teoría difusa en términos lingüísticos siendo convertidos en números difusos.

Posteriormente, para realizar la transformación de los valores de progreso en números difusos se deberá asignar la función pertenencia, que para este caso toma forma de números trapezoidales y triangulares. Función que, en general para números difusos trapezoidales, se expresa de la siguiente forma.

$$\mu_A(x) := \begin{cases} 0 & \leftarrow x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \leftarrow a < x < b \\ 1 & \leftarrow b < x < c \\ \frac{x-c}{d-c} & \leftarrow c < x < d \\ 0 & \leftarrow x > d \end{cases} \quad \text{Ec. 74}$$

Que gráficamente se representa como:

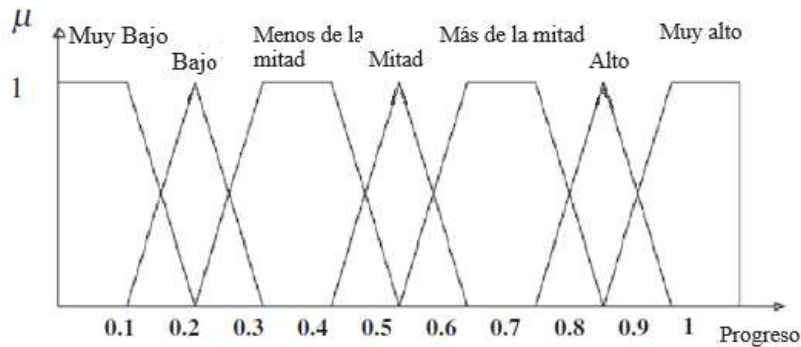


Figura 5 Representación de números difusos (Naeni et al., 2011).

Ya teniendo expresado el porcentaje completado de la cada actividad como número difuso, el EV puede ser expresado como:

$$\widehat{EV}_i = \hat{F}_i \times BAC_i = [E_{1i}, E_{2i}, E_{3i}, E_{4i}] \quad \text{Ec. 75}$$

Donde F, es el porcentaje completado expresado en número difuso trapezoidal.

$$\hat{F}_i = [a_{1i}, a_{2i}, a_{3i}, a_{4i}] \quad \text{Ec. 76}$$

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.

De modo que, para calcular el EV difuso total en cada período de control, se debe sumar todos los EV de las actividades.

$$\begin{aligned} \widetilde{EV} &= \sum_{i=1}^n \widetilde{EV}_i = \left[\sum_{i=1}^n E_{1i}, \sum_{i=1}^n E_{2i}, \sum_{i=1}^n E_{3i}, \sum_{i=1}^n E_{4i} \right] \\ &= [E_1, E_2, E_3, E_4]. \end{aligned} \quad \text{Ec. 77}$$

Una vez obtenidos los valores difusos para el progreso y EV de las actividades, es posible calcular todos los índices y estimaciones relacionadas con el valor ganado (CI, SPI y CR). Sin embargo, para realizar estos cálculos primero es necesario señalar algunas operaciones básicas asociadas para dos números difusos (ver Ec. 78, Ec. 79, Ec. 80, Ec. 81, Ec. 82).

$$\widetilde{m} + \widetilde{n} = [m_1 + n_1, m_2 + n_2, m_3 + n_3, m_4 + n_4] \quad \text{Ec. 78}$$

$$\widetilde{m} - \widetilde{n} = [m_1 - n_4, m_2 - n_3, m_3 - n_2, m_4 - n_1] \quad \text{Ec. 79}$$

$$\widetilde{m} \times \widetilde{n} = [m_1 \times n_1, m_2 \times n_2, m_3 \times n_3, m_4 \times n_4] \quad \text{Ec. 80}$$

$$\frac{\widetilde{m}}{\widetilde{n}} = \left[\frac{m_1}{n_4}, \frac{m_2}{n_3}, \frac{m_3}{n_2}, \frac{m_4}{n_1} \right] \quad \text{Ec. 81}$$

$$\widetilde{m} \times r = [m_1 \times r, m_2 \times r, m_3 \times r, m_4 \times r]. \quad \text{Ec. 82}$$

Por consiguiente, los valores de SPI, CPI y CR, expresados en números difusos, se calculan a partir de las siguientes fórmulas:

$$\widetilde{SPI} = \frac{\widetilde{EV}}{PV} = [E_1/PV, E_2/PV, E_3/PV, E_4/PV] \quad \text{Ec. 83}$$

$$\widetilde{CPI} = \frac{\widetilde{EV}}{AC} = [E_1/AC, E_2/AC, E_3/AC, E_4/AC] \quad \text{Ec. 84}$$

$$\begin{aligned} \widetilde{CR} &= \widetilde{SCI} = \widetilde{SPI} \times \widetilde{CPI} \\ &= [E_1^2/PV \times AC, E_2^2/PV \times AC, E_3^2/PV \times AC, E_4^2/PV \times AC] \end{aligned} \quad \text{Ec. 85}$$

De forma análoga, se pueden obtener los valores EAC y DFC, según la técnica de índices (ver apartados 2.2.1.2 y 2.2.1.2e)) que sea escogida.

Por último, al ser estos índices números difusos su interpretación respecto al rendimiento del proyecto (1 representa que el trabajo se ha realizado acorde a lo planificado) requiere un método de comparación de números difusos. En este caso los autores (Naeni et al., 2011), han escogido el método de clasificación difusa propuesta por Dubois & Prade (1980).

f) Control Probabilístico del rendimiento de proyectos usando control de curvas límite (Barraza & Bueno, 2007).

El control probabilístico del rendimiento de proyectos presentado en este estudio define tres criterios basados en el control de rendimientos a través de los límites de las curvas de las SS (curvas S obtenidas a través de simulación Montecarlo): criterio de calidad, criterio de evaluación comparativa Independiente/dependiente y criterio de la varianza incremental del rendimiento del proyecto.

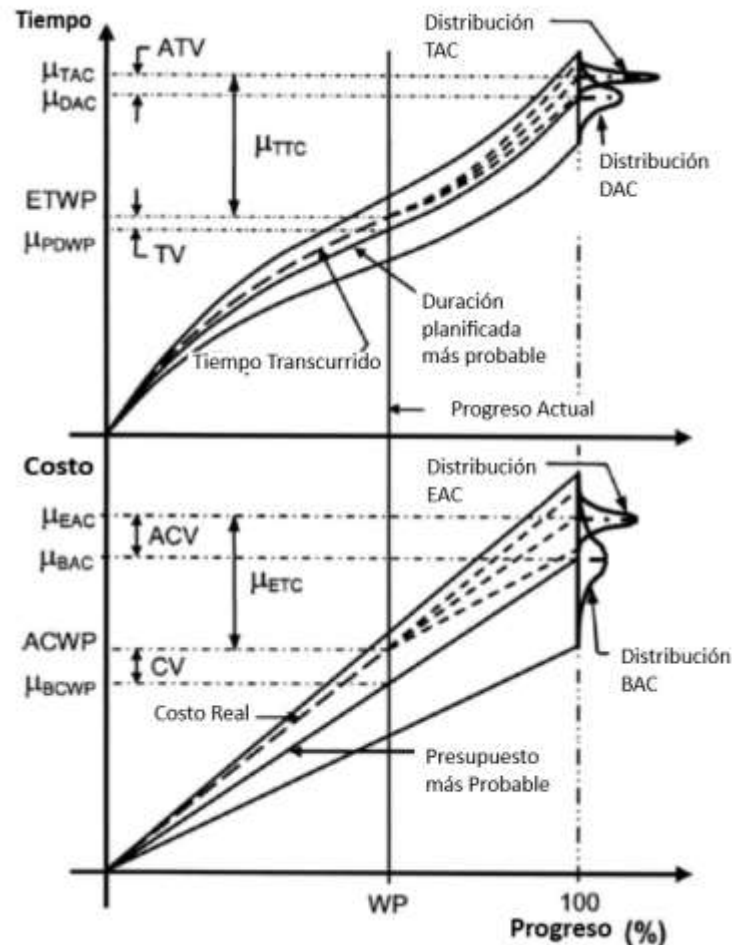


Figura 6 Seguimiento de rendimiento y pronostico probabilísticos usando las curvas de las SS

i.- Criterio de Calidad.

Los límites de control de costo y duración de las curvas S para el criterio de calidad se seleccionan desde las curvas de distribución de costo y tiempo, estableciéndose los valores con el mismo nivel de riesgo máximo aceptable (α_t y α_c) utilizado en el presupuesto planificado (PB) y duración planificada del proyecto (PD) (ver Figura 7)

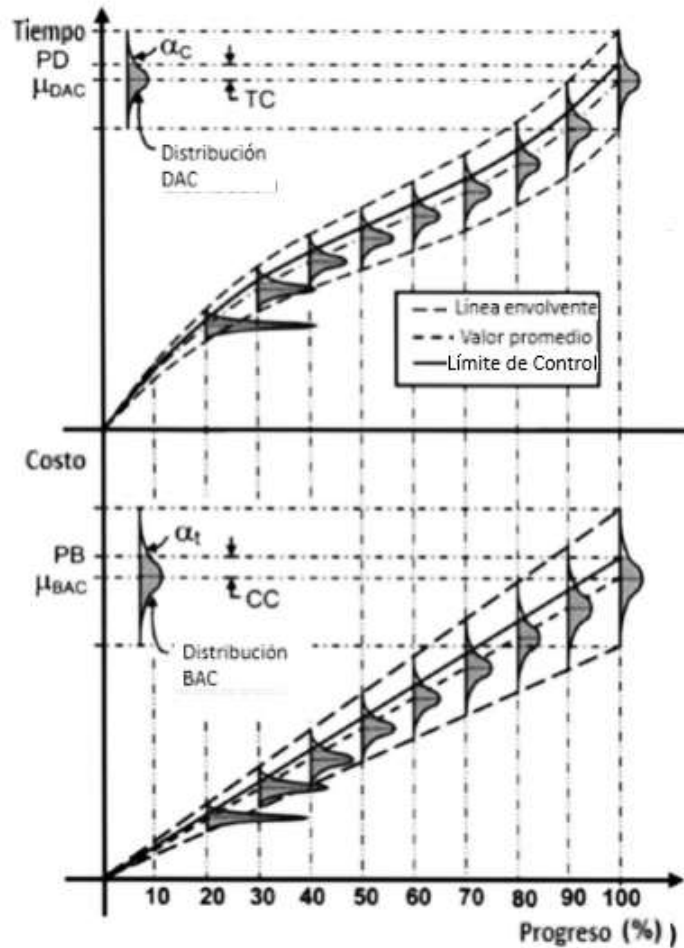


Figura 7 Curvas de control – Criterio de Calidad

ii.- Criterio de la evaluación comparativa.

El criterio de control de curvas límite usando evaluación comparativa establece variables basadas en el progreso, limitadas a partir de la información de las curvas SS obtenida de todas las simulaciones exitosas, según los criterios de éxito definidos para el proyecto. Por lo tanto, para diferentes de porcentajes de trabajo realizado los límites de costo real y tiempo transcurrido están basados en los máximos valores de tiempo y costo encontrados en las iteraciones exitosas.

Debido a que el desempeño del proyecto es evaluado bajo dos parámetros (costo y tiempo), es necesario aplicar el enfoque de evaluación comparativa para definir entre ambos criterios. Por consiguiente, primero se deben seleccionar los máximos valores de costo y tiempo para aquellas iteraciones exitosas, según un criterio, y luego según el otro criterio. De los límites obtenidos de ambos procedimientos, se escogerá los límites más restrictivos para la construcción de la gráfica (Figura 8) de las curvas SS de control.

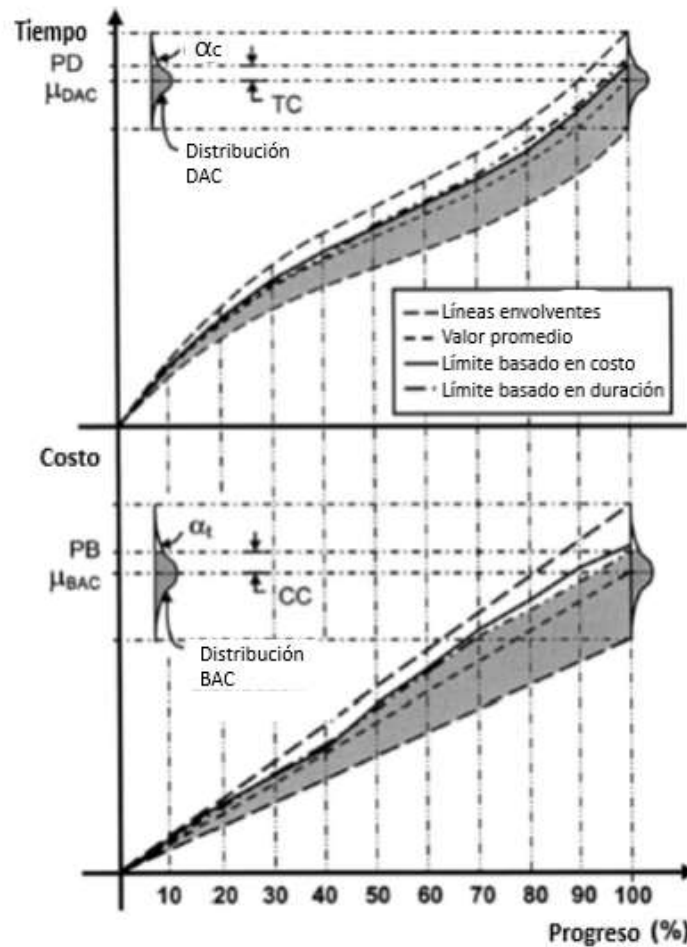


Figura 8 Curvas de control – criterio de la evaluación comparativa

iii.-Criterio de varianza incremental.

El control de curvas límites usando el criterio de varianza incremental está basado en las siguientes suposiciones:

- Las actividades del proyecto son independientes.
- Para cualquier porcentaje de trabajo realizado, los posibles valores de EV en función del costo y tiempo, así como los posibles EAC y DEF tienen una distribución normal probabilística.

De la primera suposición se desprende que el pronóstico de rendimiento del trabajo futuro es independiente del rendimiento actual del trabajo. Esto significa, que las desviaciones estándar de distribución probabilística de EAC y DEF son independiente de cualquier posible estado de rendimiento actual. Sin embargo, esto no implica que los valores esperados del pronóstico de costo estimado al finalizar (μ_{EAC}) y duración estimada al finalizar (μ_{DEF}) sean independientes del rendimiento actual. Y tal como se aprecia en la Figura 6, se expresan como:

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.

$$\mu_{EAC} := AC + \mu_{ETC} \quad \text{Ec. 86}$$

$$\mu_{DEF} := AT + \mu_{TTC} \quad \text{Ec. 87}$$

De la segunda suposición se extrae que, para la distribución normal, un mismo porcentaje se puede expresar como un valor (μ) más un número z de la desviación estándar, que puede ser negativa o positiva.

Una vez definidos los parámetros planificados para el rendimiento al finalizar (p. ej. μ_{BAC} , α , PD, PB), se procede con el procedimiento²⁷ de control de curvas límites. Para comenzar, a partir de las curvas SS planificadas originalmente, se debe evaluar la varianza y la desviación estándar de la distribución del rendimiento de costes (valor ganado) para el porcentaje de trabajo completado ($VAR(EV_m)$ y σEV_m).

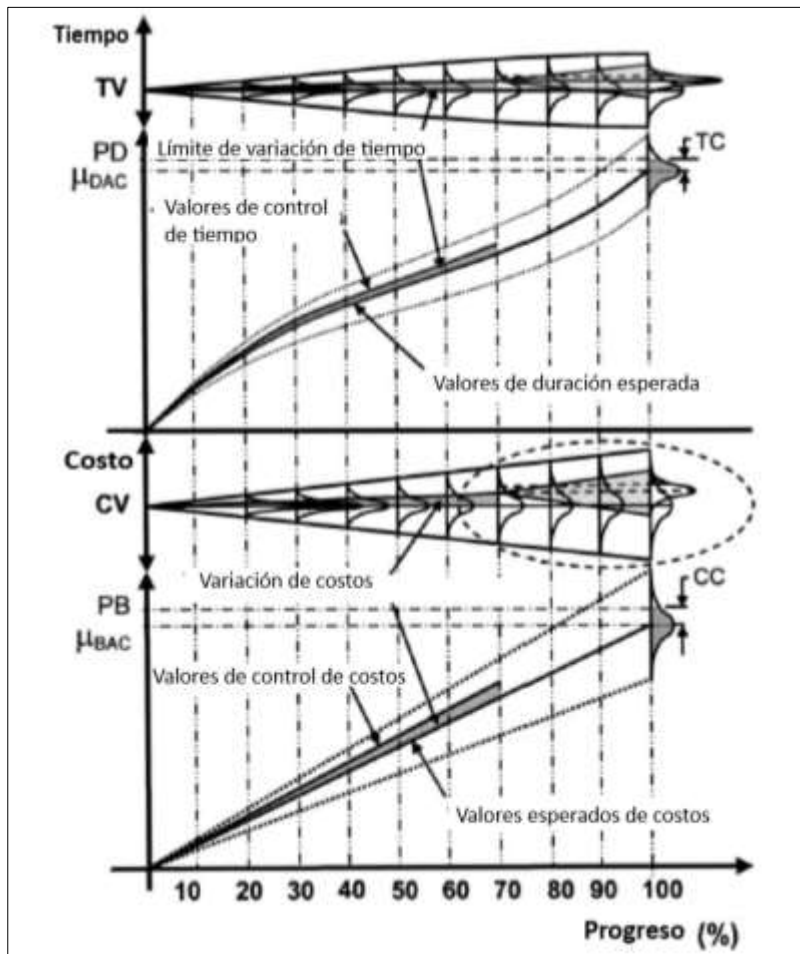


Figura 9 Curvas de control – criterio de la varianza incremental

²⁷ Procedimiento resumido para los cálculos de control de costes. Para el control de tiempo se debe realizar el mismo procedimiento de forma análoga.

Desde la distribución BAC, se determina la diferencia entre PB y el valor esperado μ_{BAC} en términos del número z de la desviación estándar σ_{EV100} . A continuación, determinar la varianza de la distribución de costo del trabajo restante ($VAR(EV_{\Delta W})$), y la correspondiente desviación estándar. Considerando que:

$$VAR(C_{\Delta W}) := VAR(C_{100}) - VAR(C_m) \quad \text{Ec. 88}$$

Evaluar la variación de costo máxima aceptable para el porcentaje de trabajo completado (MCV_m) con:

$$MCV_m := x \cdot \sigma_{EV100} - x \cdot \sigma \cdot EV_{\Delta W} \quad \text{Ec. 89}$$

Determinar el costo máximo aceptable para el actual porcentaje de trabajo completado, sumando el valor esperado del costo planeado para el progreso del proyecto μ_{EV} y el valor MCV_m . Punto que define la curva límite de control.

g) Índices de control costes y cronograma integrando el control de riesgos (Pajares & López-Paredes, 2011).

Esta es una extensión del EVM, en el cual se propone la integración de la incertidumbre en términos de la variabilidad parámetros de costo y cronograma del EVM. Para esto el método incluye una línea base de riesgos del proyecto y nuevos índices de rendimientos.

La línea base de riesgos (RB) se considera como la evolución del valor del riesgo restante en el tiempo, es decir, la variabilidad del costo o duración del trabajo restante durante el ciclo de vida del proyecto.

Las nuevas medidas e índices propuestos en esta técnica de control buscan comparar las variaciones de costo y cronograma con una “desviación de control máxima” por unidad de tiempo. Con esto se pretende detectar los cambios estructurales dentro del proyecto, que contribuyen a situar el proyecto fuera de los límites de control.

Se definen dos búferes: el búfer de coste del proyecto ($CPBf^{28}$) y el búfer de proyecto de programación ($SPBf^{29}$). El CPBf es la diferencia entre el costo máximo a un cierto nivel de confianza y el valor medio del costo. De igual forma, SPBf es la diferencia entre la duración máxima y el valor medio de duración a un nivel de confianza. Es el director del proyecto quién debe decidir qué nivel de confianza se requiere para ambos.

Luego, se dividen estos buffers por todos los intervalos de tiempo, con lo cual estimar cuánto se desviarían el costo y cronograma respecto a los valores planificados por unidad de tiempo. Para la división de esos búferes se utilizan ponderaciones (w_c y w_s) que son proporcionales a la reducción de riesgo esperada en cada intervalo, es decir, la diferencia entre dos puntos adyacentes a lo largo de la línea de base de riesgo:

²⁸ CPB: Cost Project Buffer.

²⁹ SPB: Schedule Project Buffer

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.

$$wc_t = CRB_{t-1} - CRB_t \quad \text{Ec. 90}$$

$$ws_t = SRB_{t-1} - SRB_t \quad \text{Ec. 91}$$

De manera análoga, se puede expresar la sumatoria de las ponderaciones como,

$$\sum_{t=1}^T wc_t = \sum_{t=1}^T CRB_{t-1} - \sum_{t=1}^T CRB_t = CRB_0 - CRB_T = \sigma_{pc}^2 \quad \text{Ec. 92}$$

$$\sum_{t=1}^T ws_t = \sum_{t=1}^T SRB_{t-1} - \sum_{t=1}^T SRB_t = SRB_0 - SRB_T = \sigma_{ps}^2 \quad \text{Ec. 93}$$

Donde,

σ_{pc} y σ_{ps} son las variaciones de costo y programación total del proyecto.

Después, se puede obtener los máximos buffers de costo y cronograma durante un intervalo de tiempo y sus respectivos valores acumulados, a través de:

$$CBf_t = wc_t * CPBf / \sigma_{pc}^2 \quad \text{Ec. 94}$$

$$SBf_t = ws_t * SPBf / \sigma_{ps}^2 \quad \text{Ec. 95}$$

$$ACBf_t = CBf_t + ACBf_{t-1} \quad \text{Ec. 96}$$

$$ASBf_t = SBf_t + ASBf_{t-1} \quad \text{Ec. 97}$$

Valores acumulados que podrán ser comparados con las variaciones de EVM. Definiendo el índice de control del cronograma (SCol) como:

$$SCol_t = ASBf_t + SV(t) = ASBf + ES - AT \quad \text{Ec. 98}$$

Paralelamente se define el índice de control de costes, pero en este caso se requiere analizar elementos adicionales, ya que la variación de costes es la diferencia entre el costo real del trabajo realizado y el costo planificado del trabajo realizado. Por lo tanto, para analizar el trabajo realizado, se compara la variación del costo con el buffer de costo acumulado (ACBf) no en el tiempo real sino en el tiempo del programa ganado ($t = ES$). Definiéndose el Índice de Control de Costes (CCol) como:

$$CCol_t = ASBf_{t=ES} + CV(t) = ACBf + EV - AC \quad \text{Ec. 99}$$

2.2.3 Métodos con uso de inteligencia artificial.

En los últimos años también ha tomado relevancia el estudio de métodos de control que se desarrollan a partir del campo de la inteligencia artificial. En este sentido, la inteligencia artificial es conocida como la ciencia que aborda el estudio y/o desarrollo de máquinas que imitan el cerebro humano, es decir, sistemas o máquinas que desde el aprendizaje de experiencias anteriores buscan la mejor respuesta a la situación actual.

Dentro de este marco, entre las técnicas más estudiadas en el control de proyectos, se encuentran las basadas en las máquinas de soporte vectorial (SVMs³⁰) y las redes neuronales.

En primer lugar, la técnica de máquinas de soporte vectorial está basada en una teoría de aprendizaje estadístico desarrollado por Vladimir Vapnik (Cheng et al., 2010). Si bien cada investigación propuesta puede tener un enfoque distinto o alguna variante, en términos generales consiste en la utilización de una máquina de soporte vectorial para control de proyectos que utiliza datos de proyectos anteriores para realizar entrenamiento, seleccionando varios vectores de soporte que buscan clasificar los datos ingresados, y con estos vectores modelar predicciones derivadas de los datos actuales del proyecto. Dos ejemplos de la aplicación de las máquinas de soporte vectorial para la obtención de pronósticos pueden ser estudiados, con mayor detalle, en las investigaciones de Wauters & Vanhoucke (2014) y Cheng et al. (2010).

En segundo lugar, las redes neuronales artificiales tal como su nombre lo indica, es un modelo computarizado en el cual se simula el comportamiento de las neuronas cerebrales. Explicado de otra forma, es una red de relaciones entre variables de entrada y de salidas, relaciones que a su vez son modeladas a través de la experiencia de datos de entrenamiento. En el caso de la aplicación al control de proyectos, se utiliza principalmente las redes neuronales artificiales para establecer los factores que tienen mayor influencia en el pronóstico de costes o duración de los proyectos. Aunque estos métodos no tienen mayor divulgación en el área profesional, a nivel investigativo algunos autores (Chao & Chien, 2009; Cheng, Tsai, & Liu, 2009; Pewdum, Rujirayanyong, & Sooksatra, 2009) proponen su uso en el control mediante distintos enfoques, especialmente en la industria de la construcción.

2.3 RESUMEN Y COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.

A instancia de los métodos detallados en los apartados anteriores, en la Tabla 2 se resumen y se comparan brevemente cada uno de ellos. Esto con el fin de determinar y escoger que métodos podrán ser integrados o implementados con Project. se incluyen en esta comparación características relevantes como lo son los datos utilizados, el uso de programas o herramientas adicionales, el sector para el cual se idearon y finalmente su importancia de acuerdo con las referencias realizadas por distintos autores.

³⁰ SVMs: Support Vector Machines.

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.

Método	Datos utilizados	Herramientas o métodos adicionales necesarios	Tipo de análisis	Área de aplicación	Autores o recomendado
Clásico - CPI	EV, AC, BAC	Hojas de cálculo	Determinista	General	(Christensen, Antolini, & McKinney, 1995; Christensen & Heise, 1993; Lipke, 2005; Lipke, Zwikael, Henderson, & Anbari, 2009) (Fleming & Koppelman, 2010) PMI
SPI	EV, PV, AC, BAC	-Hojas de cálculo	Determinista	General	(Fleming & Koppelman, 2010) PMI
Índice Crítico	EV, PV, AC, BAC	-Hojas de cálculo	Determinista	General	(F. T. Anbari, 2001)
Índice Compuesto	EV, PV, AC, BAC	-Hojas de cálculo	Determinista	General	(Christensen, 1999; Christensen et al., 1995; De Marco & Narbaev, 2013)
Programación Ganada (ES)	ES, AT, PV, C	- Representación gráfica -hojas de cálculo	Determinista	General	(Lipke, 2003)
Cálculo de índices mediante matrices	Recursos- actividades, progreso de trabajo, costo de recursos, costo real de recursos, progreso real	Hojas de cálculo	Determinista	Construcción	(Chen, 2008)
Fórmula de suavizamiento exponencial	EV, PV, AC, BAC, AT, ES, número de períodos a medir, constante de suavizamiento (influencia del rendimiento)	hojas de cálculo	Determinista	Construcción	(Batselier & Vanhoucke, 2017)

Índice de relación de esfuerzo del trabajo restante	EV, PV, AC, BAC, número de tareas completadas, número de tareas total	-Hojas de cálculo	Determinista	General	(Cioffi, 2006).
ES y Modelo de crecimiento Gompertz	EV, PV, AC, BAC, constantes de Gompertz	-Programa de modelación estadística	Determinista	Construcción	(Narbaev & De Marco, 2014).
Inferencia Bayesiana y promedios de modelos bayesianos	EV, PV, AC, BAC, media y desviaciones de proyectos anteriores o proyecciones probabilísticas	-Hojas de cálculo -Programa de modelación estadística o simulación Montecarlo	Probabilístico	Construcción	(Kim & Reinschmidt, 2011).
Enfoque bayesiano	EV, PV, AC, BAC, juicio de expertos (costo final, duración final y nivel de incertidumbre del proyecto)	-Hoja de cálculo -Simulación Montecarlo.	Probabilístico	General	(Caron, Ruggeri, & Merli, 2013).
límites de confianza	EV, PV, AC, BAC, ES, PD, Datos de proyectos anteriores	-Hojas de cálculo	Probabilístico	General	(Lipke et al., 2009)
Análisis Weibull	EV, PV, AC, BAC, porcentaje del proyecto completado	-Hojas de cálculo -Programa de modelación estadística	Probabilístico	Construcción	(Nassar, Gunarsson, & Hegab, 2005)
Enfoque Difuso	EV, PV, AC, BAC, porcentaje del proyecto completado	-Hojas de cálculo -Método de clasificación difusa	Probabilístico	General	(Moslemi, Shadrokh, & Salehipour, 2011)
Control de curvas límites	EV, PV, AC, BAC, nivel de riesgo, datos de	-Hojas de cálculo -Programa de	Probabilístico	Construcción	(Barraza & Bueno, 2007)

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PROGRESO DE LOS PROYECTOS.

	proyecto anteriores o simulaciones	modelación estadística -Simulación Montecarlo			
Índices de control con control de riesgos	EV, PV, AC, BAC, ES, AT, línea base de riesgos (variabilidad de costes y programación)	-Hojas de cálculo	Probabilístico	General	(Pajares & López-Paredes, 2011).

Tabla 2 Resumen y comparación de métodos de Análisis de Variación de progreso de los proyectos

CAPÍTULO 3. CONTROL DE COSTES CON MS PROJECT.

3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE MS PROJECT.

En el mundo de la gestión de proyectos es primordial contar con una herramienta informática que apoye todas las labores relacionadas al inicio, planificación, ejecución, control y cierre de los proyectos. Actualmente en el mercado existen un gran número de herramientas automatizadas para la gestión de proyectos, siendo estas utilizadas principalmente en la planificación, seguimiento y control de los proyectos (Sajad, Sadiq, Naveed, & Iqbal, 2016).

MS Project es un software desarrollado para abordar uno o varios proyectos, ayudando al director y/o al equipo de proyectos en las siguientes tareas (Lledó & Rivarola, 2007):

- Planificación, incluyendo la gestión de alcance y tiempo con la programación de tareas, y gestión de costes, asignando recursos a estas tareas.
- Coordinación y ejecución de un proyecto, entregando al director de proyectos una herramienta eficaz para la toma de decisiones.
- Control y seguimiento de los distintos aspectos del proyecto.
- Visualización del plan del proyecto y su ejecución con una interpretación simple.
- Análisis de proyección, trabajando con escenarios supuestos dentro del proyecto.
- Gestión de las comunicaciones, esto a través de la herramienta Microsoft Project Server, que permite intercambiar información con todos los miembros del equipo de trabajo.

Una de las ventajas más significativas de trabajar con MS Project es el entorno de trabajo, ya que al pertenecer a la familia de programas de Microsoft Office utiliza un interfaz de usuario Fluent Design³¹. Esto permite que el manejo de los menús y herramientas sea más intuitivo y, por lo tanto, de más rápido entendimiento y adaptabilidad para los usuarios.

3.2 VARIABLES DE COSTES EN MS PROJECT.

Previo a describir lo relativo a costo dentro de MS Project, es necesario señalar algunos componentes básicos en la programación de proyectos como lo son: el trabajo, las tareas y recursos.

³¹ Fluent Design es la interfaz gráfica incluida en el sistema operativo Windows 10 y todos los productos Office de Microsoft.

CONTROL DE COSTES CON MS PROJECT.

El trabajo en MS Project se define como la duración por las unidades (recursos) por la jornada de trabajo y se expresa en unidades de tiempo (minutos, horas, días, semanas, meses).

Para el caso de las tareas, se pueden definir tres tipos de tareas; tareas con unidades fija, de duración fija o trabajo fijo. Teniendo distintas variaciones en las unidades de recursos, duraciones o el trabajo, según se modifiquen las variables de trabajo, duración o recursos para cada caso.

Para el control de costes en MS Project se precisa introducir recursos a las actividades programadas. Es en este contexto que se definen tres tipos de recursos: recursos de trabajos, recursos materiales, recursos de costes.

Los recursos de trabajos son aquellos que van en directa relación con la mano de obra, ya sea directa, indirecta o administrativa y así como, todos los recursos asociados al uso de equipos.

Los recursos materiales son referidos a todos aquellos consumibles utilizados en la ejecución del proyecto.

Los recursos de costes son aquellos que van asociados a las actividades y no tienen relación con la duración de las actividades.

Vinculando estos conceptos, la asignación de costes de los proyectos se introduce como costes asociados a recursos y costes asociados a tareas (recursos de costes), por lo que al igual que los recursos, los costes se diferencian en:

- Costes por usos: Son los costes asociados al uso de un recurso de trabajo o de material que se cargan una vez, es decir, que se determina un valor como el costo que tiene cada vez que se utilice el recurso.
- Costes por tasas: Son aquellos referidos a los costes asociados a los recursos, mediante tarifas (hora, salario anual o alquiler de un equipo), estas pueden ser divididas en tasas estándar o tasas hora extra.
- Costes fijos: Son aquellos costes que se utilizan cuando las tareas tienen un costo asociado sin considerar la duración o trabajo.

3.3 COMPONENTES DE CONTROL.

Antes de describir los métodos de control que posee el programa es necesario detallar algunos de los componentes o información utilizada para el mismo.

a) Línea Base.

Según (Viñoles, 2009), una línea base corresponde a un grupo de puntos de referencia que son definidos para registrar el plan de proyecto original definitivo. Esta programación final debe establecerse a partir de la mejor estimación de duración, costes, recursos y otras variables que se deseen controlar. En

consecuencia, la línea de base corresponde a una “fotografía” de la planificación en un momento determinado, que sirve para comparar los progresos del proyecto respecto a esta base.

De igual manera, si se requiere, se pueden establecer más de una línea base según sea el caso. Por ejemplo, en proyectos de mayor envergadura donde se requiera realizar el seguimiento por etapas podría ser necesario establecer una línea base cada vez que se culmine una etapa.

b) Acumulación de costes.

Para la suma de los costes MS Project permite indicar cómo y cuándo cargar los costes por tasa de los recursos, es decir, si estos se cargarán al comienzo, fin o por prorrateo de avance de la tarea.

c) Estructura de desglose del trabajo (EDT)³².

Dividir o desglosar los proyectos o etapas del proyecto en paquetes de trabajo, que es la subdivisión de menor nivel de las tareas en la cual se puede estimar y gestionar costes y duración (PMI, 2017). Esto permite a su vez, asociar estas tareas a cuenta de costes según la estructura de desglose de la organización (EDO)³³.

Para poder llevar a cabo este desglose MS Project permite crear distintos niveles de tareas y, a su vez, asignar distintos códigos de EDT según lo necesite control de proyectos u la organización.

d) Tipo de fechas.

Cuando un proyecto ya se encuentra en ejecución se debe comenzar a introducir los datos de progreso real del proyecto para realizar el seguimiento, con lo cual se puede comenzar a visualizar las distintas fechas de progreso que establece el programa:

- Prevista: Corresponden a las fechas planificadas inicialmente en la línea base.
- Real: Correspondientes a las tareas que están en progreso o finalizadas.
- Actual: Son las fechas proyectadas según el avance real del proyecto.

e) Informes y tablas de planificación y programación.

Una vez se ha completado la planificación y programación de un proyecto o conjunto de proyectos, MS Project permite generar una serie de documentos finales. Documentos que pueden ser de carácter informativo para los interesados, como también informes que se utilizarán como entradas en los procesos de ejecución y seguimiento del proyecto. Dentro de los más relevantes se encuentran:

- Resumen del proyecto.
- Estructura de Descomposición del trabajo.

³² WBS: Work Break-down Structure

³³ OBS: Organizartion Break-down Structure

CONTROL DE COSTES CON MS PROJECT.

- Fechas de entregables e hitos.
- Tabla de mano de obra directa planificada – Curva de planificada de obra³⁴.
- Informe de Coste presupuestado – Curvas de costes planificados.
- Cronogramas de costes, de materiales y de equipos.
- Histograma de recursos humanos.
- Carta Gantt – Ruta Crítica.
- Tablas del valor acumulado.

f) Actualización del proyecto.

Con el fin de realizar el seguimiento y control de proyecto, el director de proyectos o su equipo, antes deben ingresar los datos de actualización o avance del proyecto en las fechas de estado establecidas. Las fechas de estado deben ser programadas de forma periódica y son definidas en la etapa de planificación.

En MS Project la tarea de ingresar de datos reales de avance se efectúa a través de la llamada tabla de seguimiento, donde se deben introducir algunos o todos datos indicados a continuación, según como se haya configurado:

- Fechas de comienzo y fin reales de las tareas completadas.
- Fechas de comienzo, duración real ejecutada y duración restante de las tareas no completadas.
- Porcentaje de avance físico completado o porcentaje completado.
- Coste real.
- Trabajo real.

g) Informes, tablas y herramientas de control.

Con los datos reales ya ingresados en el MS Project, éste entrega una serie de herramientas, funciones e informes que contribuyen directamente al seguimiento y control de proyectos o, como también podremos ver más adelante, servir de base para aplicar algunos métodos de control explicados en los apartados anteriores.

i.- Informes.

Los informes periódicos ofrecidos por MS Project son un opción simple y fácil para poder visualizar los datos del estado de avance de un proyecto. Según los requerimientos de cada proyecto se puede escoger entre las opciones de informes predeterminados o personalizados (gráficos, tablas o comparativas). Además, la visualización de estos informes se puede realizar directamente desde el

³⁴ Gráfico de curva planificada obtenida a través de Excel.

programa o a través de la exportación de datos a Excel o Visio, mediante plantillas predeterminadas o personalizadas.

Las categorías de informes predeterminados para ser visualizados en el programa son:

- Panel: Donde se muestran datos generales del proyecto.
- Recursos: Con informe de recurso sobreasignados e información general de los recursos.
- Costes: Permite observar flujos de caja, costo de recursos, valor acumulado, sobrecostes, información general de costes, visión general de costes.
- En curso: Incluye informe de tareas críticas, tareas retrasadas, tareas pospuestas e hitos.

La opción de utilizar plantillas para ser visualizadas en Excel o Visio, llamadas informes visuales, tiene predefinidas las siguientes plantillas:

- Informe de coste presupuestado.
- Informe de disponibilidad de los recursos.
- Informe de horas extra del valor acumulado.
- Informe del coste previsto.
- Informe del flujo de caja.
- Informe del resumen de costes de los recursos.
- Informe del resumen de trabajo de los recursos.
- Informe del trabajo presupuestado.
- Informe del trabajo previsto.
- Informe del trabajo restante de los recursos.

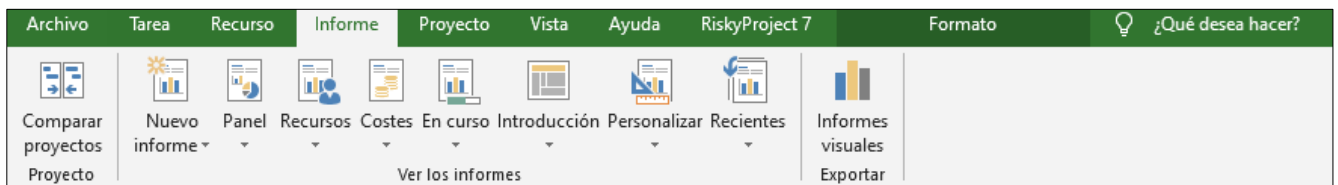


Figura 10 Vista de pestaña de informes.

Tal como se indicó anteriormente, adicionalmente a estos informes y plantillas predefinidas MS Project permite personalizar, editar o crear informes o plantillas según sea los requerimientos del proyecto.

CONTROL DE COSTES CON MS PROJECT.

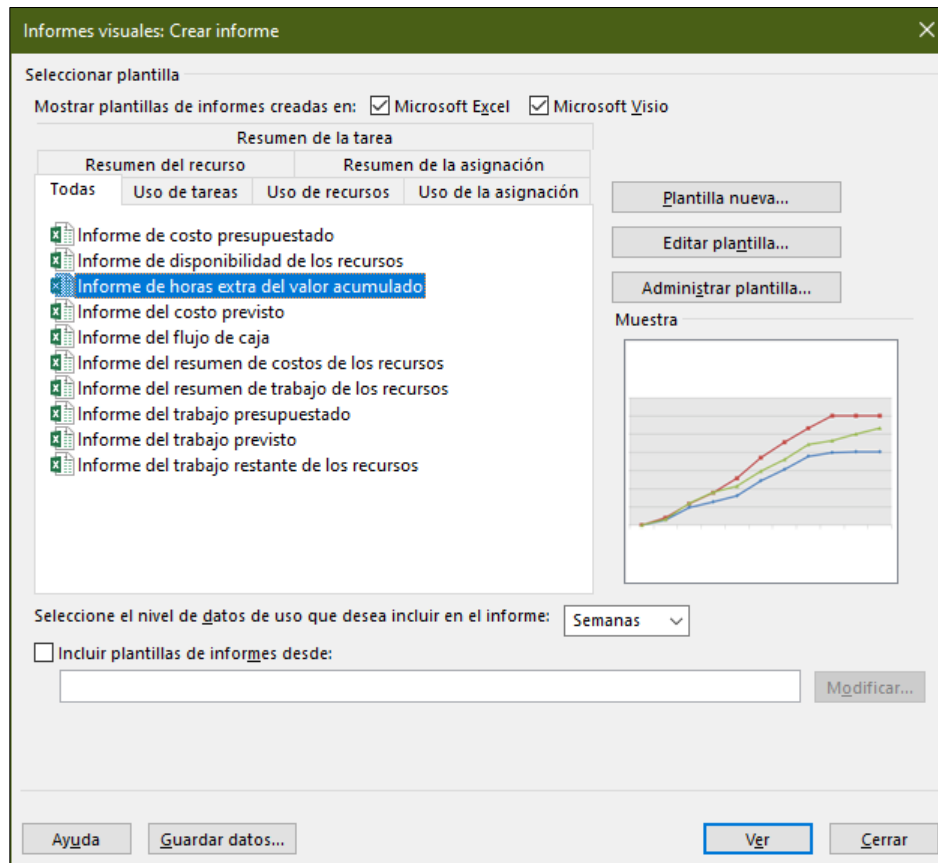


Figura 11 Ventana de informes visuales.

De igual manera, MS Project no solo limita el manejo de datos del proyecto al uso de las opciones de informes periódicos. Una de las opciones adicionales contempla la exportación de datos copiando los datos directamente desde las tablas disponibles en la pestaña de "Vista" y pegándolos en Excel o cualquiera hoja de cálculo, tablas que además pueden incluir campos personalizados.

ii.- Campos personalizados.

Los campos personalizados son listas de datos, que pueden ser de entrada de datos, salida de datos mediante inserción de fórmulas o salida de iconos que expresen de manera gráfica que tipo datos contiene otro dato. Estos campos pueden ser creados para las tareas, los recursos o los proyectos.

Para crear un nuevo campo personalizado, se debe seleccionar el icono "Campos personalizados" en la pestaña proyectos o hacer clic con el botón secundario del ratón en la fila de los encabezados de las columnas de las vistas de tablas (ver Figura 12)

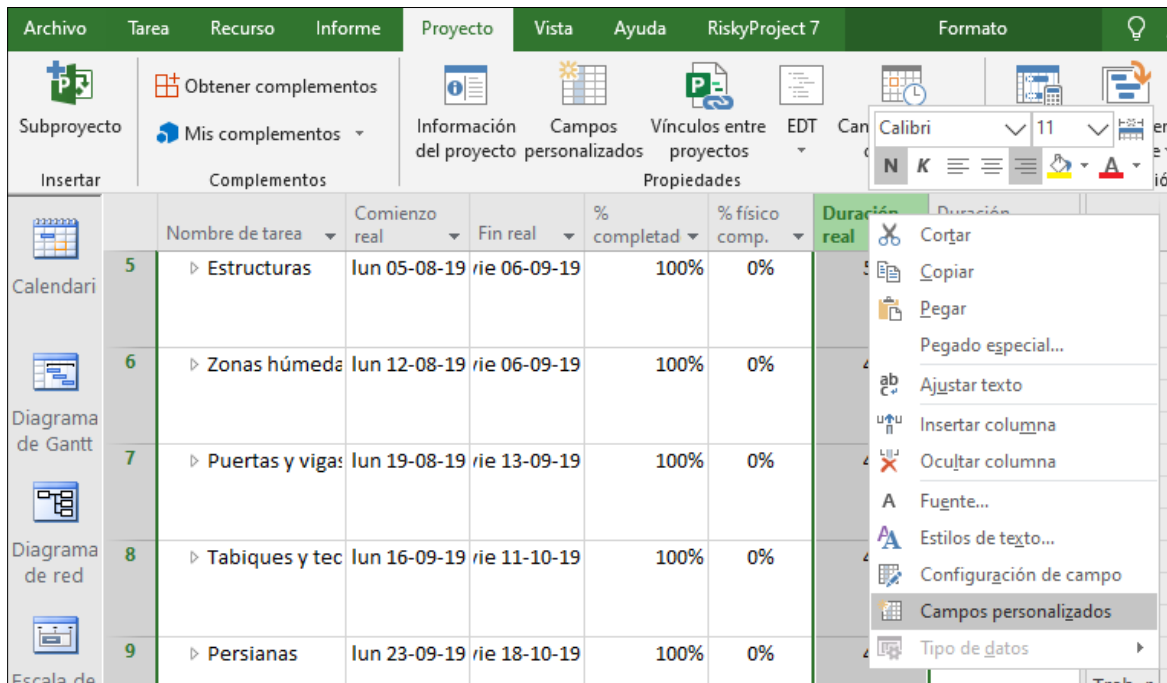


Figura 12 Opciones para selección de campo personalizado.

Una vez abierta la ventana campo personalizado, se debe seleccionar el tipo de campo personalizado que se desea crear, el tipo de dato a ingresar, cómo se rellenarán los datos: sin atributo (manual) buscar (datos de lista creada) o fórmula, cómo se tratarán los datos en las filas resumen y filas asignación, y por último se mostrarán datos o íconos en las celdas (ver Figura 13).

La inserción de estos campos permite desde agregar nuevas variables asociadas a las tareas o los recursos, seleccionar nuevas clasificaciones o establecer otros datos particulares de relevancia para el proyecto; como también permite visualizar datos a través fórmulas creadas a partir de datos del proyecto (campos), funciones predefinidas y la combinación de los anteriores, según sea definido por el usuario.

La entrada de datos y formulas mediante campos personalizados es un ítem útil para inclusión de nuevas índices o métodos de control. Además, estos campos podrán posteriormente ser visualizados en las vistas de tablas o en los informes de salida.

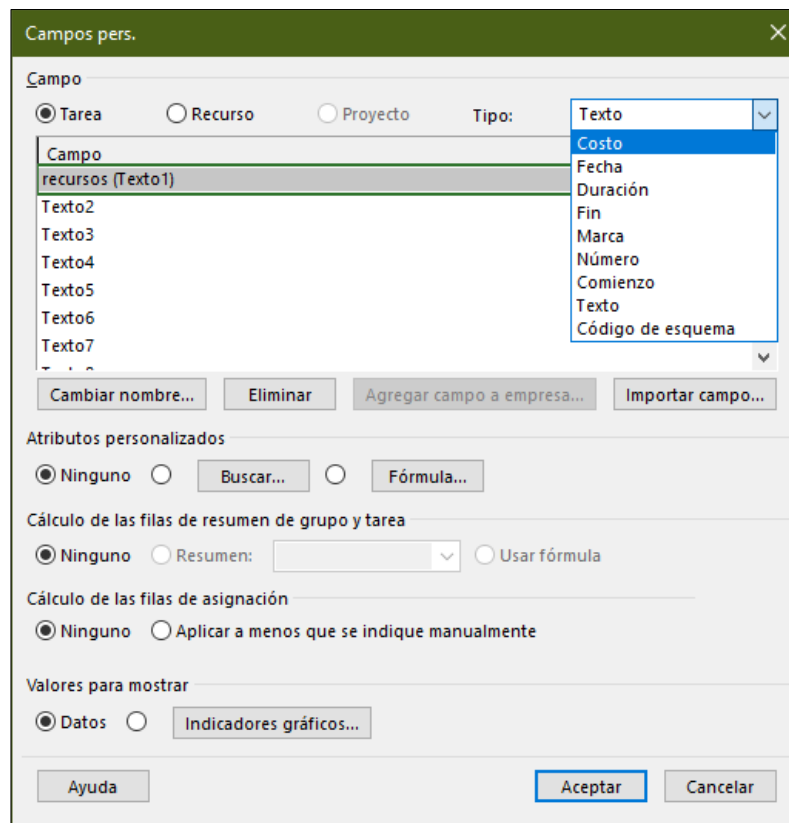


Figura 13 Ventana campo personalizado.

iii.- Macros.

Alternativamente para usuarios más avanzados MS Project permite ejecutar Macros dentro del mismo programa. Las macros son una herramienta que posibilita automatizar ciertas tareas que se realizan de manera reiterada o ejecutar cálculos personalizados no incluidas por defecto. Esto mediante un código de programación que, para el caso de MS Project, se realiza con el código Visual Basic para aplicaciones (VBA)³⁵.

Dentro de las tareas más útiles en las que puede utilizarse macros dentro de MS Project están:

- Mostrar las tablas de uso frecuente.
- Mostrar las vistas de uso frecuente.
- Cambiar a una vista personalizada.
- Generar informes estándar.

La forma más simple para guardar una macro de visualización o de tarea repetitiva es utilizar la función grabación de macros. Esta función permite grabar los pasos que se ejecutan dentro un determinado

³⁵ VBA: Visual Basic Applications.

intervalo de tiempo. Para ejecutar la grabación de macros se debe hacer clic en el icono de grabar macros (ver Figura 14) con el botón secundario del ratón en la barra de tareas y seleccionar la opción “Grabación de macros”. Abriendo con esta acción el cuadro de diálogo de Grabar Macro.

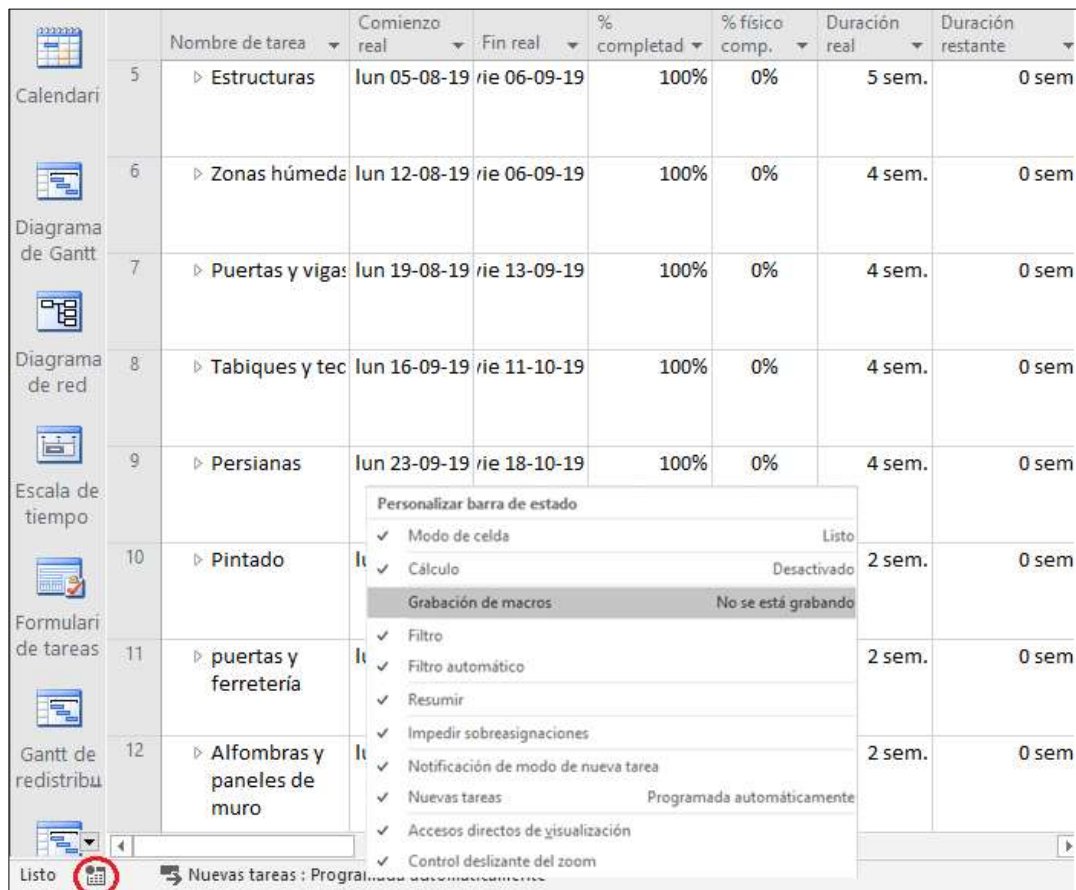


Figura 14 Opciones para grabación de macros.

Una vez en el cuadro de diálogo, se deben rellenar las casillas y seleccionar las opciones que allí se muestran para posteriormente presionar el botón “Aceptar”. Una vez finalizadas las acciones que se desean grabar, se debe presionar nuevamente el icono de grabación de macros para terminar la grabación.

Análogamente para crear una macro mediante la programación de un código VBA, en la pestaña Vista se debe seleccionar el ícono Macros y Visual Basic. Esto abre una nueva ventana en la cual se puede escribir el código y utilizar todas aquellas herramientas relacionadas a la programación en VBA (ver Figura 16). Esta función es fundamental para la creación de nuevos informes y entrega de nuevos datos de los proyectos ejecutados, es decir, puede llegar a ser una útil herramienta para el control de proyectos.

CONTROL DE COSTES CON MS PROJECT.

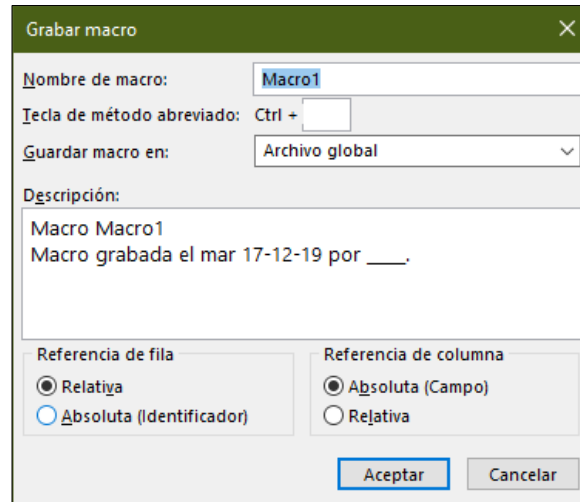


Figura 15 Cuadro de diálogo Grabar macro.

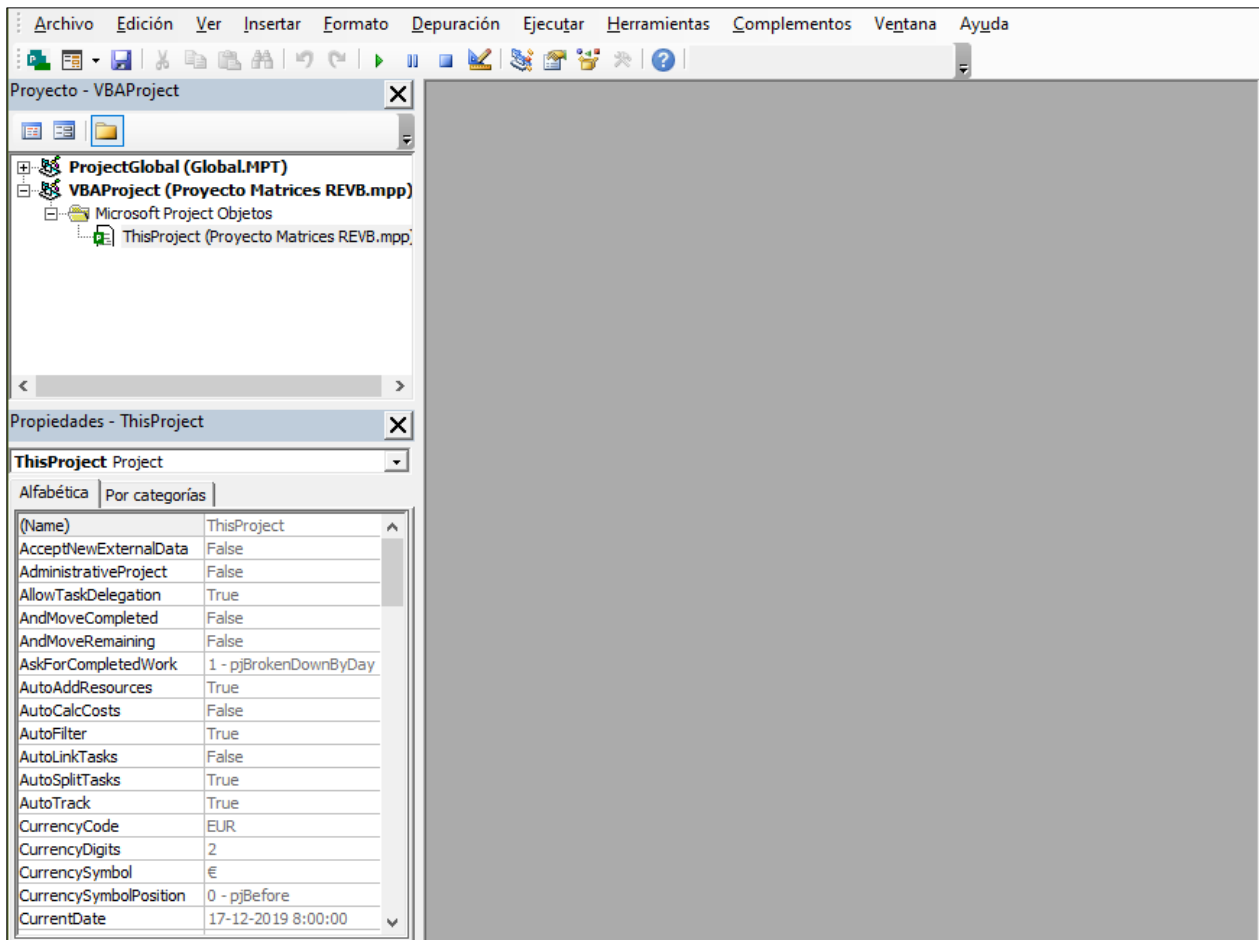


Figura 16 Ventana Visual Basic para aplicaciones.

3.4 VALOR GANADO EN MS PROJECT³⁶

Como se ha expuesto en apartados anteriores la técnica del EVM es la metodología de mayor relevancia y masividad en el proceso de seguimiento y control de proyectos. Por lo tanto, no es de extrañar que MS Project incluya esta metodología dentro de sus opciones de control de proyectos.

a) Campos de valor ganado

Es así como, el programa dentro de sus tablas de manejo y seguimiento incluye cuatro campos básicos de los variables principales del EVM. Estos cuatro campos son: valor planeado (PV o CPTP), valor acumulado o ganado (VA, EV o CPTR), costo real (AC o CRTR) y coste de línea base o presupuesto al finalizar (CPF o BAC).³⁷

Adicionalmente a los campos básicos utilizados para los cálculos de EVM, MS Project proporciona la opción de visualizar campos de índices de rendimientos. Estos campos son variación de costo (CV o VC), variación del cronograma (SV o VP), índice de rendimiento de costes (CPI o IRC) e índice de rendimiento del cronograma (SPI o IRP) y se basan en las fórmulas señaladas en los apartados 2.1.2e), 2.1.2f) y 2.1.2g).

Por último, MS Project ofrece campos de indicadores de pronósticos basados en EVM como lo son el coste estimado al finalizar (CEF o EAC), la variación al finalizar (VAF) y el índice de rendimiento para completar (TCPI o IRPC). Para el caso del CEF o EAC, es importante señalar que este se calcula en base al método clásico basado en el CPI (ver apartado 2.2.1.2a)). Por otro lado, VAF es el resultado de la diferencia entre BAC y EAC. Y finalmente IRPC es calculado como:

$$IRPC = \frac{(BAC - EV)}{(BAC - AC)} \quad \text{Ec. 100}$$

b) Cálculo del valor ganado o valor acumulado.

MS Project presenta dos formas de calcular el valor ganado (EV). Siendo la forma predeterminada aquella basada en el porcentaje completo de las tareas y como alternativa se encuentra la basada en el porcentaje físico completado de las tareas.

En el método del porcentaje completado el EV se calcula multiplicando el porcentaje completado por PV. A su vez el porcentaje completado corresponde a la división de la duración real de la tarea por la duración total. Por lo tanto, el cálculo del EV se relaciona con horas de trabajo proporcionales al tiempo completado.

Alternativamente en el método del porcentaje físico completado el cálculo del EV utiliza porcentaje físico completado por el PV. En este caso el porcentaje físico completado se refiere al valor ingresado manualmente del avance del proyecto, es decir, no tiene relación directa con la duración de la tarea.

³⁶ MS Project versión profesional 2016.

³⁷ Nomenclatura, según versión de Project utilizada.

CONTROL DE COSTES CON MS PROJECT.

Para poder cambiar el método que utilizará MS Project para obtener el valor ganado, el usuario se debe dirigir a la ventana opciones de Project - Avanzado (Archivos>Opciones>Avanzado) y donde indica opciones de valor acumulado desplegar en método predeterminado del valor acumulado de tarea la opción a utilizar (porcentaje completado o porcentaje físico completado).

c) Tablas de valor acumulado (valor ganado).

Con la descripción de las variables y procesos utilizados por para el EVM, a continuación, se presentan las distintas tablas de predefinidas para observar controlar los costes y programación.

i.- Tabla de valor acumulado para las tareas.

Esta tabla permite observar y comparar las principales variables del EVM respecto a las distintas tareas del proyecto. Esta tabla ayuda a determinar si el trabajo realizado ha sido suficiente respecto a los costes incurridos durante su ejecución.

Para ver esta tabla se debe partir desde cualquier vista de tareas y seguir el siguiente comando: Vista>Tablas>Más tabla>Tabla Valor acumulado>Aplicar. La tabla resultante muestra los siguientes campos:

- PV o CPTP.
- VA o CPTR (EV).
- AC o CRTR.
- VP (SV).
- VC (CV).
- CEF (EAC).
- CPF (BAC).
- VAF.

ii.- Tabla de valor acumulado para los recursos.

De forma similar a la tabla anterior, esta tabla permite observar y comparar las principales variables del EVM respecto a los costes del proyecto. Esta tabla ayuda a determinar si los recursos han realizado el trabajo acorde a los costes incurridos según el presupuesto planificado.

Para ver esta tabla se debe partir desde cualquier vista de recursos y seguir el siguiente comando: Vista>Tablas>Más tabla>tabla Valor acumulado>Aplicar. La tabla resultante muestra los siguientes campos:

- PV o CPTP.
- VA o CPTR (EV).
- AC o CRTR.

- VP (SV).
- VC (CV).
- CEF (EAC).
- CPF (BAC).
- VAF.

iii.-Tabla de los indicadores de coste del valor acumulado.

Esta tabla ayuda a analizar las diferentes variables de costes vinculadas con las tareas. Esto se puede realizar a través de los indicadores de valor ganado en los que se centra esta tabla.

Para ver esta tabla se debe partir desde cualquier vista de tareas y seguir el siguiente comando: Vista>Tablas>Más tabla> indicadores de coste del valor acumulado>Aplicar. La tabla resultante muestra los siguientes campos:

- PV o CPTP.
- AC o CRTR.
- VC (CV).
- %VC (%CV).
- IRC (CPI).
- CEF (EAC).
- CPF (BAC).
- VAF.
- IRPC.

iv.-Tabla de los indicadores de programación del valor acumulado.

De forma análoga a la tabla anterior, esta tabla ayuda a analizar la relación entre las variaciones de plazos respecto a los costes de las tareas. Las variables que se muestran en esta tabla se centran en aquellas que tienen relación con el cronograma del proyecto.

Para ver esta tabla se debe partir desde cualquier vista de recursos y seguir el siguiente comando: Vista>Tablas>Más tabla> indicadores de programación del valor acumulado >Aplicar. La tabla resultante muestra los siguientes campos:

- PV o CPTP.
- AC o CRTR.
- VP (SV).

CONTROL DE COSTES CON MS PROJECT.

- %VP (%SV).
- IRP (SPI).

d) Informes de seguimiento.

Adicionalmente, a las tablas detalladas y tal como se explicó con antelación, MS Project ofrece la alternativa de ver y exportar informes predeterminados relacionados con el valor ganado. Entre los que se encuentran:

- Informe costes - Flujo de caja.
- Informe costes – Valor acumulado
- Informes visuales – Informe de horas extras del valor

Los informes de costes predefinidos son informes de que incluyen representaciones gráficas y tablas con los datos más relevantes respecto al valor ganado o seguimiento de costes. Estos informes pueden ser obtenidos alternamente tanto para tareas como para recursos.

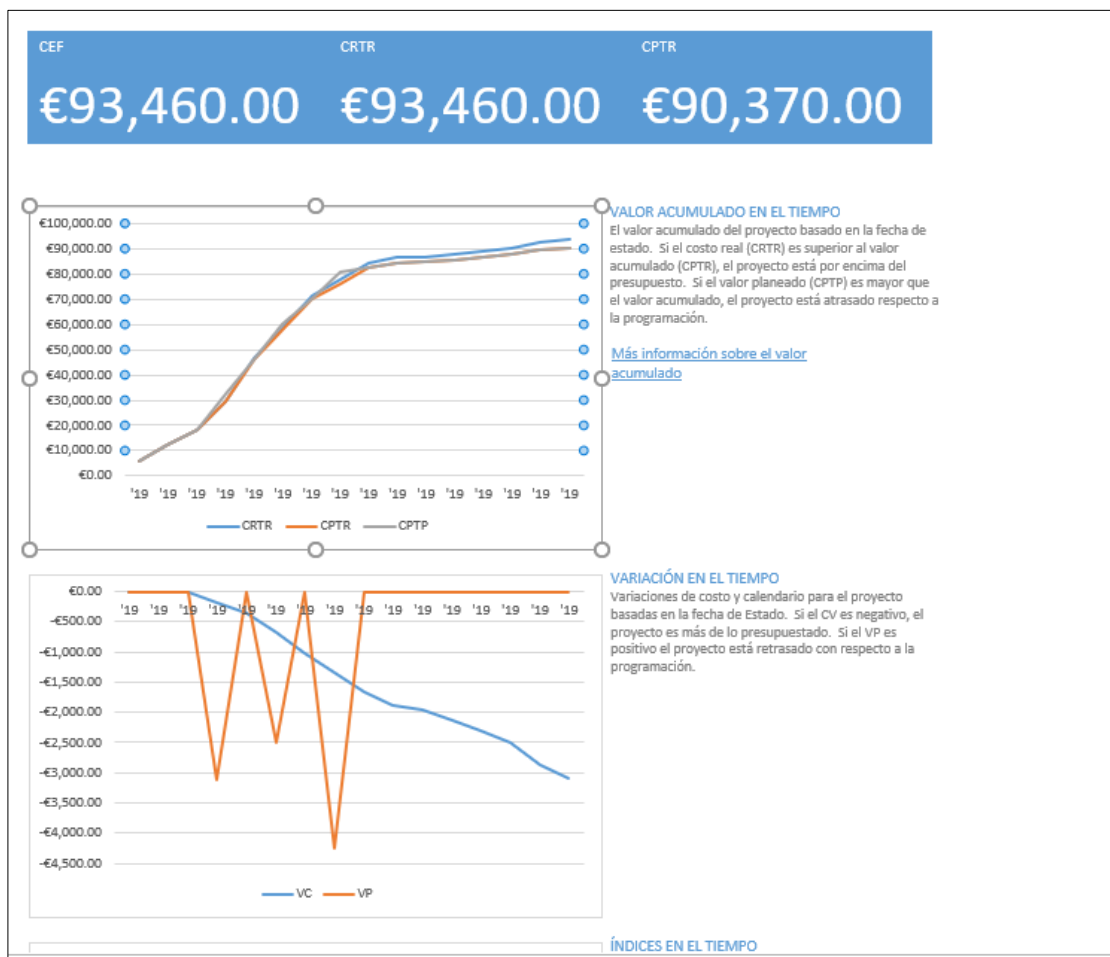


Figura 17 Gráficas del Valor Acumulado predefinidas.

Si bien estos informes de costes vienen predefinidos, es posible, agregar o cambiar los datos que se desean mostrar seleccionando los valores que se desean incluir en las opciones del panel de tareas. Cabe mencionar que para el caso de los informes tipo tabla no es posible filtrar los valores de tareas o recursos por fecha o períodos del cronograma, opción que si es posible al utilizar las visualizaciones gráficas seleccionando “Hora” en la lista desplegable de “seleccionar categoría”.

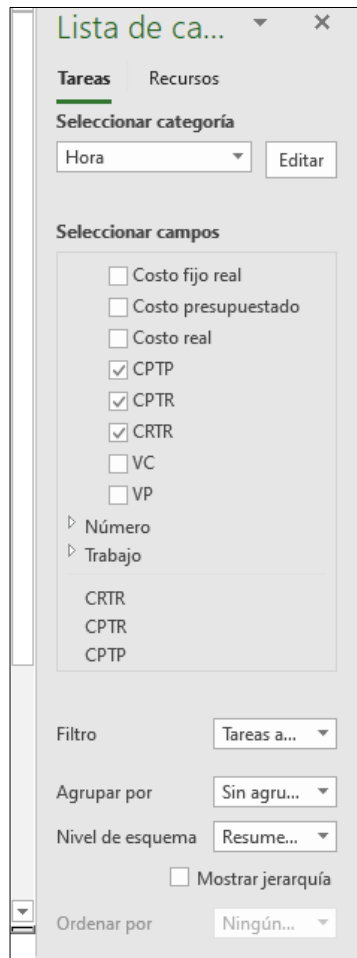


Figura 18 Barra de opciones del panel de tareas.

Los informes visuales que se exportan a Excel, se componen de dos hojas de cálculo dentro del archivo exportado. La primera, corresponde a la hoja del gráfico de los datos seleccionados, establecidos por defecto según la planilla escogida o según la selección de datos disponibles en las opciones del panel de tareas. La segunda hoja, por su lado contiene las tablas de datos seleccionados (predefinidos o escogidos), destacando que estos datos pueden ser filtrados por períodos de tiempo, tareas o recursos.

Este tipo de informe entrega mayor flexibilidad al usuario al momento de visualizar y filtrar los valores que se desean manejar. Aunque estas planillas de valor acumulado contienen campos predefinidos para ser mostrado, existe la alternativa de editar o crear estas planillas. Para poder editar o agregar campos, en la ventana de informes visuales (Figura 11) se debe hacer clic en el botón nueva plantilla o editar

CONTROL DE COSTES CON MS PROJECT.

plantilla, con ambas opciones se llegará finalmente a la ventana “informes visuales: Selectores de campos”, donde seleccionan los campos (disponibles o personalizados) que se desean visualizar en el archivo Excel. En las circunstancias que los datos no se muestren en primera instancia en las tablas o en las opciones del panel de tareas, se debe posicionar el puntero sobre una de las tareas y hacer clic con el botón secundario y seleccionar “mostrar propiedades en informe” mostrándose a su vez todas las alternativas de campos seleccionados en la ventana de selector de campos.

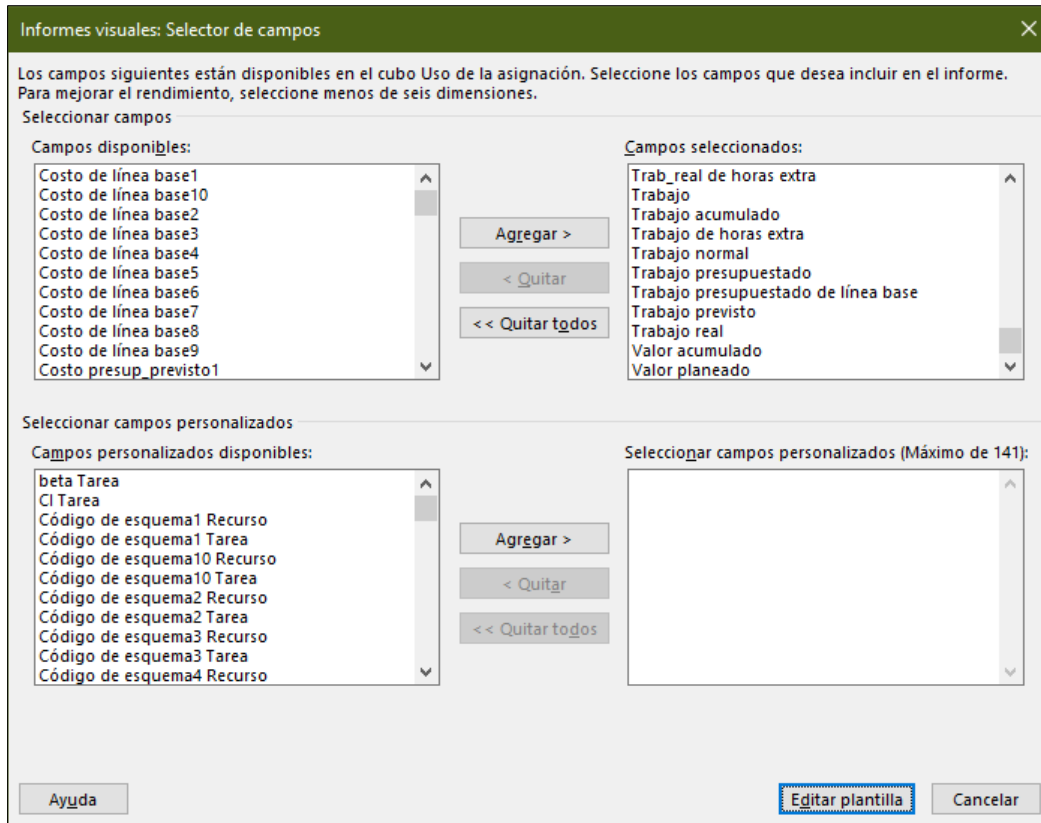


Figura 19 Ventana Informes visuales: selector de campos.

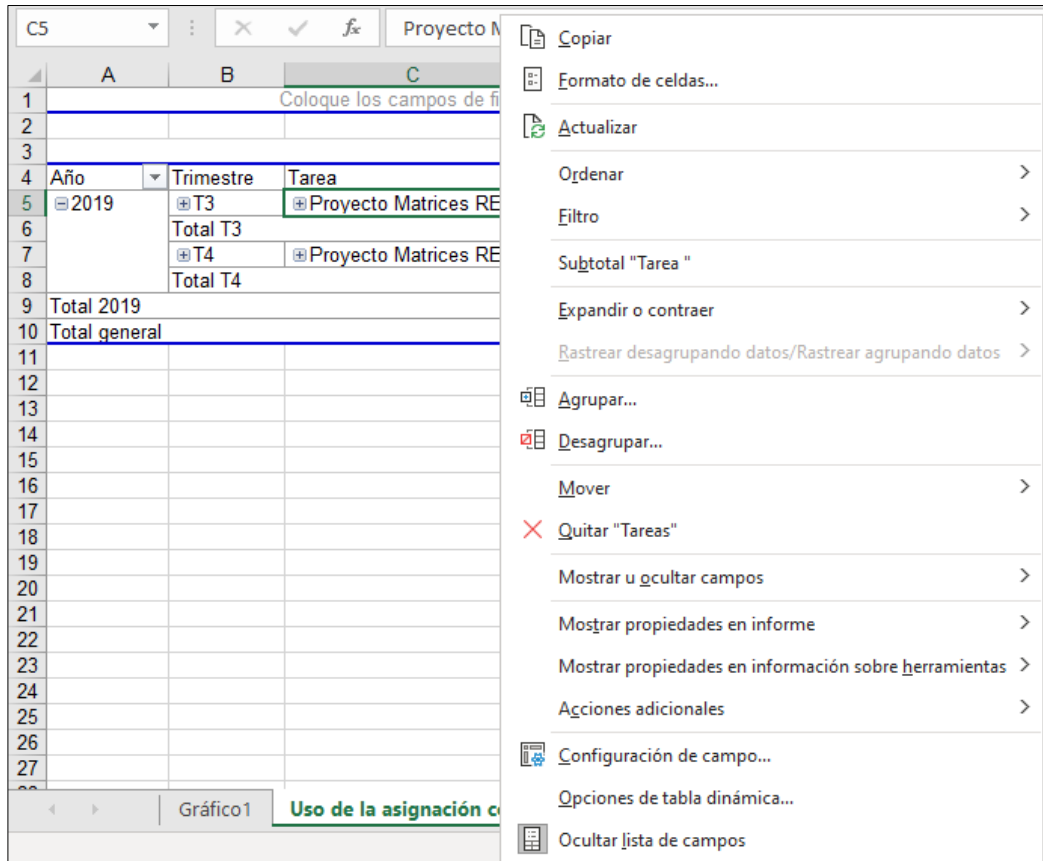


Figura 20 desplegable de opciones de la celda de tareas.

CAPÍTULO 4. PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE MÉTODOS DE VALOR GANADO EN MS PROJECT

Tras haber estudiado y revisado distintos métodos de control de costes (Capítulo 2), donde se detallaron los datos, fórmulas y distintos enfoques utilizados por cada uno ellos; y tras haber explicado y resumido las características y elementos más importantes que contiene MS Project como herramienta complementaria para la ejecución y control de proyectos (Capítulo 4). En el presente capítulo se establecerán los métodos que pueden ser utilizados directamente con MS Project o indirectamente a través de los datos obtenidos de este y su aplicación mediante hojas de cálculo (Excel). Por consiguiente, en este punto, también se detallará el proceso de implementación e integración de los métodos escogidos a través de campos personalizados de MS Project u hojas de cálculo.

Esto se lleva a cabo con la finalidad de sentar las bases del uso de unos de los programas de gestión de proyectos de mayor empleo en el ámbito profesional junto con distintas técnicas de control de costes y de esta manera proporcionar otras alternativas al control de costes basados en el valor ganado clásico. De esta manera se pretende que los directores de proyectos puedan tomar acciones de correctivas a tiempo para finalizar con éxito los proyectos, en el caso que existan desviaciones respecto a lo planificado.

4.1 SELECCIÓN DE MÉTODOS Y MS PROJECT.

La selección de métodos de control de costes a implementar en MS Project se debe basar principalmente en la capacidad del programa para introducir las distintas fórmulas y/o la utilidad de los datos de salida del programa para ser aplicado en los métodos.

La clasificación realizada en el apartado 2.3, donde se determinan tres tipos de métodos estudiados (Deterministas, Estadísticos-Probabilísticos y basados en Inteligencia Artificial), es uno de los factores más relevantes al momento de seleccionar los métodos a implementar. Como se pudo inferir anteriormente, MS Project funciona como herramienta de control de proyectos basado esencialmente en la utilización de datos de planificados y de ejecución de costes y tiempo (recursos, costes y plazos), por lo tanto, los datos de salida que suministra se basan en valores reales y planificados, es decir, no considera el azar ni la incertidumbre en el proceso de control. Por esta razón, se deduce que el control de proyectos con MS Project es fundamentalmente un proceso determinista.

Atendiendo a esta última consideración, implementar los métodos basados en datos estadísticos probabilísticos o en inteligencia artificial plantea una mayor complejidad, debido a que implica la utilización de otros programas y/o datos adicionales al uso de MS Project. Por este motivo y debido al alcance de este estudio, en una primera instancia se estudiará la implementación de aquellos métodos clasificados como deterministas. Asimismo, se deben diferenciar aquellos métodos deterministas que requieren la utilización de otros programas adicionales a MS Project y Excel. Se puede individualizar dentro de esta última categoría solo el método de combinación de programación ganada y el modelo de crecimiento de Gompertz de Narbaev & De Marco (2014b), debido a que este método requiere efectuar una regresión no lineal, procedimiento que resulta complejo y que no es posible realizar con Excel y debe utilizarse un programa estadístico más especializados, como por ejemplo, Minitab.

De lo anteriormente expuesto, finalmente se seleccionan los siguientes métodos a implementar con MS Project:

- Clásico
- CPI.
- SPI.
- Índice Crítico - CR.
- Índice Compuesto - CI.
- Programación Ganada (ES).
- Cálculo de índices mediante matrices.
- EVM con fórmula de suavizamiento exponencial.
- Índice de relación de esfuerzo del trabajo restante.

4.2 IMPLEMENTACIÓN DE MÉTODOS EN MS PROJECT.

En los siguientes acápite se procederá a explicar cómo se implementan e integran cada uno de los métodos en MS Project como en su aplicación en Excel, en el caso que estos no puedan ser aplicados directamente. En síntesis, se explicará que procedimiento o herramientas de MS Project se escogen para la integración y manejo de los datos, además de describir las fórmulas necesarias para su aplicación.

Recapitulando lo ya descrito en el apartado 3.4, las variables más tradicionales y básicas del EVM vienen incluidos de manera preestablecida dentro del programa, ya sea a través de los campos que se visualizan en las vistas de tablas, en los informes de gráficas o tablas y en los informes visuales para exportar en Excel. En consecuencia, debido a que en la mayoría de los métodos seleccionados se utilizan los valores de EV, AC y PV como base de los cálculos, los campos de EVM disponibles en MS Project sustentarán gran parte de los cálculos requeridos.

a) Método Clásico.

A pesar de que en las variables del EVM se encuentran incluidas casi en su mayoría en MS Project, el cálculo de la estimación a la conclusión de los costes mediante el método clásico no se encuentra dentro de los campos preestablecidos. Por lo tanto, para incluir este método se debe generar un campo personalizado que utilice la fórmula de pronóstico con los valores de BAC, AC y EV. Posteriormente, este valor puede ser visualizado en las tablas de valor acumulado insertando la columna (“agregar nueva columna”) correspondiente en la vista escogida.

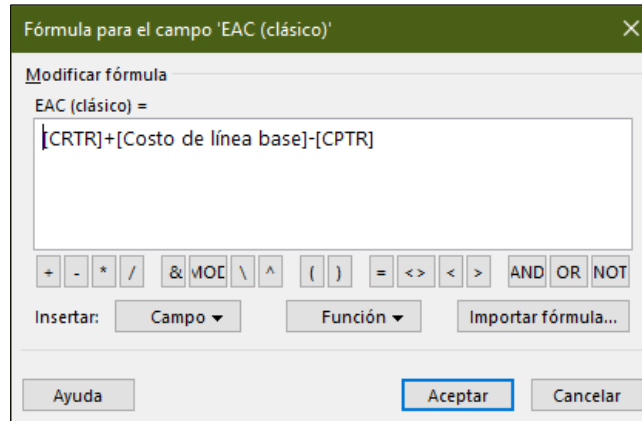


Figura 21 Fórmula de EAC en campo personalizado.

Bajo la eventualidad que los valores de EAC clásico se necesitarán manejar mediante Excel, el mismo campo personalizado puede ser exportado directamente desde las vistas de tablas de valor acumulado o mediante obtención de informes. Si se opta por la exportación por medio de informes, en generación del informe se deben marcar en el informe tabla o gráfica que se muestre el campo personalizado de costo correspondiente a EAC clásico o agregar este campo en el caso de los informes visuales de valor acumulado de las horas extras.

b) Método CPI.

El método de estimación a la conclusión con mayor propagación en el ámbito investigativo y profesional es el basado en el CPI, y es así como, MS Project incluye por defecto este cálculo. Este valor es mostrado a través del campo CEF (EAC). Este campo junto con los campos de valor ganado, pueden obtenerse directamente desde las vistas de las tablas de valor acumulado y tabla de indicadores de costo o desde el informe de costes del valor acumulado. Además, puede ser visualizado personalizando otras vistas de tablas, incluyendo el campo en la opción de agregar columna, o también en los informes visuales agregando este campo en la ventana de selector de campos.

En caso de utilizar hojas de cálculo para analizar estos valores, solo se debe exportar en algunas de las alternativas de visualización. Aclarando que, si se requiere analizar por períodos de tiempos, solo la opción de los informes visuales permite filtrar los valores de EAC en períodos de tiempo.

c) Método SPI.

Si bien el indicador de rendimiento del cronograma se encuentra incluido en las tablas e informes vinculados con el valor ganado en MS Project, la estimación a la conclusión de costes en función de SPI no se encuentra incluido como campo predeterminado. Por lo tanto, para incluir este campo en las tablas o informes de MS Project es necesario generar un campo personalizado con la fórmula correspondiente (ver Figura 22)

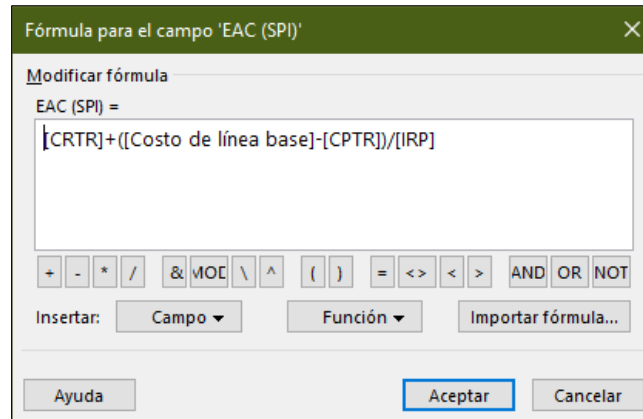


Figura 22 Fórmula de EAC (SPI) en campo personalizado.

Al igual que en los casos anteriores para analizar los valores de este campo en Excel se deben exportar mediante el copiado de tablas o exportación de informes de tablas, gráficas o visuales.

d) Método CR.

Debido a que el índice crítico corresponde al producto de los índices de rendimiento de costes y cronograma, para obtener este valor en MS Project se incluye su fórmula en un campo personalizado del tipo número. Posteriormente, este campo personalizado a su vez se debe incluir en la fórmula de estimación a la conclusión a la conclusión (ver Figura 23) de un campo personalizado de costes.

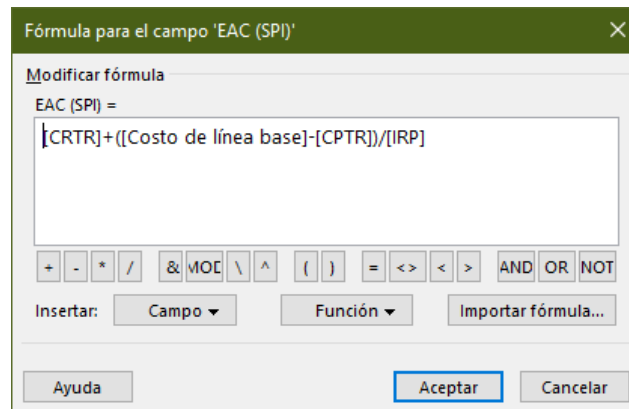


Figura 23 Fórmula de EAC (CR) en campo personalizado.

PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE MÉTODOS DE VALOR GANADO EN MS PROJECT

Ambos campos personalizados creados para este método de control de costes pueden ser exportados a Excel al igual que los métodos señalados en los puntos anteriores.

e) Método CI.

Al igual que el índice de CR, el resultado del índice compuesto deriva de los valores de CPI y SPI, sin embargo, en este caso se requiere dos constantes que equivalen a los pesos que tendrán CPI y SPI en la obtención de CI. Estas constantes se podrán incluir en MS Project mediante la inclusión de dos campos personalizados (Wt1, Wt2) tipo número sin atributos personalizados ni en las filas de tareas ni en las filas resumen, es decir, serán campos en los cuales se deben introducir sus valores manualmente en cada una de las filas en las que se desee calcular el índice compuesto. Es importante señalar que la suma de los valores de los pesos ingresados debe ser igual a 1, para cumplir con la condición indicada en 2.2.1.2d).

Con los valores de los pesos definidos como campos personalizados se debe crear el campo personalizado de número CI mediante su fórmula. Consecutivamente, este campo será incluido en la fórmula de estimación a la conclusión de costes basado en CI.

The image shows a dialog box titled 'Campo' with several sections. At the top, there are radio buttons for 'Tarea', 'Recurso', and 'Proyecto', and a 'Tipo:' dropdown menu set to 'Número'. Below this is a list of fields: 'Wt1 (CPI) (Número1)', 'Wt2 (SPI) (Número2)', 'CI (Número3)', 'CR (Número4)', 'beta (Número5)', 'Número de periodos (Número6)', and 'k (suavizamiento) (Número7)'. Below the list are buttons for 'Cambiar nombre...', 'Eliminar', 'Agregar campo a empresa...', and 'Importar campo...'. The next section is 'Atributos personalizados' with radio buttons for 'Ninguno', 'Buscar...', and 'Fórmula...'. The 'Cálculo de las filas de resumen de grupo y tarea' section has radio buttons for 'Ninguno', 'Resumen:' (with a dropdown set to 'Máximo'), and 'Usar fórmula'. The 'Cálculo de las filas de asignación' section has radio buttons for 'Ninguno' and 'Aplicar a menos que se indique manualmente'. The 'Valores para mostrar' section has radio buttons for 'Datos' and 'Indicadores gráficos...'. At the bottom are buttons for 'Ayuda', 'Aceptar', and 'Cancelar'.

Figura 24 Campos personalizados de los pesos Wt1 y Wt2 para CI.

Finalmente, si estos campos personalizados necesitan ser exportados a Excel deben seguirse los mismos pasos descritos en los métodos anteriores o lo descrito en 3.4c) y 3.4d)

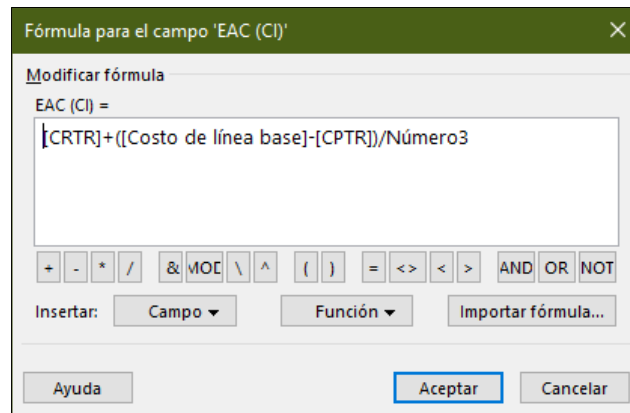


Figura 25 Fórmula de EAC (CI) en campo personalizado.

f) Método ES.

Como se pudo inferir en la descripción del método de la programación ganada, este método se fundamenta principalmente en la búsqueda de la mejora de control de la programación, a través de un nuevo valor SPI que depende de variables de tiempo, a diferencia del método tradicional de EVM donde el SPI se obtiene netamente desde valores de costes. Por lo tanto, la introducción de SPI de la programación ganada busca reemplazar el valor de SPI tradicional para el pronóstico de EAC de costes

EL origen del SPI_t, establecido principalmente en factores del cronograma y en particular el encontrar el valor del ES a través de la proyección de valor de EV en la curva de PV, constituye un inconveniente a la hora de integrar este método directamente en MS Project. El principal impedimento surge que la alternativa que de crear campos personalizados mediante fórmulas sólo aplica para cálculo en las mismas tareas o recursos y no permite realizar cálculos en base valores ordenados por períodos de tiempo. Es por esta razón que la programación ganada no se podría aplicar directamente en MS Project, siendo la inserción de macros para generar informes la única posibilidad de integrar este método a MS Project³⁸.

Ante la imposibilidad de obtener el valor ES y por consiguiente los valores de SPI_t y EAC(ES) mediante MS Project, la utilización de una hoja de cálculo se hace imprescindible. Para ello se utilizará como base una hoja de cálculo (ver Figura 26) desarrollada por W. Lipke, quién fue el primero en proponer el método de la programación ganada (Lipke, 2003).

³⁸ La programación mediante macros es un procedimiento complejo y requiere estudiar el lenguaje de programación VBA, por lo que queda fuera del alcance del presente estudio.

PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE MÉTODOS DE VALOR GANADO EN MS PROJECT

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	EVcum	PVcum	# Pc=>Sc	Numerator	Denominator	InterpVal	EScum	ESmo	SPI(t)mo	SPI(t)cum	AT	SV(t)mo	SV(t)cum
2	0	0									0		
3	93	93	1	0	551	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1	0.0000	0.0000
4	644	644	2	0	331	0.0000	2.0000	1.0000	1.0000	1.0000	2	0.0000	0.0000
5	1710	975	4	435	464	0.9375	4.9375	2.9375	2.9375	1.6458	3	1.9375	1.9375
6	2397	1275	6	105	1039	0.1011	6.1011	1.1636	1.1636	1.5253	4	0.1636	2.1011
7	3060	1739	6	768	1039	0.7392	6.7392	0.6381	0.6381	1.3478	5	-0.3619	1.7392
8	3923	2292	8	54	743	0.0727	8.0727	1.3335	1.3335	1.3454	6	0.3335	2.0727
9	4722	3331	9	110	915	0.1202	9.1202	1.0475	1.0475	1.3029	7	0.0475	2.1202
10	5743	3869	10	216	1048	0.2061	10.2061	1.0859	1.0859	1.2758	8	0.0859	2.2061
11	7369	4612	11	794	1416	0.5607	11.5607	1.3546	1.3546	1.2845	9	0.3546	2.5607
12	9005	5527	12	1014	1202	0.8436	12.8436	1.2829	1.2829	1.2844	10	0.2829	2.8436
13	10850	6575	14	19	2115	0.0090	14.0090	1.1654	1.1654	1.2735	11	0.1654	3.0090
14	12218	7991	14	1387	2115	0.6558	14.6558	0.6468	0.6468	1.2213	12	-0.3532	2.6558
15	13921	9193	15	975	1349	0.7228	15.7228	1.0670	1.0670	1.2094	13	0.0670	2.7228
16	15417	10831	16	1122	1756	0.6390	16.6390	0.9162	0.9162	1.1885	14	-0.0838	2.6390
17	18170	12946	18	362	1858	0.1948	18.1948	1.5559	1.5559	1.2130	15	0.5559	3.1948
18	20022	14295	19	356	1512	0.2354	19.2354	1.0406	1.0406	1.2022	16	0.0406	3.2354
19	21936	16051	20	758	1661	0.4564	20.4564	1.2209	1.2209	1.2033	17	0.2209	3.4564
20	24418	17808	21	1579	2034	0.7763	21.7763	1.3200	1.3200	1.2098	18	0.3200	3.7763
21	26186	19666	22	1313	1437	0.9137	22.9137	1.1374	1.1374	1.2060	19	0.1374	3.9137
22	27972	21178	24	252	1393	0.1809	24.1809	1.2672	1.2672	1.2090	20	0.2672	4.1809
23	29397	22839	25	284	1185	0.2397	25.2397	1.0588	1.0588	1.2019	21	0.0588	4.2397
24	30899	24873	26	601	1523	0.3946	26.3946	1.1550	1.1550	1.1998	22	0.1550	4.3946
25		26310	Pc=>Sc	NUM	DENOM	InterpVal	EScum	ESmo	SPI(t)mo	SPI(t)cum	AT	SV(t)mo	SV(t)cum
26		27720	Pc=>Sc	NUM	DENOM	InterpVal	EScum	ESmo	SPI(t)mo	SPI(t)cum	AT	SV(t)mo	SV(t)cum
27		29113	Pc=>Sc	NUM	DENOM	InterpVal	EScum	ESmo	SPI(t)mo	SPI(t)cum	AT	SV(t)mo	SV(t)cum
28		30298	Pc=>Sc	NUM	DENOM	InterpVal	EScum	ESmo	SPI(t)mo	SPI(t)cum	AT	SV(t)mo	SV(t)cum
29		31821	Pc=>Sc	NUM	DENOM	InterpVal	EScum	ESmo	SPI(t)mo	SPI(t)cum	AT	SV(t)mo	SV(t)cum
53	BAC Cc	1											

Figura 26 Plantilla "ES Calculator V1b Copyright 2003 Lipke".(Lipke, 2006)

Esta plantilla sólo requiere como datos de entrada los valores de los EV y PV acumulados filtrados por los períodos de tiempo en los cuales se realizará la monitorización del proyecto. Para poder obtener los valores acumulados de EV y PV desde MS Project es necesario exportar el informe visual del valor acumulado de las horas extras, ya que este tipo de informe permite filtrar los valores según períodos de tiempo.

Posteriormente se incluye el campo de EAC(ES) en la plantilla para finalmente obtener los pronósticos de costes respecto al índice de rendimiento del cronograma referido al tiempo.

=+SI(G3="";"";D3+(MAX(C:C)-G3)/P3)

F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
ACcum	EVcum	PVcum	# Pc=>Sc	Numerator	Denominator	InterpVal	EScum	ESmo	SPI(t)mo	SPI(t)cum	AT	SV(t)mo	SV(t)cum	EAC(ES)
0	0	0									0			
6012.5	6007.5	6007.5	1	0	6008	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1	0.0000	0.0000	P3)
12025	12015	12015	2	0	6008	0.0000	2.0000	1.0000	1.0000	1.0000	2	0.0000	0.0000	90380.00
18038	18023	18022.5	3	0	14508	0.0000	3.0000	1.0000	1.0000	1.0000	3	0.0000	0.0000	90385.00
29594	29406	32530	4	-3124	13500	-0.2314	3.7686	0.7686	0.7686	0.9422	4	-0.2314	-0.2314	94300.71
46390	46030	46030	5	0	13944	0.0000	5.0000	1.2314	1.2314	1.0000	5	0.2314	0.0000	90730.00
58160	57474	59974	6	-2500	10069	-0.2483	5.7517	0.7517	0.7517	0.9586	6	-0.2483	-0.2483	92476.04
71055	70043	70043	7	0	10469	0.0000	7.0000	1.2483	1.2483	1.0000	7	0.2483	0.0000	91382.00
77595	76262	80512	8	-4250	1969	-2.1585	5.8415	-1.1585	-1.1585	0.7302	8	-2.1585	-2.1585	96915.92
84135	82481	82481	9	0	1969	0.0000	9.0000	3.1585	3.1585	1.0000	9	2.1585	0.0000	92024.00
86340	84450	84450	10	0	400	0.0000	10.0000	1.0000	1.0000	1.0000	10	0.0000	0.0000	92260.00
86820	84850	84850	11	0	800	0.0000	11.0000	1.0000	1.0000	1.0000	11	0.0000	0.0000	92340.00
87780	85650	85650	12	0	880	0.0000	12.0000	1.0000	1.0000	1.0000	12	0.0000	0.0000	92500.00
88840	86530	86530	13	0	1405	0.0000	13.0000	1.0000	1.0000	1.0000	13	0.0000	0.0000	92680.00
90425	87935	87935	14	0	1880	0.0000	14.0000	1.0000	1.0000	1.0000	14	0.0000	0.0000	92860.00
92685	89815	89815	15	0	555	0.0000	15.0000	1.0000	1.0000	1.0000	15	0.0000	0.0000	93240.00
93460	0	90370	0	0	6008	0.0000	0.0000	-15.0000	-15.0000	0.0000	16	-16.0000	-16.0000	
			Pc=>Sc	NUM	DENOM	InterpVal	EScum	ESmo	SPI(t)mo	SPI(t)cum	AT	SV(t)mo	SV(t)cum	

Figura 27 Plantilla “ES Calculator V1b Copyright 2003 Lipke”-modificada.

g) Método índices mediante matrices.

La obtención de índices mediante matrices plantea una serie de operaciones matriciales que mezclan valores de recursos, tareas y tiempo, por lo tanto, las funciones de los campos personalizados no permiten realizar estas operaciones. Debido a lo anterior para aplicar este método es necesario exportar los datos a Excel.

Considerando lo establecido en el apartado 2.2.1.2f) las matrices básicas que se emplea en el método son: la matriz Actividades-Recursos Q_{wxr} , matriz Progreso-Tiempo P_{wxt} , vector Costes unitarios de recursos U_{rx1} , vector Costes unitarios reales de recursos UA_{rx1} y matriz Progreso – Tiempo real AP_{wxt} . Las que pueden ser obtenidas de MS Project, a partir de las siguientes tablas o informes:

- Q_{wxr} : Esta matriz se puede obtener directamente desde alguno de los informes del uso de la asignación, en el cual se deben filtrar los campos de las tablas dinámicas con las tareas en las filas, recursos en las columnas y en los valores a mostrar se debe seleccionar el trabajo (ver Figura 28)
- P_{wxt} : Esta matriz corresponde al porcentaje del trabajo previsto de cada tarea por período de tiempo, por lo que para obtener la matriz es necesario extraer los valores del trabajo previsto a través de una plantilla de informe visual seleccionando mostrar el tiempo en las columnas y las tareas en las filas (Figura 29). Posteriormente, en otra hoja de cálculo se deben transformar las horas de trabajo previsto en porcentaje, dividiendo cada valor por el total de horas de trabajo previsto para cada tarea.

PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE MÉTODOS DE VALOR GANADO EN MS PROJECT

- U_{rx1} : En el vector unitario de los recursos equivale a la tasa estándar de los recursos, por lo tanto, existen varias opciones de obtener directamente este vector. La primera opción es copiar las celdas correspondientes a la tasa estándar desde la vista de hoja recursos, con el único inconveniente que los valores copiados incluirán las unidades en las celdas, teniendo que transformarlos en Excel previo a realizar las operaciones. La segunda opción es extraer los valores mediante informes visuales filtrando los valores de tasa estándar con los recursos en las filas, esta opción no incluye las unidades en las celdas, por lo tanto, las operaciones pueden realizarse de forma directa.
- UA_{rx1} : Debido a que MS Project no tiene un campo para introducir una tasa de trabajo real y, por lo tanto, cuando existe una variación entre coste unitario y coste unitario real, la solución adoptada es introducir las nuevas tasas después de haber guardado la línea base. Con esto el cálculo de los costes reales se realizará con la nueva tasa estándar establecida. Para extraer los valores se seguirán los mismos pasos señalados para U_{rx1} .
- AP_{wxt} : Esta matriz corresponde al porcentaje completado del trabajo real de cada tarea por período de tiempo, similar a la matriz P_{wxt} . Por lo tanto, para obtener esta matriz se deben seguir los mismos pasos utilizados en P_{wxt} , pero esta vez seleccionando los valores del trabajo real. Como alternativa el progreso se puede obtener a través de la vista uso de tarea en el área de la escala temporal, donde con el botón secundario se debe seleccionar mostrar porcentaje completado, en caso de no estar disponible se debe agregar en la opción “Estilos de detalle” (ver Figura 31).

Tarea	Recursos	Trabajo
Tarea 2	Carpintero	
	Grua con operador	
	Eléctrico	
Pilotes		
Cristales		680
Excavación		
Estructuras		
Zonas húmedas		
Puertas y vigas		160
Tabiques y techos		320
Persianas		20
Pintado		
puertas y ferros		50
Alfombras y paneles de muro		
		530
		680
		20

Figura 28 Q_{wxr} en plantilla de informe visual.

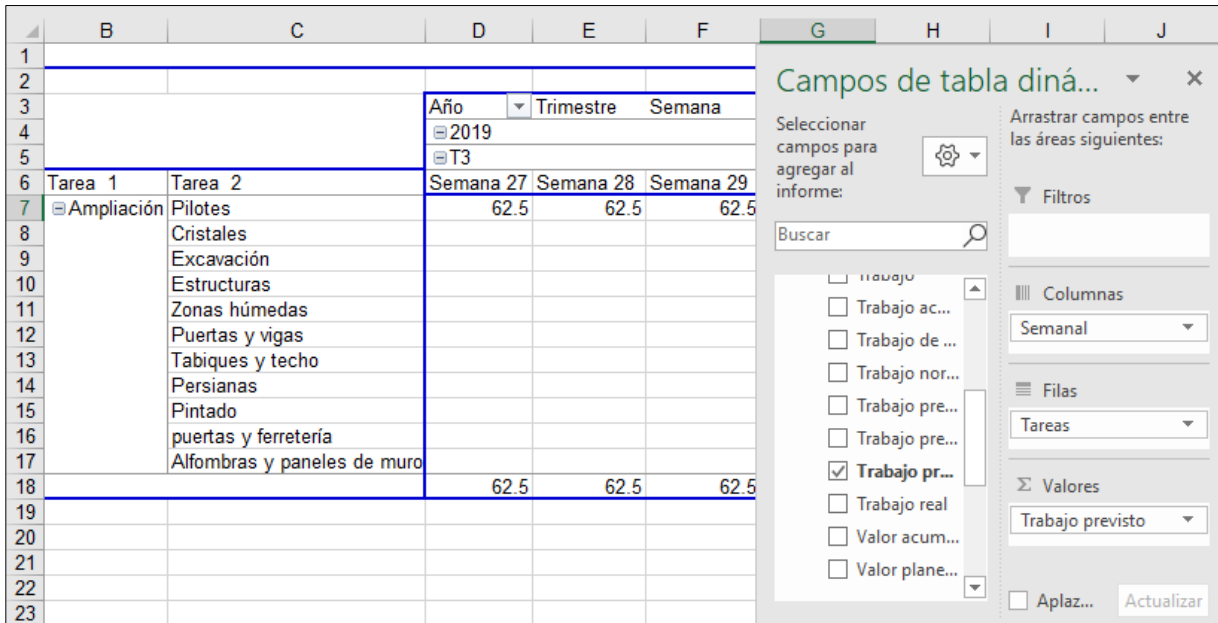


Figura 29 Trabajo previsto por tarea en plantilla de informe visual.

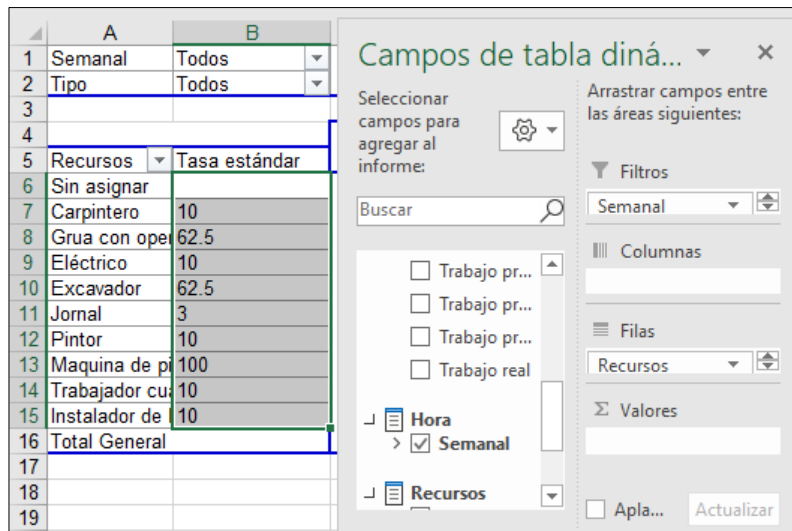


Figura 30 U_{rx1} en plantilla de informe visual.

PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE MÉTODOS DE VALOR GANADO EN MS PROJECT

Nombre de tarea	Comienzo real	Fin real	Detalles	01-07	08-07	15-07	22-07
1 Ampliación de	lun 01-07-19	vie	% com	3%	3%	3%	4%
2 ▸ Pilotes	lun 01-07-19	vie 02-08-19	% com	25%	25%	25%	12%
3 ▸ Cristales	lun 22-07-19	vie 30-08-19	% com				20%
4 ▸ Excavación	lun 29-07-19	vie 16-08-19	% com				
5 ▸ Estructuras	lun 05-08-19	vie 06-09-19	% com				
6 ▸ Zonas húmeda	lun 12-08-19	vie 06-09-19	% com				
7 ▸ Puertas y viga	lun 19-08-19	vie 13-09-19	% com				
8 ▸ Tabiques y tec	lun 16-09-19	vie 11-10-19	% com				
9 ▸ Persianas	lun 23-09-19	vie 18-10-19	% com				
10 ▸ Pintado	lun 30-09-19	vie 11-10-19	% com				
11 ▸ puertas y	lun 07-10-19	vie	% com				
12 ▸ Alfombras y	lun 07-10-19	vie	% com				

Figura 31 AP_{wxt} en vista uso de tareas.

Una vez que se han copiado todas las matrices en una hoja de cálculo, el siguiente paso es realizar los cálculos señalados para este método para obtener las matrices de EV, AC y PV. Consecutivamente calcular los valores de SPI y CPI semanalmente y la estimación a la conclusión de los costes con los valores promedios de cada uno de los índices y con los índices de CR y CI, que también dependen de CPI y SPI.

	A	B	C	SUMA(número1; [número2]; ...)	F	G	H
87 Cwxt/PV	Semana 27	Semana 28	Semana 29	Semana 30	Semana 31	Semana 32	Semana 33
100 total	6,007.50 €	6,007.50 €	6,007.50 €	14,507.50 €	13,500.00 €	13,944.00 €	10,069.00 €
133 EV	Semana 27	Semana 28	Semana 29	Semana 30	Semana 31	Semana 32	Semana 33
146 total	6,007.50 €	6,007.50 €	6,007.50 €	11,383.60 €	16,623.90 €	11,444.00 €	12,569.00 €
148 AC	Semana 27	Semana 28	Semana 29	Semana 30	Semana 31	Semana 32	Semana 33
160 total	6,012.50 €	6,012.50 €	6,012.50 €	11,556.00 €	16,796.50 €	11,770.00 €	12,895.00 €
162 CPI	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97
163 SPI	1.00	1.00	1.00	0.78	1.23	0.82	1.25
164 CR	1.00	1.00	1.00	0.77	1.22	0.80	1.22
165 CI	1.00	1.00	1.00	0.94	1.04	0.94	1.03
167 EAC(CPI)	=+SUMA(\$160:\$160)+(SUMA(\$100:\$100)-SUMA(\$146:\$146))/PROMEDIO(B162:Q162)						
168 EAC(SPI)	93,460.00 €						
169 EAC(CR)	93,460.00 €						
170 EAC(CI)	93,460.00 €						

Figura 32 EAC con mediante índice con matrices en hoja de cálculo.

h) Método de suavizamiento exponencial.

El caso del método del suavizamiento exponencial los cálculos para obtener el EAC se basan en valores de EV y AC de períodos anteriores. En consecuencia, su integración con MS Project no es posible, ya que como se indicó anteriormente, las fórmulas de los campos personalizados no permiten utilizar datos filtrados por tiempo. Debido a lo previamente expuesto, para utilizar este método es necesario exportar los valores de valor ganado a Excel.

Los datos necesarios para poder aplicar estos métodos son los valores de EV, AC y PV obtenidos por períodos de tiempo. Al ser datos que deben filtrarse por tiempo, la opción correcta para la exportación de los valores es utilizar los informes visuales, en particular el informe del valor acumulado de las horas extras.

A partir de los datos de los datos exportados y definiendo el valor de suavizamiento beta, valor que define cuanto peso tiene el rendimiento del trabajo ya ejecutado, se establece en una hoja de cálculo las fórmulas indicadas en 2.2.1.3a) para la obtención de la estimación a la conclusión de los costes.

Datos				k	TtEV	TtAC	EAC
Semana	Valor acumul	Valor planea	AC				
0					5,648.13 €	5,648.13 €	90,370.00 €
Semana 27	6,007.50 €	6,007.50 €	6,012.50 €	14.7486888	5,720.00 €	5,721.00 €	90,389.75 €
Semana 28	12,015.00 €	12,015.00 €	12,025.00 €	13.5620943	5,777.50 €	5,779.30 €	K11
Semana 29	18,022.50 €	18,022.50 €	18,037.50 €	12.4233708	5,823.50 €	5,825.94 €	90,415.31 €
Semana 30	29,406.10 €	32,530.00 €	29,593.50 €	8.79009793	6,935.52 €	6,971.95 €	90,877.64 €
Semana 31	46,030.00 €	46,030.00 €	46,390.00 €	4.99707208	8,873.20 €	8,936.86 €	91,048.14 €
Semana 32	57,474.00 €	59,974.00 €	58,160.00 €	3.50428781	9,387.36 €	9,503.49 €	91,462.96 €
Semana 33	70,043.00 €	70,043.00 €	71,055.00 €	2.02789684	10,023.69 €	10,181.79 €	91,702.62 €
Semana 34	76,262.00 €	80,512.00 €	77,595.00 €	1.52309007	9,262.75 €	9,453.43 €	91,993.43 €
Semana 35	82,481.00 €	82,481.00 €	84,135.00 €	0.91160171	8,654.00 €	8,870.75 €	92,221.59 €
Semana 36	84,450.00 €	84,450.00 €	86,340.00 €	0.80907487	7,317.00 €	7,537.60 €	92,438.48 €
Semana 37	84,850.00 €	84,850.00 €	86,820.00 €	0.9302954	5,933.60 €	6,126.08 €	92,519.06 €
Semana 38	85,650.00 €	85,650.00 €	87,780.00 €	0.96191483	4,906.88 €	5,092.86 €	92,678.90 €
Semana 39	86,530.00 €	86,530.00 €	88,840.00 €	0.93624205	4,101.50 €	4,286.29 €	92,853.00 €
Semana 40	87,935.00 €	87,935.00 €	90,425.00 €	0.6835658	3,562.20 €	3,746.03 €	92,985.66 €
Semana 41	89,815.00 €	89,815.00 €	92,685.00 €	0.17205236	3,225.76 €	3,448.83 €	93,278.38 €
Semana 42	90,370.00 €	90,370.00 €	93,460.00 €	0	2,691.61 €	2,914.06 €	93,460.00 €

Figura 33 Hoja de cálculo con cálculo de EAC con mediante suavizamiento exponencial.

i) Método índice de relación de esfuerzo.

Los cálculos requeridos para la obtención de los índices de relación de esfuerzo dependen directamente de los valores de los índices de rendimiento (CPI y SPI) y de la relación de tareas completadas respecto a las totales (también se puede utilizar la relación de progreso de duración). Por ende, es posible utilizar MS Project para visualizar este índice dentro de los campos personalizados.

Antes de ingresar el campo personalizado del índice de esfuerzo de los costes, es necesario establecer una serie de campos personalizados que nos permitirán realizar este cálculo. Tal como se indicó en la explicación del método, lo primero que debemos considerar es el cálculo del factor de coste Fa, que corresponde al valor inverso de CPI; por lo tanto, se ingresa un campo personalizado con la fórmula que entregue el valor inverso de CPI. Segundo, se debe establecer un campo que indique la cantidad de tareas que se han ejecutado, esto se realiza a través de un campo personalizado (N) que sume en la tarea de resumen del proyecto todas aquellas tareas que ya contengan un valor para el valor ganado (ver Figura 34). Tercero, se debe ingresar un campo de número en el cual se ingrese la relación de tareas completadas o tiempo respecto al total (xn), el cual solo será un campo de entrada (sólo se debe llenar para el campo de tarea de resumen del proyecto). Cuarto, se requiere que se calcule un Fa promedio a través de un campo personalizado que divida el valor de la suma de Fa de la tarea resumen del proyecto por N. Finalmente con todos estos campos establecidos (Fa, N, Xn y Fa promedio) se crea el campo de índice de relación de esfuerzo a través de su fórmula (Figura 35)

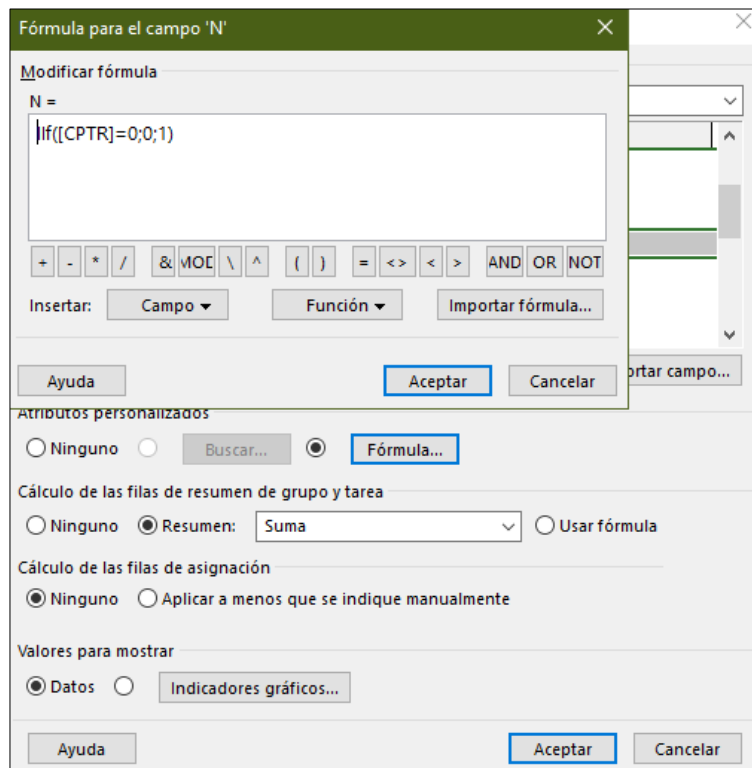


Figura 34 Campo personalizado de N (tareas ejecutadas).

Cabe de resaltar, que para los valores de Fa Promedio e índice de esfuerzo de costes calculados solo tiene relevancia los datos mostrados en la fila de resumen del proyecto. Además de señalar que este método solo es válido hasta el valor definido como $x_n = x_s$, tal como se señaló en el punto 2.2.1.3b).

Junto con la aplicación del método mediante MS Project, también existe la alternativa de aplicar el método en Excel mediante la exportación de datos de valor ganado a una hoja de cálculo. Trabajar con el método en una hoja de cálculo ofrece la posibilidad de calcular el índice de esfuerzo respecto a los índices de rendimientos filtrados por períodos de tiempo, además de por tareas.

El cálculo del índice de esfuerzo en una hoja de cálculo comienza con la generación del informe visual del valor acumulado de las horas extras con los valores de EV, AC y PV. Valores con los cuales se obtienen CPI y SPI (para este ejemplo sólo se utilizar los índices de costes), filtrados por período de tiempo. Con el índice calculado es posible obtener el Fa a través del valor inverso ($1/CPI$) y por consiguiente el valor promedio de éste. Por su lado el valor de x_n , se calcula a partir de conteo de los valores disponibles de EV y del total de períodos del proyecto. Con estas variables, finalmente, se fórmula la celda de índice de esfuerzos de costes mediante la ecuación Ec. 41

Error! No se encuentra el origen de la referencia.

descrita en el método.

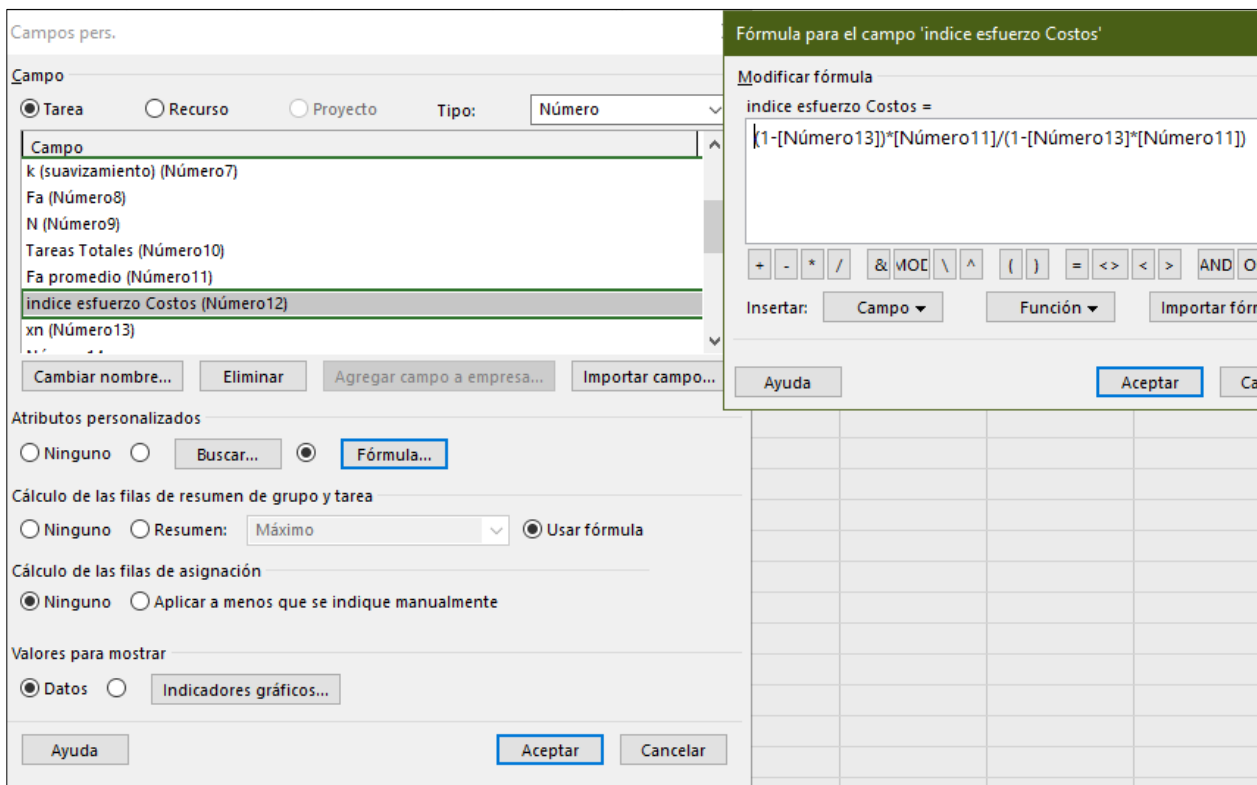


Figura 35 Campo personalizado Índice de esfuerzo de costes.

PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE MÉTODOS DE VALOR GANADO EN MS PROJECT

SUMA								
=+(1-H4)*(I23)/(1-I23*H4)								
	B	C	D	E	F	G	H	I
1								
2						M	16	
3						N	11	
4						xn	0.6875	
5								
6	Trimestre	Semana	Valor acumulado	Valor planeado	AC	CPI	SPI	Fa
7	T1	Semana 27	6007.5	6007.5	6012.5	1.00	1.00	1.00
8		Semana 28	12015	12015	12025	1.00	1.00	1.00
9		Semana 29	18022.5	18022.5	18037.5	1.00	1.00	1.00
10	Total T1	Semana 30	29406.1	32530	29593.5	0.99	0.90	1.01
11		Semana 31	46030	46030	46390	0.99	1.00	1.01
12		Semana 32	57474	59974	58160	0.99	0.96	1.01
13		Semana 33	70043	70043	71055	0.99	1.00	1.01
14		Semana 34	76262	80512	77595	0.98	0.95	1.02
15		Semana 35	82481	82481	84135	0.98	1.00	1.02
16		Semana 36	84450	84450	86340	0.98	1.00	1.02
17		Semana 37	84850	84850	86820	0.98	1.00	1.02
18		Semana 38		85650				
19		Semana 39		86530				
20		Semana 40		87935				
21		Semana 41		89815				
22		Semana 42		90370				
23						Promedio		1.01
24						Índice de esfuerzo		I23)/(1-I23*H4)

Figura 36 Hoja de cálculo del índice de relación de esfuerzo de costes

CAPÍTULO 5. CASO PRÁCTICO

El presente capítulo tiene como primer objetivo describir y establecer los datos existentes de un proyecto, recogido en la literatura, el cual servirá de base para el desarrollo de los diferentes métodos de control de coste seleccionados en el capítulo anterior.

En un segundo punto se explicarán como se realiza el ingreso de datos de planificación en MS Project, estableciendo la configuración inicial general y datos particulares a tener en consideración. Posteriormente se expondrá cómo se introducen los datos reales de ejecución y el procedimiento para obtener los datos de seguimiento para el análisis de los valores de control.

5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

Tal como se indicó en el párrafo anterior, el proyecto seleccionado para el desarrollo y análisis de los métodos de control de costes con MS Project se extrae desde la literatura revisada, en particular se trata del ejemplo de desarrollo inserto en el artículo que establece el método de las matrices de Chen (2008).

a) Selección de caso.

La elección de este caso práctico deriva del análisis de los distintos escenarios de ejemplos de caso práctico. Estos escenarios hacen referencia, en particular, a la cantidad y tipo de datos que se incluirían para realizar la planificación y, en especial, el seguimiento del proyecto. De esta labor se identificaron los siguientes escenarios básicos de combinación de datos:

- Tareas sólo con duración.
- Tareas con duración y costes fijos.
- Tareas con duración, recursos, costes fijos y trabajo de recursos.
- Tareas con duración, recursos, costes fijos y trabajo de recursos con tasas estándar.
- Tareas con duración, recursos y trabajo de recursos con tasas estándar.
- Tareas con duración, recursos, trabajo de recursos con tasas estándar y recursos de costo fijo.

Considerando estos escenarios, y como el fin de este estudio es el análisis de los métodos de control de costes, el caso práctico debe incluir al menos una variable que considere el costo de las tareas, siendo a la vez el caso más completo aquel que incluye recursos con tasas estándar y recursos de costes fijos o

CASO PRÁCTICO

costes fijos de tareas. Sin embargo, la dificultad de encontrar en la literatura casos reales que contengan todos estos datos imposibilita su uso, a menos que se simule un proyecto ficticio.

Finalmente, el ejemplo escogido se describe como un escenario que incluye información de las tareas con duración, recursos y trabajo de recursos con costes de tasas estándar.

El proyecto ejemplificado corresponde a una reforma en la biblioteca comunitaria Ang Mo Kio de Singapur, que se ejecutó entre marzo del 2002 y octubre del 2002

b) Tareas.

El proyecto corresponde a un proyecto de construcción y se definen las siguientes tareas simplificadas:

- Pilotes (instalación de pilotes).
- Cristales (instalación de cristales).
- Excavación.
- Estructuras.
- Zonas húmedas.
- Marcos de puertas.
- Tabiques y techo.
- Persianas.
- Pintado.
- Puertas y ferretería.
- Alfombras y revestimiento de muros.

Los nombres de las tareas señaladas se obtienen de la traducción mas cercana de los procesos realizados en cada tarea. Las tareas que se señalan como elementos o zonas del edificio hacen referencia a los trabajos necesarios para construir o instalar esos elementos o zonas.

c) Recursos

Para realizar las tareas se establecen una serie de distintos recursos de mano de obra a asignar según las tareas a ejecutar. Los recursos definidos son los siguientes:

- Carpintero.
- Grúa con operador.
- Eléctrico.
- Excavador.
- Jornalero.

- Pintor.
- Máquina de pilotes con operador.
- Trabajador cualificado.
- Instalador de baldosas.

d) Valores de planificación.

A continuación, se muestran los valores de las tasas estándar de los recursos. Cabe mencionar que los valores originales se encuentran expresados en dólares, para el fin de este trabajo se mantendrán las mismas cifras, pero se expresarán en euros.

El ejemplo considera la asignación de los recursos a las tareas definidas (Tabla 4) y define la duración y la cantidad de trabajo (prorrateado) de cada recurso en cada tarea (Tabla 5).

Nombre del recurso	Tasa estándar
Carpintero	€10.00/hora
Grúa con operador	€500.00/día
Eléctrico	€10.00/hora
Excavador	€500.00/día
Jornalero	€3.00/hora
Pintor	€10.00/hora
Máquina de pilotes con operador	€800.00/día
Trabajador cualificado	€10.00/hora
Instalador de baldosas	€10.00/hora

Tabla 3 Tasas de trabajo de los recursos del caso práctico.

CASO PRÁCTICO

Nombre de tarea	Nombres de los recursos
Pilotes	Jornalero; Máquina de pilotes con operador
Cristales	Grúa con operador
Excavación	Excavador
Estructuras	Jornalero; Trabajador cualificado
Zonas húmedas	Instalador de baldosas
Marco de puertas	Carpintero
Tabiques y techo	Carpintero
Persianas	Eléctrico; Jornalero
Pintado	Pintor
Puertas y ferretería	Carpintero
Alfombras y revestimiento de muro	Jornalero

Tabla 4 Recursos asignados a cada tarea – Caso práctico.

Nombre de tarea	Nombres de los recursos	Duración	Trabajo
	Pilotes	4 sem.	250 horas
	<i>Jornalero</i>		<i>10 horas</i>
	<i>Máquina de pilotes con operador</i>		<i>240 horas</i>
	Cristales	5 sem.	680 horas
	<i>Grúa con operador</i>		<i>680 horas</i>
	Excavación	2 sem.	160 horas
	<i>Excavador</i>		<i>160 horas</i>
	Estructuras	5 sem.	390 horas
	<i>Jornalero</i>		<i>240 horas</i>
	<i>Trabajador cualificado</i>		<i>150 horas</i>
	Zonas húmedas	4 sem.	450 horas
	<i>Instalador de baldosas</i>		<i>450 horas</i>
	Marco de puertas	4 sem.	160 horas
	<i>Carpintero</i>		<i>160 horas</i>
	Tabiques y techo	4 sem.	320 horas
	<i>Carpintero</i>		<i>320 horas</i>
	Persianas	4 sem.	60 horas
	<i>Eléctrico</i>		<i>20 horas</i>
	<i>Jornalero</i>		<i>40 horas</i>
	Pintado	2 sem.	105 horas
	<i>Pintor</i>		<i>105 horas</i>
	puertas y ferretería	2 sem.	50 horas
	<i>Carpintero</i>		<i>50 horas</i>
	Alfombras y revestimiento de muro	2 sem.	150 horas
	<i>Jornalero</i>		<i>150 horas</i>

Tabla 5 Cantidad de duración y trabajo asignado para cada recurso y tarea – caso práctico.

 e) Valores de ejecución.

Conjuntamente a los valores de planificación, el ejemplo del artículo considera los valores reales de ejecución del proyecto, definiendo primero un valor real del costo de los recursos:

CASO PRÁCTICO

Nombre del recurso	Tasa estándar
Carpintero	€12.00/hora
Grúa con operador	€510.00/día
Eléctrico	€10.00/hora
Excavador	€500.00/día
Jornalero	€5.00/hora
Pintor	€10.00/hora
Máquina de pilotes con operador	€800.00/día
Trabajador cualificado	€12.00/hora
Instalador de baldosas	€10.00/hora

Tabla 6 Costes reales unitarios (tasa estándar real) de los recursos – Caso práctico.

Asimismo, se define el progreso del trabajo completado con respecto al tiempo:

Nombre de tarea	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
Pilotes	25%	25%	25%	12%	13%											
Cristales				20%	20%	20%	20%	10%	10%							
Excavación					50%	25%	25%									
Estructuras						20%	20%	20%	20%	20%	0%					
Zonas húmedas							25%	25%	25%	25%						
Marcos de puertas								25%	25%	25%	25%					
Tabiques y techo												25%	25%	25%	25%	
Persianas													25%	25%	25%	25%
Pintado														50%	50%	
Puertas y ferretería															50%	50%
Alfombras y Revestimiento de muro															50%	50%

Tabla 7 Progreso real de las tareas – Caso práctico.

5.2 INGRESO DE DATOS EN MS PROJECT.

5.2.1 Planificación.

Previo al proceso de ingresar los datos de planificación definidos para el proyecto es necesario revisar y configurar algunos aspectos generales en MS Project.

Al abrir un nuevo proyecto los primeros datos que se deben definir son los datos de la opción información del proyecto (Proyecto>Información del proyecto). Una vez abierta la ventana, se define la fecha de comienzo del proyecto. En este caso se modificará la fecha original, usando como comienzo ficticio el 01/07/2019. El siguiente dato relevante para el proyecto es el de establecer el tipo de calendario que utiliza el proyecto, en particular para proyecto se seleccionará el calendario estándar de MS Project. El calendario estándar establece el siguiente horario: de lunes a viernes con jornadas laborales de 9:00 a 13:00 y de 15:00 a 19:00 horas, por lo tanto, se consideran 40 horas a la semana.

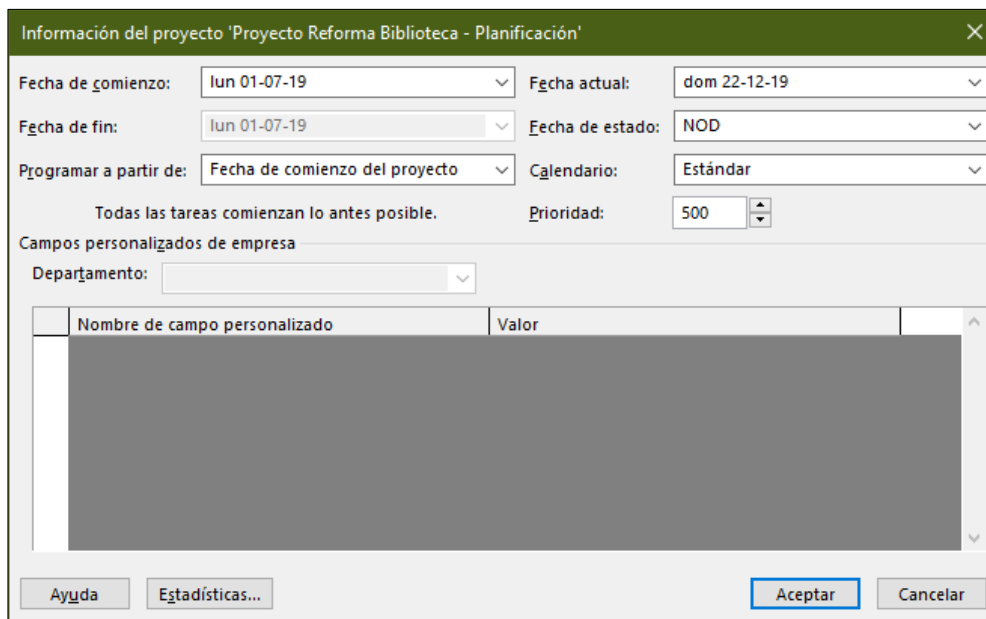


Figura 37 Ventana Información del Proyecto – Aplicación de caso práctico.

Estando definida la información básica del proyecto, el próximo paso es ingresar el listado de tareas del proyecto. Para introducir los datos de las tareas, se recomienda utilizar las vistas de hoja de tareas o diagrama de Gantt. Estas vistas, de forma predefinidas, muestran y permiten el ingreso de los datos de duración, fecha de comienzo, tareas predecesoras y nombre de recursos.

Antes de ingresar el listado de tarea es conveniente, para este caso se marca que la programación de las tareas se realice de forma manual, debido a que alguna de las tareas los recursos no trabajan la jornada completa, por tanto, las horas de trabajo son menores a la duración completa según calendario. Al programar las tareas manualmente, para este caso no es posible marcar la opción tipo de tarea, que relaciona el trabajo respecto de la duración y las unidades asignadas.

Al ingresar el listado se define una tarea resumen del proyecto llamada “Reforma Biblioteca Comunitaria”. Dentro de las tareas definidas en el ejemplo no existen hitos, subtareas o tareas repetitivas, por lo tanto, sólo se ingresan en la columna tareas sin más pasos adicionales. Junto con ingresar las tareas se introducen las duraciones respectivas.

El siguiente paso dentro de la programación de las tareas es vincular las tareas. Si bien es cierto, en el ejemplo no se señalan explícitamente las dependencias entre las tareas, desde los datos de progreso de las tareas se pueden inferir ciertas relaciones entre las tareas. Estas dependencias se introducen en la columna “predecesoras”, introduciendo el ID de la tarea con su correspondiente vinculación (CC, FF, CF, FC) y posposición (adelanto o retraso). Otra opción de incluir las dependencias tarea por tarea es hacer doble clic y seleccionar la pestaña predecesora.

		Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predeceso	Tipo
1			Reforma Biblioteca C	16 sem.	lun 01-07-19	vie 18-10-19		Duración fija
2			Pilotes	4 sem.	lun 01-07-19	vie 26-07-19		Trabajo fijo
3			Cristales	5 sem.	lun 22-07-19	vie 23-08-19	2FC-1 sem	Trabajo fijo
4			Excavación	2 sem.	lun 29-07-19	vie 09-08-19	2	Trabajo fijo
5			Estructuras	5 sem.	lun 05-08-19	vie 06-09-19	4FC-1 sem	Trabajo fijo
6			Zonas húmedas	4 sem.	lun 12-08-19	vie 06-09-19	4	Trabajo fijo
7			Marcos de puertas	4 sem.	lun 19-08-19	vie 13-09-19	5CC+2 sem.	Trabajo fijo
8			Tabiques y techo	4 sem.	lun 16-09-19	vie 11-10-19	7	Trabajo fijo
9			Persianas	4 sem.	lun 23-09-19	vie 18-10-19	8CC+1 sem	Trabajo fijo
10			Pintado	2 sem.	lun 30-09-19	vie 11-10-19	8CC+2 sem.	Trabajo fijo
11			Puertas y ferreteri	2 sem.	lun 07-10-19	vie 18-10-19	8FC-1 sem	Trabajo fijo
12			Alfombras y reves	2 sem.	lun 07-10-19	vie 18-10-19	8FC-1 sem	Trabajo fijo

Figura 38 Vista de tareas planificadas sin asignación de recursos.

Debido a que el ejemplo escogido el trabajo se basa en el trabajo asignado a través de los recursos que intervienen en cada tarea, el siguiente procedimiento en la planificación del proyecto es ingresar la información relativa a los recursos. Una de las formas de realizar este procedimiento es mediante la vista hoja de recursos, donde de forma predeterminada se muestran las columnas más relevantes en la mayoría de los proyectos, como lo son: tasa estándar, tasa horas extras, tipo, costo por uso, capacidad, calendario entre otros.

CAPÍTULO 5 - CASO PRÁCTICO

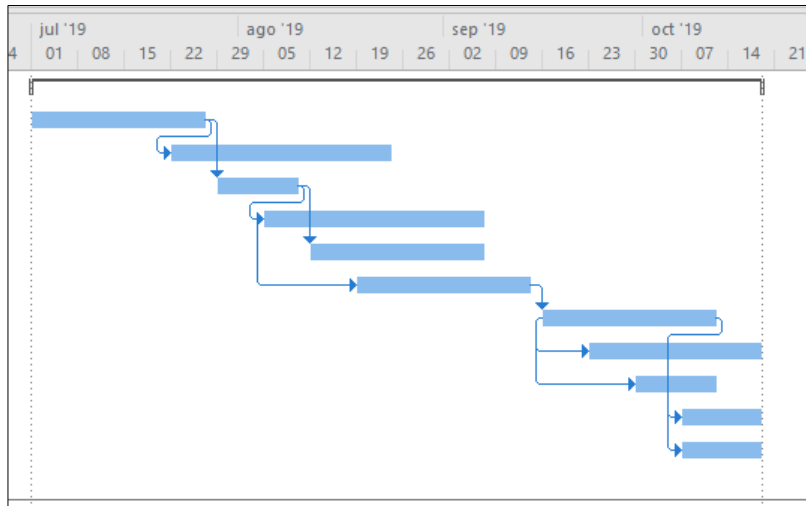


Figura 39 Diagrama de Gantt de las tareas planificadas.

Al ingresar el nombre de los recursos automáticamente MS Project, rellena varias de las casillas con valores predeterminados, por lo que sólo es necesario rellenar aquellas relacionadas con el ejemplo analizado. Para este caso se ingresa sólo el valor de la tasa estándar manteniendo las casillas restantes con los valores predeterminados. El valor de la capacidad de los recursos se determinará en función de las unidades necesarias.

		Nombre del	Tipo	Iniciales	Capacidad	Tasa	Tasa horas	Costo/U:	Acumu	Calendario
1		Carpintero	Trabajo	C	300%	€10.00/hora	€0.00/hora	€0.00	Prorrateo	Estándar
2		Grúa con operador	Trabajo	G	340%	€500.00/día	€0.00/hora	€0.00	Prorrateo	Estándar
3		Eléctrico	Trabajo	E	100%	€10.00/hora	€0.00/hora	€0.00	Prorrateo	Estándar
4		Excavador	Trabajo	E	200%	€500.00/día	€0.00/hora	€0.00	Prorrateo	Estándar
5		Jornalero	Trabajo	J	300%	€3.00/hora	€0.00/hora	€0.00	Prorrateo	Estándar
6		Pintor	Trabajo	P	200%	€10.00/hora	€0.00/hora	€0.00	Prorrateo	Estándar
7		Máquina de pilotes con operador	Trabajo	M	200%	€800.00/día	€0.00/hora	€0.00	Prorrateo	Estándar
8		Trabajador cualificado	Trabajo	T	100%	€10.00/hora	€0.00/hora	€0.00	Prorrateo	Estándar
9		Instalador de baldosas	Trabajo	I	300%	€10.00/hora	€0.00/hora	€0.00	Prorrateo	Estándar

Figura 40 Hoja de recursos planificados.

Con los recursos ya introducidos, a continuación, se asignan los recursos a las distintas tareas mediante la vista formulario de tareas (Figura 41 Vista dividida Uso de tareas – Formulario de tareas.), ingresando los valores de trabajo y las unidades. Estos últimos al no estar especificados se deben calcular manualmente dividiendo por la duración. En el efecto que MS Project alerte de conflictos con respecto a la sobre asignación de los recursos debido a la capacidad máxima disponible, será necesario modificar la capacidad de los recursos, de acuerdo con los recursos requeridos.

Id	Modo de	Nombre de tarea	Trabajo	Duración	Comienzo	Fin	Detalles	julio 2019		
								01-07	08-07	15-07
1		Reforma Biblioteca C	775 horas	16 sem.	lun 01-07-19	vie 18-10-19	Trab.	62.5h	62.5h	62.5h
2		Pilotes	250 horas	4 sem.	lun 01-07-19	vie 26-07-19	Trab.	62.5h	62.5h	62.5h
3		Cristales	680 horas	5 sem.	lun 22-07-19	vie 23-08-19	Trab.			
4		Excavación	160 horas	2 sem.	lun 29-07-19	vie 09-08-19	Trab.			
5		Estructuras	390 horas	5 sem.	lun 05-08-19	vie 06-09-19	Trab.			
6		Zonas húmedas	450 horas	4 sem.	lun 12-08-19	vie 06-09-19	Trab.			
7		Marcos de	160 horas	4 sem.	lun 19-08-19	vie 13-09-19	Trab.			
8		Tabiques y techo	320 horas	4 sem.	lun 16-09-19	vie 11-10-19	Trab.			
9		Persianas	60 horas	4 sem.	lun 23-09-19	vie 18-10-19	Trab.			
10		Pintado	105 horas	2 sem.	lun 30-09-19	vie 11-10-19	Trab.			
11		Puertas y	50 horas	2 sem.	lun 07-10-19	vie 18-10-19	Trab.			
12		Alfombras y	150 horas	2 sem.	lun 07-10-19	vie 18-10-19	Trab.			

Nombre:	Pilotes	Duración:	4 sem.	<input checked="" type="checkbox"/> C. por el esfuerzo	<input type="checkbox"/> Programada manualmente	Anterior	Siguiente
Comienzo:	lun 01-07-19	Fin:	vie 26-07-19	Tipo de tarea:	Trabajo fijo	% completado:	0%

Id	Nombre del recurso	Unidades	Trabajo	Trab h extra	Trab previsto	Trab real	Trab rest
5	Jornalero	5%	10h	0h	0h	0h	10h
7	Máquina de pilotes con operador	150%	240h	0h	0h	0h	240h

Nuevas tareas : Programada automáticamente

Figura 41 Vista dividida Uso de tareas – Formulario de tareas.

5.2.2 Ejecución.

Los datos reales del proyecto estudiado conforman la base de las posibles comparativas entre los distintos métodos de control. Esta información real representa lo realmente ocurrido en el transcurso del proyecto, por lo que es el escenario que se evaluará respecto a los datos planificados ingresados en apartado anterior.

Previo al ingreso de los datos reales se debe establecer una línea base de los datos planificados. Para guardar esta línea base se debe seleccionar la pestaña proyecto>Establecer línea base. En esta ventana se selecciona la línea base en la lista desplegable en la cual se guardarán los datos ingresado hasta el momento y se marca la opción de establecer para el proyecto completo, finalmente haciendo Clic en “Aceptar”.

Además de establecer la línea base es recomendable revisar las opciones de Project respecto al cálculo de la actualización de la información y la programación de las tareas restantes. Para llevar a cabo esta

CAPÍTULO 5 - CASO PRÁCTICO

labor se debe seleccionar Archivo>Opciones, abriéndose el cuadro de diálogo Opciones de Project. Dentro del cuadro de dialogo se identifican dos secciones que tiene relación con el cálculo, la sección programación y la sección avanzado.

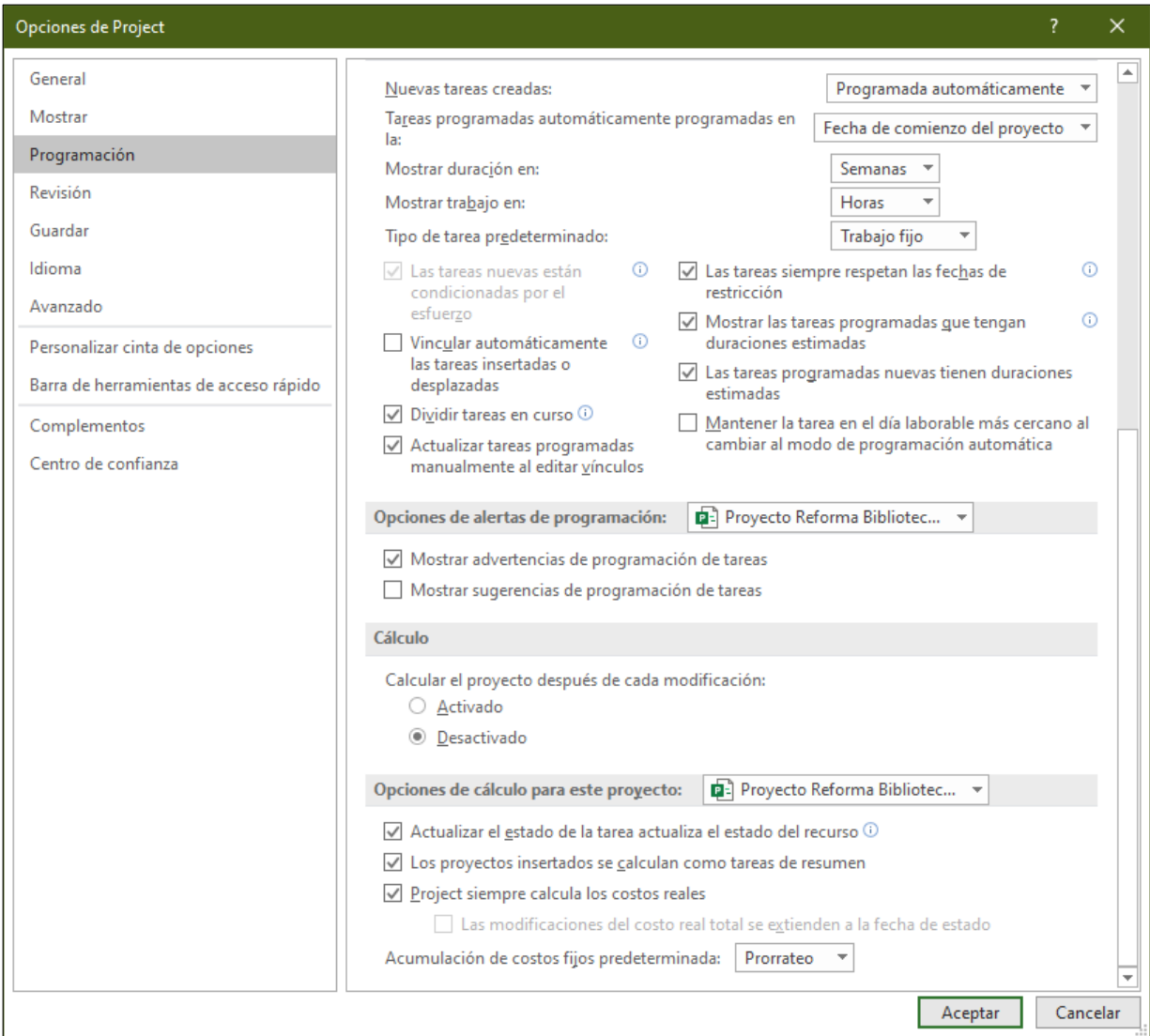


Figura 42 Opciones Project - Programación.

En la sección programación se presentan las opciones de calendario, programación y cálculo. Siendo de interés para el seguimiento las opciones de cálculo al final del cuadro de diálogo. Donde se seleccionan las siguientes opciones de interés:

- Cálculo “desactivado”, para que MS Project no actualice el proyecto cuando se realicen cambios, sino que este se realice una vez se hayan insertados todos los datos reales.
- Actualizar el estado de la tarea actualiza el estado del recurso, para permitir que MS Project calcule automáticamente el estado del recurso a partir del % completado de la tarea o viceversa.

- MS Project siempre calcula los costes reales, así no será necesario introducir los costes reales manualmente, sino que MS Project los realizará a partir de las tasas estándar reales del proyecto.

En la sección avanzado se puede configurar una variedad de opciones generales del proyecto, pero para el objetivo de este ejemplo solo se configuran las opciones relacionadas con el valor acumulado y las opciones de cálculo, seleccionando las siguientes opciones:

- Método predeterminado del valor acumulado de tarea, aquí se selecciona que el cálculo del valor ganado se realice a partir del porcentaje físico completado, y no el porcentaje completado que es la otra opción. Esto a razón de que el progreso del proyecto esta en función del trabajo y no de la duración del proyecto, por lo que el porcentaje completado al porcentaje físico completado en todas las etapas.
- Línea Base para el cálculo del valor acumulado, se escoge la línea base guardada con los datos planificados.
- Las modificaciones de los porcentajes completados se extienden hasta la fecha de estado, este se selecciona debido a que el ingreso de los datos se realizará simulando fechas de control semanales.

CAPÍTULO 5 - CASO PRÁCTICO

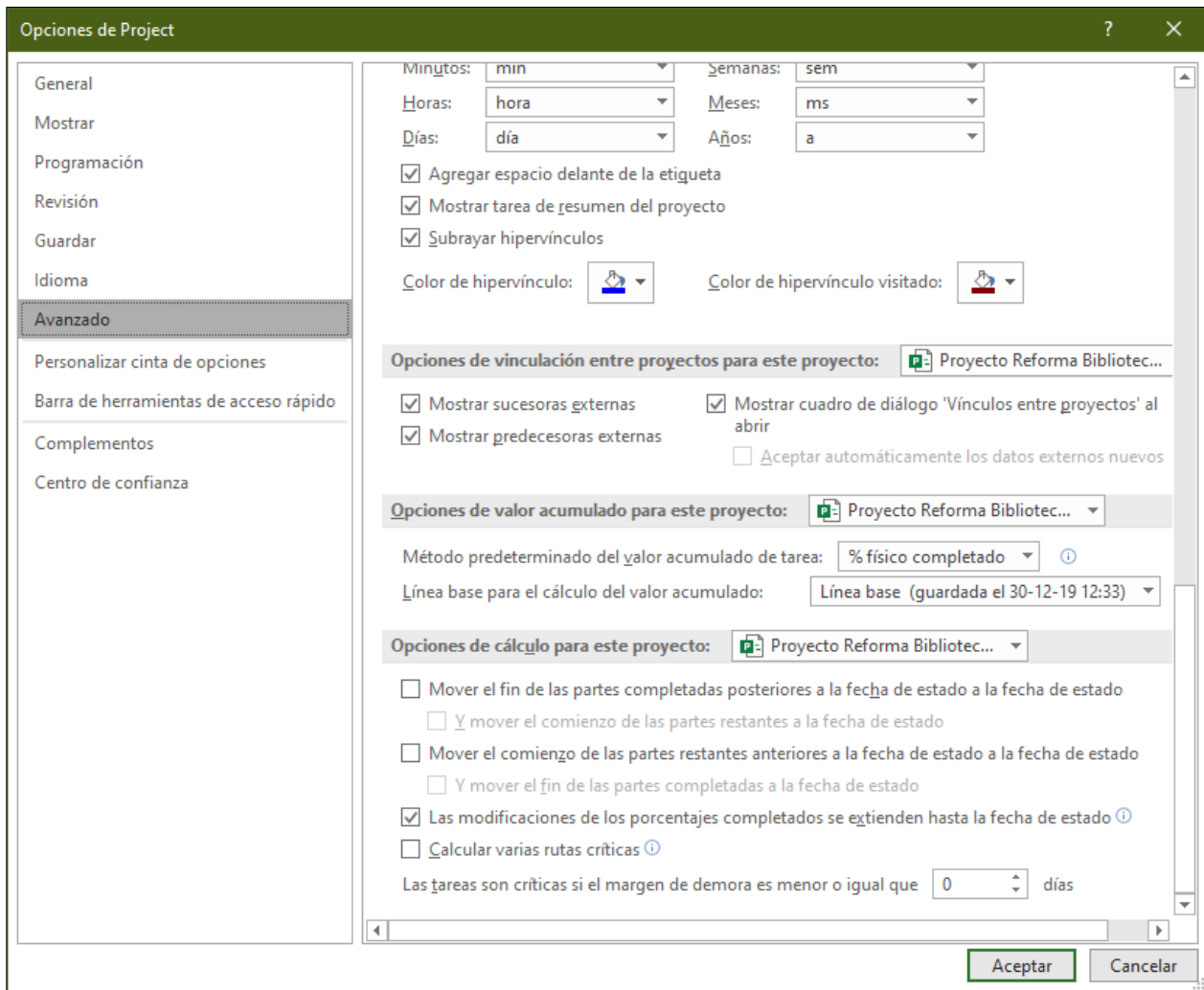


Figura 43 Opciones Project - Programación.

Considerando que los datos reales del proyecto comprenden variables de progreso real (distribución de trabajo en el tiempo) y costo real de los recursos (tasa estándar real), y junto con las configuraciones automáticas establecidas para MS Project, el ingreso de datos se realizará a través de dos procedimientos.

Primero, para que MS Project calcule los costes reales a partir de las tasas estándar reales se introducirá esta tasa en el recurso correspondiente. Para realizar esta tarea, previamente debe haberse guardado la línea base con la cual se evaluará el proyecto, ya que los costes presupuestados se calculan respecto a esos valores de tasas estándar, en cambio los valores de costo real se calculan con la nueva tasa ingresada.

		Nombre del	Tipo	Iniciales	Capacidad	Tasa	Tasa horas	Costo/U.	Acumu	Calendario
1		Carpintero	Trabajo	C	300%	12.00€/hora	0.00€/hora	0.00€	Prorrateo	Estándar
2		Grua con operador	Trabajo	G	350%	510.00€/día	0.00€/hora	0.00€	Prorrateo	Estándar
3		Eléctrico	Trabajo	E	100%	10.00€/hora	0.00€/hora	0.00€	Prorrateo	Estándar
4		Excavador	Trabajo	E	200%	500.00€/día	0.00€/hora	0.00€	Prorrateo	Estándar
5		Jornal	Trabajo	J	300%	5.00€/hora	0.00€/hora	0.00€	Prorrateo	Estándar
6		Pintor	Trabajo	P	200%	10.00€/hora	0.00€/hora	0.00€	Prorrateo	Estándar
7		Maquina de pilotes con operador	Trabajo	M	300%	800.00€/día	0.00€/hora	0.00€	Prorrateo	Estándar
8		Trabajador cualificado	Trabajo	T	100%	12.00€/hora	0.00€/hora	0.00€	Prorrateo	Estándar
9		Instalador de baldosas	Trabajo	I	300%	10.00€/hora	0.00€/hora	0.00€	Prorrateo	Estándar

Figura 44. Vista Hoja de recursos con tasa estándar real.

El segundo procedimiento para introducir los datos reales corresponde al ingreso de datos relativos al progreso de las tareas, mediante el ingreso del trabajo o porcentaje completado. Tal como se señaló anteriormente, el ingreso de datos reales se realizará simulando fechas de control semanales, por lo que se establecerán fechas de estado conforme se vayan ingresando los datos.

Para ingresar una fecha de estado se debe hacer clic en Proyecto>grupo Estado> Fecha de estado. La fecha de estado se introducirá con el formato de fecha y hora, ingresando cada viernes al final de la jornada laborable, es decir, a las 19:00.

Luego de establecer la fecha de estado, desde alguna de las vistas de uso de tareas seleccionamos la tabla de seguimiento (Figura 45). La tabla de seguimiento permite ingresar los siguientes valores reales:

- Fecha de comienzo real.
- Fecha de fin real.
- Porcentaje completado.
- Porcentaje físico completado.
- Duración real.
- Duración restante.
- Costo real.
- Trabajo real.

CAPÍTULO 5 - CASO PRÁCTICO

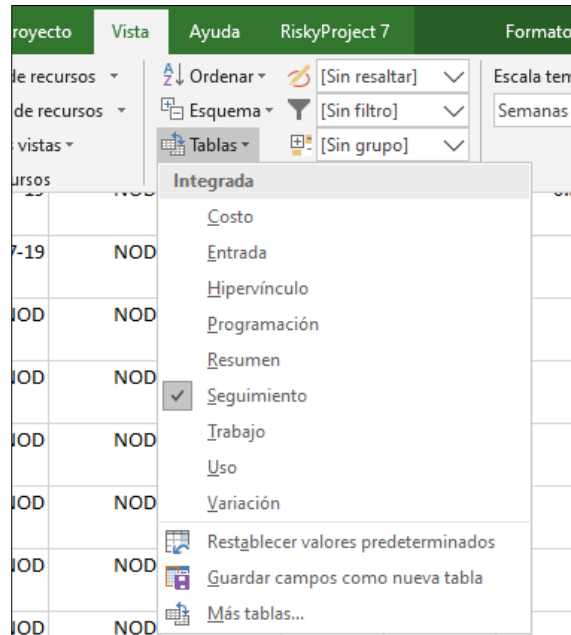


Figura 45. Selección tabla seguimiento.

Todas estas columnas son editables si las opciones de cálculo y programación se establecieran como manual. Por el contrario, si se establecen como automática, a medida que se ingresan ciertos datos otras celdas se rellenarán automáticamente.

Según la configuración indicada anteriormente, en el seguimiento sólo se ingresarán el porcentaje físico completado actualizado semanalmente y trabajo real, y a partir de dicha información se irán completando los datos de fechas de inicio, fin, costo, duraciones reales y porcentaje completado.

Número de tarea	Comienzo	Fin real	% completado	Duración		Costo		Trabajo	
				real	recurso	real	recurso	real	recurso
1	Reforma Biblioteca	lun 01-07-19	NOD	12%	1.88 sem.	14.11 sem.	€71,055.00	61.5 horas	
2	Pilotos	lun 01-07-19	vie 31-07-19	100%	4 sem.	0 sem.	€24,050.00	250 horas	
3	Cristales	lun 22-07-	NOD	80%	4 sem.	1 sem.	€34,680.00	544 horas	
4	Excavación	lun 29-07-19	vie 14-08-19	100%	2 sem.	0 sem.	€10,000.00	100 horas	
5	Estructuras	lun 05-08-19	NOD	40%	2 sem.	3 sem.	€1,200.00	156 horas	
6	Zonas húmedas	lun 12-08-19	NOD	28%	1 sem.	3 sem.	€1,125.00	112.5 horas	
7	Marcos de puertas	NOD	NOD	0%	0 sem.	4 sem.	€0.00	0 horas	
8	Tabiques y techo	NOD	NOD	0%	0 sem.	4 sem.	€0.00	0 horas	
9	Persianas	NOD	NOD	0%	0 sem.	4 sem.	€0.00	0 horas	
10	Pintado	NOD	NOD	0%	0 sem.	2 sem.	€0.00	0 horas	

Figura 46 Tabla de seguimiento.

Para un mayor detalle del trabajo real completado este puede ser ingresado a partir de la zona derecha la vista uso de tareas, que permite distribuir en la cantidad de tarea por períodos de tiempo en el caso que el trabajo sea menor a las horas de trabajo por período del calendario (Figura 47).

		22 jul '19							
Nombre de tarea		Detalles	L	M	X	J	V	S	D
0	Ampliación de Biblioteca	Trab.	33.2h	33.2h	33.2h	33.2h	33.2h		
		Trab. r	33.2h	33.2h	33.2h	33.2h	33.2h		
1	Pilotes	Trab.	6h	6h	6h	6h	6h		
		Trab. r	6h	6h	6h	6h	6h		
	Jornal	Trab.	0.24h	0.24h	0.24h	0.24h	0.24h		
		Trab. r	0.24h	0.24h	0.24h	0.24h	0.24h		
	Maquina de pilotes con	Trab.	5.76h	5.76h	5.76h	5.76h	5.76h		
		Trab. r	5.76h	5.76h	5.76h	5.76h	5.76h		
2	Cristales	Trab.	27.2h	27.2h	27.2h	27.2h	27.2h		
		Trab. r	27.2h	27.2h	27.2h	27.2h	27.2h		
	Grua con operador	Trab.	27.2h	27.2h	27.2h	27.2h	27.2h		
		Trab. r	27.2h	27.2h	27.2h	27.2h	27.2h		
3	Excavación	Trab.							
		Trab. r							
	Excavador	Trab.							
		Trab. r							
4	Estructuras	Trab.							
		Trab. r							

Figura 47 Vista Uso de tareas con detalle de distribución de trabajo.

CAPÍTULO 6. RESULTADOS.

Con el caso práctico definido e incorporados sus datos de planificación y ejecución a MS Project, en el presente capítulo se expondrán los resultados de los métodos de control de costes aplicados al proyecto de ejemplo. Posteriormente, se realizará un análisis de los resultados obtenidos ofreciendo una comparativa enfocada en las herramientas de predicción y alertas de costes.

6.1 APLICACIÓN DE MÉTODOS DE CONTROL DE COSTES.

Antes de la aplicación de los métodos de control de costes, se debe definir puntos de control o fechas de estados donde se analizarán los resultados. Considerando que el proyecto estudiado tiene una duración programada de 16 semanas, se considerarán tres puntos de control de estado a las 4, 8 y 12 semanas, es decir, llevado a fechas serían el 26 de julio del 2019, 23 de agosto del 2019 y 20 de septiembre del 2019.

El procedimiento general para recoger los resultados de cada una de las fechas de estado consiste en seleccionar la fecha de estado deseada (Proyecto>Fecha de estado) y luego calcular el proyecto (Proyecto>Calcular proyecto) o cambiando que el programa calcule el proyecto después de cada modificación en Archivo>Opciones>Avanzado sección "Cálculo".

Para el caso de los resultados de pronósticos de costes al finalizar, los resultados a considerar serán aquellos correspondientes a la tarea resumen del proyecto, por lo que no se considerarán en detalle los valores de valor ganado para cada tarea en específico. Por otro lado, los valores de los índices y estimaciones a la conclusión tradicionales son calculados en base a los valores acumulados a la fecha de estado de las variables del valor ganado.

a) Método Clásico.

Para obtener el resultado de la estimación a la conclusión del método clásico se visualiza la tabla de valor acumulado de la vista de tareas, donde se debe insertar la columna del campo personalizado creado previamente, EAC (clásico).

Para sintetizar los resultados, los valores de EAC se muestran en la siguiente tabla para cada fecha de estado:

Método	Resultados		
	26 de Julio	23 de agosto	20 de septiembre
Clásico	90,557.40 €	91,703.00 €	92,500.00 €

Tabla 8 EAC método Clásico.

 b) Método CPI

Como se había señalado en el punto 4.2b) el valor de EAC en función del valor de CPI viene incluido de forma predeterminada en MS Project. Por lo tanto, para conocer su valor sólo se debe visualizar la tabla de valor acumulado en alguna de las vistas de tareas y extraer el valor directamente desde la columna CEF. Lo mismo para el caso del índice de rendimiento CPI (IRC), si no fuera mostrado por defecto sólo se debe insertar la columna correspondiente.

En la siguiente tabla se muestran los valores del CPI y EAC correspondiente para cada fecha de estado:

Método	Resultados		
	26 de Julio	23 de agosto	20 de septiembre
CPI	0.99	0.98	0.98
EAC (CPI)	90,945.91 €	91,949.60 €	92,617.38 €

Tabla 9 EAC método CPI.

 c) Método SPI

Para el caso de la estimación a la conclusión, los resultados son obtenidos a partir del campo personalizado creado (según 4.2c), y en el caso del valor del índice de rendimiento del cronograma se obtiene directamente desde la tabla de valor acumulado de las tareas.

En la siguiente tabla se muestran los valores del SPI y EAC correspondiente para cada fecha de estado:

Método	Resultados		
	26 de Julio	23 de agosto	20 de septiembre
SPI	0.90	0.95	1.00
EAC (SPI)	97,033.78 €	92,489.22 €	92,500.00 €

Tabla 10 EAC método SPI.

 d) Método CR

Los resultados de EAC en función del índice crítico se obtienen a partir de los campos personalizados CR y EAC (CR) creados anteriormente (4.2d). Estos se deben insertar en las tablas de valor acumulado de la vista de tarea, permitiendo visualizar los valores de valor ganado desde donde se fundamentan los resultados.

En la siguiente tabla se muestran los valores del CR y EAC correspondiente para cada fecha de estado:

CAPÍTULO 6 - RESULTADOS.

Método	Resultados		
	26 de Julio	23 de agosto	20 de septiembre
CR	0.90	0.93	0.98
EAC (CR)	97,463.57 €	92,749.56 €	92,617.38 €

Tabla 11 EAC método CR.

e) Método CI

Los resultados de EAC en función del índice compuesto se obtienen a partir de los campos personalizados creados Wt1(CPI), Wt2(SPI), CR y EAC (CR). Para las columnas correspondientes a los pesos es necesario introducir los valores establecidos para cada uno de ellos. En particular para este ejemplo se considerará 0,8 para Wt1 y 0,2 Wt2, siendo los valores más ampliamente utilizado en la literatura. Al igual que para los métodos anteriores, se recomienda que estos campos se visualicen en la tabla de valor acumulado.

En la siguiente tabla se muestran los valores del CI y EAC (con Wt1 igual a 0,8 y Wt2 igual a 0,2) correspondiente para cada fecha de estado:

Método	Resultados		
	26 de Julio	23 de agosto	20 de septiembre
CI	0.98	0.98	0.98
EAC (CI)	92,073.94 €	92,054.37 €	92,593.44 €

Tabla 12 EAC método CI.

f) Método ES

Como bien se había indicado en el apartado 4.2f), para calcular la estimación a la conclusión basado en el índice de rendimiento del cronograma en función del tiempo (programación ganada) se debe recurrir a una plantilla de Excel. En plantilla se copian los valores de PV, EV y AC en función de los períodos de control exportados mediante el informe visual de horas extra del valor acumulado.

Del procedimiento anterior se obtienen los siguientes resultados de SPI y EAC correspondiente para cada fecha de estado:

Método	Resultados		
	26 de Julio	23 de agosto	20 de septiembre
SPI (ES)	0.94	0.73	1
EAC (ES)	94,300.71 €	96,915.92 €	92,500.00 €

Tabla 13 EAC método ES.

g) Método mediante matrices.

Para el método de matrices se utiliza íntegramente la plantilla Excel con las fórmulas descritas para obtener los resultados de EAC y CPI (4.2g). Por lo tanto, el único paso a ejecutar desde MS Project es la exportación de las matrices básicas, a través de los informes visuales.

Del procedimiento anterior se obtienen los siguientes resultados de CPI y EAC correspondiente para cada fecha de estado:

Método	Resultados		
	26 de Julio	23 de agosto	20 de septiembre
CPI (Matrices)	1.00	0.98	0.95
EAC (Matrices)	90,823.96 €	91,935.59 €	92,577.81 €

Tabla 14 EAC método Matrices.

h) Método suavizamiento exponencial.

El cálculo de EAC aplicando la técnica del suavizamiento exponencial se realiza completamente a través de la plantilla Excel descrita en el apartado 4.2h). Por lo tanto, sólo se deben extraer los valores de PV, EV y AC mediante el informe visual de horas extra del valor acumulado. Además, se debe definir el valor beta, de influencia del rendimiento de los trabajos ya ejecutados, sobre las predicciones de costes: En este caso se escoge un valor de 0.3 que indica un leve a mediana influencia.

Considerando lo anterior los resultados de EAC para cada fecha de estado se muestran en la siguiente tabla:

Método	Resultados		
	26 de Julio	23 de agosto	20 de septiembre
EAC (S. Exp)	90,994.51 €	92,056.77 €	92,751.49 €

Tabla 15 EAC método Suavizamiento Exponencial.

i) Método índice de relación de esfuerzo.

Si bien este método puede ser aplicado, ya sea con MS Project o plantillas Excel, los resultados para el caso práctico se obtendrán a partir de los campos personalizados detallados en el apartado 4.2i). De estos campos el único que requiere ser introducido manualmente es el campo xn, equivalente a la relación de las tareas completadas respecto a las tareas totales del proyecto.

Los resultados obtenidos por este método de control no se relacionan directamente con el pronóstico de costes al finalizar, sino más bien es un índice que permite establecer la dificultad de completar el proyecto dentro del presupuesto original. Estos resultados se representan en la siguiente tabla:

CAPÍTULO 6 - RESULTADOS.

Método	Resultados		
	26 de Julio	23 de agosto	20 de septiembre
Índice de relación de esfuerzo.	1.01 €	1.24 €	1.38 €

Tabla 16 Índice de relación de Esfuerzo.

6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

El análisis de resultados propuesto en este apartado considera varios enfoques. Primero, se busca representar y analizar el comportamiento de los costes y tiempo del caso práctico estudiado a través de la representación de la curva de S. Por otro lado, considerando los resultados recogidos en el apartado anterior, se determina como cada uno de los métodos presentan las variaciones de costo y como se podrían interpretar sus alertas respecto al futuro del proyecto.

Finalmente, y como uno de los objetivos de este trabajo, se compara las ventajas y desventajas de la utilización de cada uno de los métodos implementados, enfatizando especialmente en la idoneidad de la aplicación y/o integración con las herramientas contenidas en MS Project.

6.2.1 Curva de la S.

La representación de la curva de la S es una forma más sencilla de control de costes y es una de las formas más básica de analizar los datos de la gestión del valor ganado. Con esa finalidad se presenta la curva de la S del proyecto estudiado.

El gráfico puede ser extraído directamente desde los informes predeterminados de MS Project, particularmente se utiliza el informe de costes del valor acumulado o bien mediante el informe de horas extra del valor acumulado.

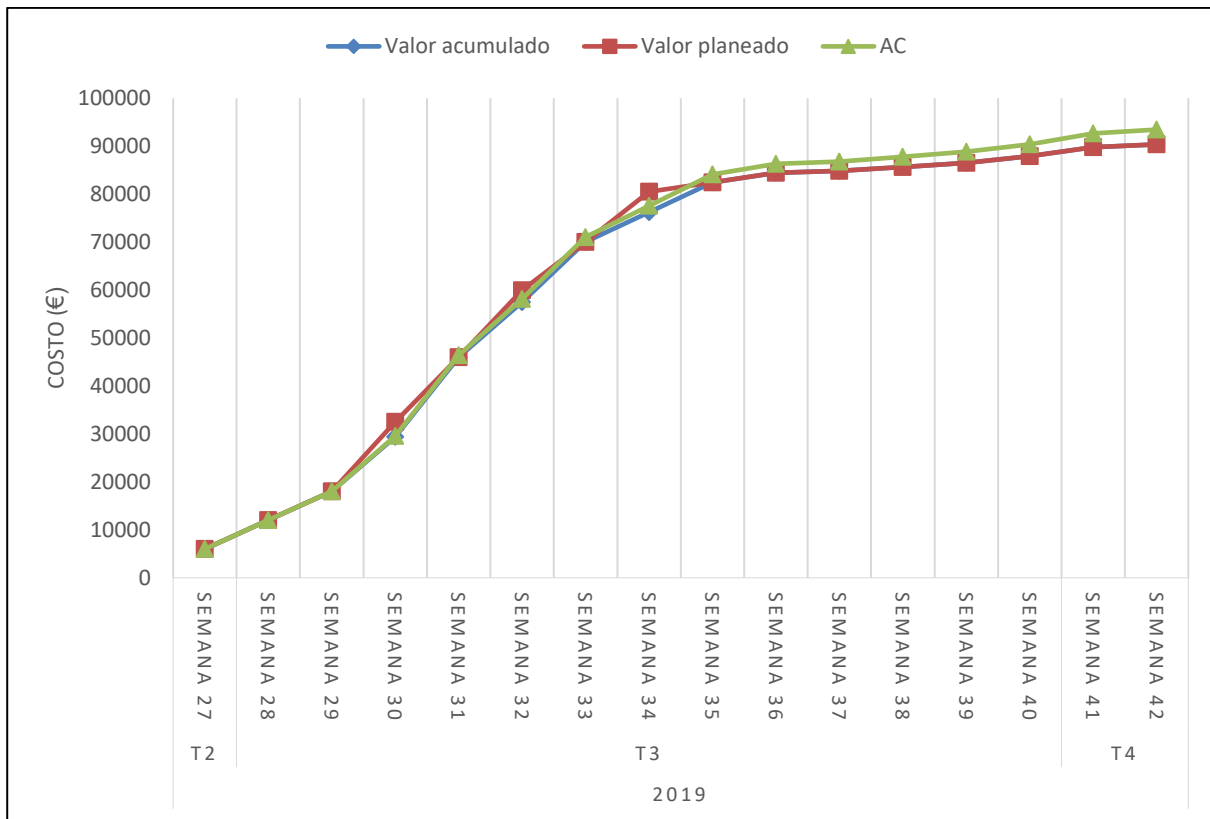


Figura 48 Curva de la S – Caso práctico.

En virtud de la representación de los valores del valor ganado se pueden inferir algunas características del comportamiento de la ejecución del proyecto, principalmente en lo referido a las variaciones de costo y programación.

Se observa que en la primera mitad del proyecto los costes reales son prácticamente iguales al valor ganado (acumulado), es decir, la variación de costes es menor considerando los trabajos ejecutados. Por otro lado, en la segunda mitad del proyecto esta variación de costes se comienza a hacer más visible y con una tendencia leve al crecimiento. Este comportamiento se puede explicar, con la variación de los costes (tasas) de los recursos y su injerencia en las distintas etapas del proyecto. Se puede inferir que los recursos asignados en las primeras tareas del proyecto tienen menor variación en sus costes, observándose a su vez una mayor variación a partir de la semana 34.

Respecto a la variación de la programación se deduce que los retrasos son casos puntuales y no repercuten en la duración total del proyecto. Esto se puede explicar debido que las tareas no tienen restricción de vinculación de fin-comienzo estricta o al menos estos leves retrasos no influyen en el comienzo de las tareas sucesoras. Por lo tanto, leves retrasos en las tareas predecesoras no afectan la programación de las siguientes.

CAPÍTULO 6 - RESULTADOS.

6.2.2 Interpretación de resultados.

A continuación, se presenta una breve interpretación de los resultados obtenidos para cada método por separado. Esta interpretación se enfoca en cómo los resultados permiten establecer el éxito del proyecto con respecto a los costes.

Método	Resultados		
	26 de Julio	23 de agosto	20 de septiembre
Clásico	90,557.40 €	91,703.00 €	92,500.00 €
CPI	0.99	0.98	0.98
EAC (CPI)	90,945.91 €	91,949.60 €	92,617.38 €
SPI	0.90	0.95	1.00
EAC (SPI)	97,033.78 €	92,489.22 €	92,500.00 €
CR	0.90	0.93	0.98
EAC (CR)	97,463.57 €	92,749.56 €	92,617.38 €
CI	0.98	0.98	0.98
EAC (CI)	92,073.94 €	92,054.37 €	92,593.44 €
SPI (ES)	0.94	0.73	1
EAC (ES)	94,300.71 €	96,915.92 €	92,500.00 €
CPI	1.00	0.98	0.95
EAC (matrices)	90,823.96 €	91,935.59 €	92,577.81 €
EAC (Suavizamiento Exp.)	90,994.51 €	92,056.77 €	92,751.49 €
Índice esfuerzo Costes	1.01 €	1.24 €	1.38 €

Tabla 17 Resumen de resultados de control de costes – Caso práctico.

i.- Método Clásico.

Volviendo la mirada hacia los resultados del método clásico se puede apreciar que los valores de la estimación a la conclusión de los costes, en las tres fechas de control, no presentan importantes variaciones respecto al presupuesto. Esto debido a que tal como se explicó anteriormente, esta estimación es optimista al valorar costes al final del proyecto, ya que considera que no existirán más sobrecostos posteriores y el proyecto se terminará de acuerdo con el rendimiento planificado.

ii.- Método CPI.

Para el caso del CPI, la primera forma de analizar los resultados es interpretar el valor del rendimiento de costes. Valor CPI, que al ser menor a 1, señala que el proyecto se encuentra con sobrecostos. Sin embargo, como se puede observar en el EAC, este índice establece que la desviación es leve y que los

costes al final seguirán siendo cercanos al presupuesto. Gran parte de la eficacia de EAC depende en este caso de que las variaciones de las tasas de los recursos se mantengan controladas.

iii.- Método SPI.

Considerando que este método tiene mejores resultados en proyectos donde los costes dependen en gran parte de la duración de las tareas, los resultados para el proyecto estudiado son variados. En el primer control los valores indican que el proyecto tendrá un sobrecosto importante al final de este, debido a que el valor de SPI considera una variación importante provocada porque las pocas tareas ejecutadas presentan retrasos tempranamente. Sin embargo, a medida que progresa el proyecto, estos desvíos son proporcionalmente menores respecto al total de las tareas y, por lo tanto, los valores de EAC se van ajustando más al presupuesto original.

iv.- Método CR.

Al observar los resultados de índice crítico, lo primero que se debe notar es que el índice establece que el costo final del proyecto se verá influenciado, tanto por los sobrecostos como por los retrasos. En este caso, los valores de EAC en las dos primeras fechas de control indican que el proyecto claramente se está desviando del presupuesto original, esto a consecuencia, que en los períodos evaluados existe un leve sobrecoste y un importante retraso de algunas actividades. Por lo tanto, el índice refleja un enfoque conservador de los costes al finalizar.

v.- Método CI.

En relación con los valores de CI y EAC, estos evidencian claros desvíos de costes en el proyecto desde una primera fecha de control. La utilización de un índice compuesto permite dar cierto peso a la duración respecto a los costes que se obtendrán al finalizar complementando el peso de los desvíos de costes. Esto permitiría en el caso de este proyecto, colocar cierto énfasis en la duración de las tareas y no solo controlar los costes. Cabe destacar, que a pesar de que las tareas se encuentran dentro programación planificada ($SPI=1$), esta estimación sigue proyectando que se continuarán generando sobrecostos en las tareas restantes. Los valores calculados en este método permiten estar atento a las desviaciones (programación y costo), sin llegar a ser tan conservador en el caso de amplias variaciones de tiempo como se muestra en el primer control.

vi.- Método ES.

Al igual que para el método de SPI del valor ganado, este método se encuentra dirigido a proyectos donde la programación tiene una importante influencia sobre los costes. Es así, como los valores de EAC obtenidos en las fechas de estado donde existen claros retrasos de algunas de las tareas, los pronósticos de costes son mucho mayor al presupuesto inicial. Como en este caso, las dependencias de las tareas no son restrictivas y no existe vinculación de la duración de las tareas con los costes, estos pronósticos se encuentran distante del costo final real del proyecto.

CAPÍTULO 6 - RESULTADOS.

vii.- Método mediante matrices.

La aplicación del valor ganado mediante matrices permite obtener el índice CPI a través del promedio de los valores de los periodos anteriores, no sólo a través del valor ganado del instante de evaluación. Esto se refleja en que los valores de CPI no tengan mayores variaciones y sigan cierta tendencia. Según los pronósticos obtenidos el proyecto siempre se proyecta con sobrecostos, esto en virtud de que las variaciones de las tasas de los recursos inciden directamente en el cálculo.

viii.- Método Suavizamiento exponencial.

En consecuencia, que este método utiliza variables de EVM de periodos individuales y no los valores acumulados, los resultados de las predicciones de costes obtenidos mediante el suavizamiento exponencial demuestran que los constantes sobrecostos afectan directamente estas predicciones. Los valores calculados para cada uno de los periodos muestran sobrecostos al finalizar, esto esencialmente, porque en todos estos períodos existen sobrecostos, a pesar de que estos valores fueron suavizados mediante un valor beta más cercano a cero (0.3) y, de este modo lograr que los resultados no fueran tan conservadores y no fueran afectados por variaciones puntuales.

ix.- Método índice de relación de esfuerzo.

Finalmente, este último método, a diferencia de los anteriores, enfoca los resultados solamente a un índice y no a la predicción de costes. Como bien, se explicó anteriormente este índice expresa una relación numérica que señala el esfuerzo que se requiere para rectificar sobrecostos y cumplir con el presupuesto planificado. En este caso los índices obtenidos muestran un incremento a medida que la fecha de control se acerca al final del proyecto. Esto tiene su origen en que las variaciones de los costes para este proyecto se encuentran vinculados con las variaciones de tasas de los recursos, por lo tanto, su variación se va acumulando en todas aquellas ellas tareas en las cuales están asignados estos recursos. También remarcar que, a partir de la segunda fecha de estado, el índice más alejado del 1 advierte la mayor dificultad de redirigir el proyecto bajo el presupuesto inicial, ya que esto requeriría que los trabajos futuros tuvieran un rendimiento de costes mejor al planificado.

6.2.3 Resumen comparativo.

Por último, en la siguiente tabla se realiza un resumen comparativo de los métodos y su aplicación e integración con MS Project. Este resumen se centra en las ventajas y desventajas que ofrece cada uno de los métodos:

Método	Ventajas	Desventajas
Clásico	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil implementación en MS Project. - Resultados se pueden exportar a todos los informes de MS Project. - Rápido implementación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es demasiado optimista en casos que ya se aprecia una tendencia a los sobrecostos. - Carece de un índice que relacione las variaciones de costes.
CPI	<ul style="list-style-type: none"> - MS Project lo incluye por defecto. - Exportable a los informes de MS Project. - El índice permite establecer una relación de los desvíos de los sobrecostos. - Altamente utilizado y estudiado. 	<ul style="list-style-type: none"> - No considera las variaciones en la programación.
SPI	<ul style="list-style-type: none"> - Útil en proyectos donde la duración de las tareas es relevante respecto a los costes. - Índice incluido en MS Project. - Con el campo personalizado EAC se puede exportar mediante los informes. 	<ul style="list-style-type: none"> - No considera las variaciones en los costes. - El índice en la parte final del proyecto tiende a 1, es decir, la variación tiende a 0.
CR	<ul style="list-style-type: none"> - Considera las variaciones de programación y costes en el pronóstico. - Índice de fácil implementación en MS Project. - Exportable a los informes de MS Project. 	<ul style="list-style-type: none"> - El índice es muy conservador en el caso de sobrecostos y retrasos simultáneos. - Por sí solo no permite identificar los problemas de las tareas.
CI	<ul style="list-style-type: none"> - Considera las variaciones de programación y costes en el pronóstico. - Índice fácil de incluir en MS Project. - Exportable a los informes de MS Project. - Inclusión de juicio de experto a través del peso a cada índice. 	<ul style="list-style-type: none"> - En MS Project se deben incluir valores de entradas de los pesos y el cálculo no es totalmente automático. - Los pesos deben ser definidos por expertos.
ES	<ul style="list-style-type: none"> - Útil en proyectos donde la duración de las tareas es relevante respecto a los costes. - La obtención del índice se hace respecto a la programación. - Representa la variación de la programación durante todo el proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se puede integrar en MS Project con campos personalizados. - Formulación en Excel requiere definir una serie de fórmulas definidas en función de períodos de control definidos. - No considera las variaciones de costes.
Matrices	<ul style="list-style-type: none"> - Permite obtener cálculos índices del valor ganado análogos a los establecidos en MS Project. - Aplicación directa con los datos extraídos desde los informes de MS Project. - Focalizada en proyectos con variación en los costes unitarios de los recursos. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se puede integrar en MS Project con campos personalizados. - Formulación en Excel requiere manejo de fórmulas matriciales en Excel. - No considera la opción de incluir los costes fijos de las tareas.

CAPÍTULO 6 - RESULTADOS.

Suavizamiento exponencial	<ul style="list-style-type: none"> - Permite definir un peso al rendimiento de costes para el pronóstico de costes. - Tiene la posibilidad de distribuir el peso de rendimiento y priorizar el rendimiento de ciertas tareas para realizar los pronósticos (Juicio de expertos). - Aplicación directa con los datos de valor ganado de los informes de MS Project. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se puede integrar en MS Project con campos personalizados. - No permite integrar las variaciones de programación y costo en un solo índice.
Índice de relación de esfuerzo	<ul style="list-style-type: none"> - Índice de fácil implementación en MS Project. - Exportable a los informes de MS Project. - Índice entrega una relación numérica al esfuerzo a invertir en el desempeño para cumplir con el presupuesto. 	<ul style="list-style-type: none"> - En MS Project se deben incluir valores de entradas y el cálculo no es totalmente automático. - No permite integrar las variaciones de programación y costo en un solo índice.

Tabla 18 Resumen Comparativo de los métodos implementados.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES.

Como se evidenció en este trabajo la cantidad de estudios relacionados al control de costes usando el valor ganado es muy extenso y variado. Los métodos abarcan desde únicamente el uso de variables básicas del valor ganado hasta métodos que utilizan la inteligencia artificial para modelar predicciones de cómo evolucionará un proyecto a partir de datos de ejecución. No obstante, estos métodos no han logrado expandirse o masificarse en su uso, una muestra de esto es que el PMBoK no incluye ninguna referencia a estas extensiones, más allá de las estimaciones a la conclusión basado en el rendimiento presupuestado, en el CPI y en el índice crítico. Por lo que es necesario incluir nuevas alternativas o herramientas de predicción de costes que engloben otras variables como lo son los riesgos, el juicio de expertos, el how-know, las lecciones aprendidas, entre otras, y con ello proporcionar enfoques más generales y adecuados para una mayor cantidad de tipos de proyectos.

Sobre la base de las comparaciones expuestas, determinar si un método es mejor que otro depende en gran medida del tipo y tamaño del proyecto ejecutado. Sin embargo, se puede señalar que los métodos del valor ganado permiten una rápida y correcta visión de cómo afectarán los desvíos actuales en el futuro del proyecto. Paralelamente si se desea tener un resultado o pronóstico más exacto y confiable, que a su vez asegure que las acciones correctivas tengan mayor certeza de eficacia, es indudable que se debe recurrir a técnicas que incluyan otros datos, más allá de los meramente deterministas del valor ganado.

El uso de programas informáticos de gestión es una práctica totalmente arraigada en el ejercicio de la dirección y gestión de proyectos. Sin embargo, el uso de éstos generalmente va asociado a las tareas de planificar, recopilar y mostrar datos de avance. Consecuentemente, el proceso de controlar los proyectos con programas de gestión no se aborda desde otra perspectiva que no sea la de visualizar datos.

En el caso de MS Project, además de los datos de progreso incorpora las variables de EVM, incluidos los índices de rendimiento tradicionales (CPI y SPI) y un pronóstico de costes (CEF) basado en el CPI. Aun cuando la inclusión de EVM dentro del programa proporciona una ventaja al momento de controlar los proyectos, la singularidad de acotar los cálculos a sólo los índices de rendimiento de costes e índice de rendimiento del cronograma limita el campo de aplicación del control de proyectos. Una de las variables que debería ser indispensable incluir a corto plazo en el programa MS Project es la variable programación ganada (ES), ya que, como se ha afirmado en varios estudios (Lipke, 2003; Lipke et al., 2009; Martens & Vanhoucke, 2017; Narbaev & De Marco, 2014^a; entre otros), ésta refleja de forma más confiable el rendimiento de la programación del proyecto. Es por ello que en los últimos años las nuevas

CAPÍTULO 7 - CONCLUSIONES.

técnicas de control de proyectos recomiendan el uso de SPI basado en ES para la determinación de sus fórmulas.

En este Trabajo Fin de Máster se ha podido demostrar que es posible incorporar, en MS Project, gran parte de los métodos basados en índices mediante el uso de la herramienta de campo personalizado. El manejo responde a una forma simple de agregar estos valores en todas aquellas vistas que ofrecen el programa, inclusive en la creación de informes. En contraposición, esta simplicidad de utilización de los campos personalizados repercute en limitación de uso de fórmulas, puesto que las fórmulas sólo se presentan en función de cada tarea o recurso, impidiendo realizar cálculo que involucren relaciones entre tareas o recursos distintos, incluso no permiten establecer relaciones de tiempo o programación.

Otra de las ventajas que deriva de la utilización de MS Project como herramienta de control de costes es la vinculación directa y completa integración con Excel. La combinación de ambos programas brinda mayor diversidad, por ende, libertad a la hora de escoger un método de control que se adapte de mejor manera al proyecto específico que se esté gestionando.

Con todo ello, cabe resaltar que el objetivo planteado al inicio del trabajo de *investigar, analizar y comparar las distintas alternativas de cálculo del costo estimado a la conclusión de acuerdo con la gestión del valor ganado* se ha alcanzado con éxito.

CAPÍTULO 8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Tras el desarrollo de este trabajo se han identificado algunos aspectos en los que se podría profundizar, pero no se han abordado dado que quedaban fuera del alcance del trabajo. Es por ello que se plantean como posibles líneas futuras de investigación.

Considerando que para efectos de este estudio la integración de los métodos de control de costes se realizó utilizando solo un ejemplo de aplicación, es conveniente que la aplicación de estos métodos se desarrolle con otros proyectos de otras áreas de aplicación y con diferentes tamaños, para validar y ampliar su aplicación.

Además, en la actualidad los avances tecnológicos abarcan todo nuestro entorno personal y profesional, por lo que inevitablemente el uso de avances, como la inteligencia artificial, se hará presente en el control de proyectos. Es en este sentido, una siguiente etapa de profundización de este estudio podría considerar los diferentes métodos que incorporan la inteligencia artificial.

Por último, MS Project es una herramienta que permita insertar dentro de su interfaz complementos y macros con funciones adicionales a las contenidas por el programa. Por lo tanto, otro enfoque de estudio interesante de abordar es la creación de complementos o macros que logren integrar métodos estadísticos más complejos.

CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

9.1 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.

- [1]. Aguirre Angulo, L. (2017). Planificación con Project 2016 - 1. Marcombo Ediciones Técnicas.
- [2]. Aguirre Angulo, L. (2017). Seguimiento y control con Project 2016-2. Marcombo Ediciones Técnicas.
- [3]. Chatfield, C. S., & Johnson, T. (2016). Microsoft Project 2016 - Step by step. Redmond, Washington 98052-6399: Microsoft Press.
- [4]. Fleming, Q. W., & Koppelman, J. M. (2010). Earned Value: Project Management (Cuarta). Pennsylvania, USA: Project Management Institute.
- [5]. Microsoft. (2019). Centro de ayuda de Project. Obtenido desde <https://support.office.com/es-es/project>.
- [6]. Navarro, D. (2007). Cómo calcular la Programación Ganada con Microsoft Project. Obtenido desde <http://direccion-proyectos.blogspot.com/2007/04/cmo-calculiar-la-programacin-ganada-con.html>
- [7]. PMI. (2017). Guía de los FUNDAMENTOS PARA LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS (sexta). Newton Square, PA 19073-3299 USA: Project Management Institute, Inc.
- [8]. Tonchia, S. (2018). INDUSTRIAL PROJECT MANAGEMENT: International Standards and Best Practices for Engineering and Construction Contracting (Segunda Ed). <https://doi.org/10.1007/978-3-540-77543-0>.
- [9]. Vanhoucke, M. (2016). Integrated Project Management Sourcebook - A Technical Guide to Project Scheduling, Risk and Control. In Integrated Project Management Sourcebook. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-27373-0>
- [10]. Viñoles, R. (2009). *Programación y Control de Proyectos con Microsoft Project*. Valencia: UPV Editorial.
- [11]. Villegas, M. Á., & Rincón De Parra, H. (2011). Gestión de Costos en los Proyectos: un abordaje teórico desde las mejores prácticas del Project Management Institute. *Visión Gerencial*, 1, 85–94.

9.2 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [12]. Abba, W. (2001). How earned value got to prime time: A short look back and glance ahead. *The Measurable News.*, 1–8.
- [13]. Anbari, F., & Kwak, Y. H. (2012). History, Practices, and Future of Earned Value Management in Government: Perspectives From NASA. *Project Management Journal*, Vol.43, 77–90. <https://doi.org/10.1002/pmj>
- [14]. Anbari, F. T. (2001). Applications and extensions of the earned value analysis method. *Project Management Institute Annual Seminars & Symposium*.
- [15]. Anbari, F. T. (2003). Earned value project management method and extensions. *IEEE Engineering Management Review*, Vol. 32, pp. 97–110. <https://doi.org/10.1109/EMR.2004.25113>
- [16]. Barraza, G. A., & Bueno, R. A. (2007). Probabilistic control of project performance using control limit curves. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(12), 957–965. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2007\)133:12\(957\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:12(957))
- [17]. Batselier, J., & Vanhoucke, M. (2017). Improving project forecast accuracy by integrating earned value management with exponential smoothing and reference class forecasting. *International Journal of Project Management*, 35(1), 28–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.10.003>
- [18]. Capterra. (2018). Los 20 más populares softwares de gestión proyectos. Obtenido desde 28/6/2018 website: <https://www.capterra.es/directory/30002/project-management/software#most-popular-infographic>
- [19]. Caron, F., Ruggeri, F., & Merli, A. (2013). A Bayesian Approach to Improve Estimate at Completion in Earned Value Management. *Project Management Journal*, 44(1), 3–16. <https://doi.org/10.1002/pmj>
- [20]. Chao, L.-C., & Chien, C.-F. (2009). Estimating Project S-Curves Using Polynomial Function and Neural Networks. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(3), 169–177. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2009\)135](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135)
- [21]. Chen, P. H. (2008). Integration of cost and schedule using extensive matrix method and spreadsheets. *Automation in Construction*, 18(1), 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.04.009>
- [22]. Cheng, M. Y., Peng, H. S., Wu, Y. W., & Chen, T. L. (2010). Estimate at completion for construction projects using evolutionary support vector machine inference model. *Automation in Construction*, Vol. 19, pp. 619–629. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.02.008>
- [23]. Cheng, M. Y., Tsai, H. C., & Liu, C. L. (2009). Artificial intelligence approaches to achieve strategic control over project cash flows. *Automation in Construction*, 18(4), 386–393. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.005>

- [24]. Christensen, D. S. (1999). Value cost management report to evaluate the contractor's estimate. *Acquisition Review Quarterly*, (Summer), 283–296.
- [25]. Christensen, D. S., Antolini, R. C., & McKinney, J. W. (1995). A Review of Estimate at Completion Research. *The Journal of Cost Analysis And Management*, 12(1), 41–62. <https://doi.org/10.1080/08823871.1995.10462292>
- [26]. Christensen, D. S., & Heise, S. R. (1993). Cost Performance Index Stability. *National Contract Managers*, 15, 7–15.
- [27]. Cioffi, D. F. (2006). Completing projects according to plans: An earned-value improvement index. *Journal of the Operational Research Society*, 57(3), 290–295. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602007>
- [28]. De Marco, A., & Narbaev, T. (2013). Earned value-based performance monitoring of facility construction projects. *Journal of Facilities Management*, 11(1), 69–80. <https://doi.org/10.1108/14725961311301475>
- [29]. Dubois, D., & Prade, H. (1980). *Fuzzy Sets and System Theory and Applications*. Academic Press INC.
- [30]. Fleming, Q. W., & Koppelman, J. M. (2010). *Earned Value: Project Management* (Cuarta edición).
- [31]. Kerzner, H. (2009). *Project Management, A systems approach to planning, scheduling and control*. (Décima Edición). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [32]. Kim, B. C., & Reinschmidt, K. F. (2011). Combination of project cost forecasts in earned value management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(11), 958–966. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000352](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000352)
- [33]. Lipke, W. (2003). Schedule Is Different. *The Measurable News*, 31–34.
- [34]. Lipke, W. (2004). Independent estimates at completion - Another method. *CrossTalk*, (10), 26–30.
- [35]. Lipke, W. (2005). Connecting Earned Value to the schedule. *CrossTalk*, 18(6), 1–16.
- [36]. Lipke, W. (2006). www.earnedschedule.com/. Obtenido desde <http://www.earnedschedule.com/>
- [37]. Lipke, W., Zwikael, O., Henderson, K., & Anbari, F. (2009). Prediction of project outcome. The application of statistical methods to earned value management and earned schedule performance indexes. *International Journal of Project Management*, 27(4), 400–407. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2008.02.009>
- [38]. Lledó, P., & Rivarola, G. (2007). *Gestión de Proyectos - Como dirigir proyectos exitosos, coordinar los recursos humanos y administrar los riesgos*.

- [39]. Martens, A., & Vanhoucke, M. (2017). A buffer control method for top-down project control. *European Journal of Operational Research*, 262(1), 274–286. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.03.034>
- [40]. Naeni, L. M., Shadrokh, S., & Salehipour, A. (2011). A fuzzy approach for the earned value management. *International Journal of Project Management*, 29(6), 764–772. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.07.012>
- [41]. Narbaev, T., & De Marco, A. (2014a). An Earned Schedule-based regression model to improve cost estimate at completion. *International Journal of Project Management*, 32(6), 1007–1018. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.12.005>
- [42]. Narbaev, T., & De Marco, A. (2014b). Combination of growth model and earned schedule to forecast project cost at completion. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(1). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000783](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000783)
- [43]. Nassar, K., Gunarsson, H., & Hegab, M. (2005). Using Weibull Analysis for Evaluation of Cost and Schedule Performance. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(12), 1257–1262. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131)
- [44]. Pajares, J., & López-Paredes, A. (2011). An extension of the EVM analysis for project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index. *International Journal of Project Management*, 29(5), 615–621. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.04.005>
- [45]. Pewdum, W., Rujirayanyong, T., & Sooksatra, V. (2009). Forecasting final budget and duration of highway construction projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 16(6), 544–557. <https://doi.org/10.1108/09699980911002566>
- [46]. PMI. (2017). *Guía de los FUNDAMENTOS PARA LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS (sexta)*. Newton Square, PA 19073-3299 USA: Project Management Institute, Inc.
- [47]. Sajad, M., Sadiq, M., Naveed, K., & Iqbal, M. (2016). Software Project Management: Tools assessment, Comparison and suggestions for future development. *International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS)*, 16(1), 31.
- [48]. Viñoles, R. (2009). *Programación y Control de Proyectos con Microsoft Project*. Valencia: UPV Editorial.
- [49]. Wauters, M., & Vanhoucke, M. (2014). Support Vector Machine Regression for project control forecasting. *Automation in Construction*, 47, 92–106. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.07.014>
- [50]. Willems, L. L., & Vanhoucke, M. (2015). Classification of articles and journals on project control and earned value management. *International Journal of Project Management*, Vol. 33, pp. 1610–1634. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.06.003>

