

Trabajo Fin de Máster

Máster universitario en Organización Industrial  
y Gestión de Empresas

Aplicación del Análisis del Valor Ganado en una  
desaladora

Autor: Martín Gerónimo Gómez García

Tutor: Fernando Fernandez Machuca

**Dpto. Organización Industrial y Gestión de Empresas I**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2.020





Trabajo Fin de Máster

# **Aplicación del Análisis del Valor Ganado en una desaladora**

Autor:

Martín Gerónimo Gómez García

Tutor:

Fernando Fernandez Machuca

Profesor Asociado

Dpto, Organización Industrial y Gestión de Empresas I

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2.020



Trabajo Fin de Máster: Aplicación del Análisis del Valor Ganado en una desaladora

Máster universitario en Organización Industrial y Gestión de Empresas

Autor: Martín Gerónimo Gómez García  
Tutor: Fernando Fernández Machuca

El tribunal nombrado para juzgar el Trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2.020

El Secretario del Tribunal



# Agradecimientos

---

*Con este trabajo doy fin a una gran etapa de mi vida, donde he crecido como persona, donde he conocido a grandes personas y aprendido muchos conceptos del sector, los cuáles serán de gran utilidad para el futuro.*

*En primer lugar me gustaría agradecer a mis padres por todo su apoyo y ayuda, por creer en mí y luchar para que consiga realizar mis estudios tanto económicamente como en todos los sentidos posibles.*

*En segundo lugar, me gustaría mencionar al resto de mi familia y amigos, con los que he convivido todo este proceso este año, ellos que me han ayudado con cualquier duda y cualquier problema, han sido un gran apoyo para mí y siempre lo serán.*

*Por último, mencionar a mi profesor Fernando por estar siempre disponible para cualquier duda y ayuda, por su gran comportamiento hacia mi persona, por su interés sobre mis estudios, muchas gracias.*





En el trabajo que a continuación se muestra se estudia la metodología del Análisis del Valor Ganado, también conocida por sus siglas en inglés EVM (Earned Value Management). Se explicará el origen de la metodología empleada, la analogía e importancia con la gestión de proyectos y todos los pasos necesarios para poder desarrollarla de forma adecuada.

Una vez explicada la metodología se aplicará a un proyecto real de construcción de una desaladora de ósmosis inversa. Es un proyecto donde he podido trabajar y realizar aportaciones para su finalización. En este proyecto de estudio sobre la construcción de una desaladora se presentarán cuatro etapas diferentes en las que se medirá el avance del trabajo realizado con diferentes técnicas de medición del avance de las tareas que el método plantea. El fin es ver cómo varían los resultados obtenidos para el mismo mes según el escenario de estudio en el que nos encontremos.

En el método EVM encontraremos todas las técnicas de medición del progreso del trabajo que serán empleadas en este proyecto.

El objetivo del trabajo es ver las discrepancias que aparecen recogidas en cada etapa y realizar una valoración final para poder corregir a futuro dichos problemas. Estos resultados estarán obtenidos en términos de variaciones de coste y variaciones de tiempo en el momento de estudio del valor ganado con respecto a la planificación inicial. Esas técnicas se emplearán por el director de proyectos y su equipo de trabajo en diferentes etapas.

Y, además, se analiza la variabilidad que se obtiene en los resultados a la hora de elaborar los pronósticos futuros que sería de gran utilidad para los siguientes proyectos que elabore la empresa.



# Abstract

---

In the following document, it is studied methodology of the earned value management, also known as the EVM (Earned Value Management). It is explained the origin of the methodology used, the analogy and importance of management projects and every step necessary for being able to develop it the appropriated way.

Once explained the methodology, it will be applied to a real construction project of a reverse osmosis desalination plant. It is a project where I could work and make contributions for its ending. In this project of study about the construction of a desalination plant it will be shown four different stages, in which it will be measured the work progress done according to different measurement techniques of the advance of the task that the method plans in order to see how the obtained results in the same month according to the studio stage that we are.

At the method EVM we will find all the measurement techniques of the work progress that it will be employed.

The work aim it is to see the discrepancy that appear in each stage and carry out a final assessment for being able to amend this problems in the future. This results will be obtained in terms of cost variations and time variations at the time of earned value study in respect to initial planning. At this time these techniques will be used to the project manager and his work team.

And, also, analyze the variability that it is obtained in the results at the time to elaborate the future forecasts for the next projects that the company will collect.



# Índice de contenidos

---

|                                                                                               |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Agradecimientos</b>                                                                        | <b>7</b>   |
| <b>Resumen</b>                                                                                | <b>9</b>   |
| <b>Abstract</b>                                                                               | <b>11</b>  |
| <b>Índice de contenidos</b>                                                                   | <b>13</b>  |
| <b>Índice de tablas</b>                                                                       | <b>15</b>  |
| <b>Índice de figuras</b>                                                                      | <b>17</b>  |
| <b>1 Introducción</b>                                                                         | <b>19</b>  |
| 1.1 <i>Justificación del trabajo</i>                                                          | 20         |
| 1.2 <i>Objetivos del trabajo</i>                                                              | 24         |
| 1.2.1 <i>Objetivo general</i>                                                                 | 24         |
| 1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>                                                            | 24         |
| 1.3 <i>Estructura del documento</i>                                                           | 25         |
| <b>2 La Dirección de Proyectos y Gestión de Valor Ganado</b>                                  | <b>27</b>  |
| 2.1 <i>Dirección de Proyectos</i>                                                             | 27         |
| 2.2 <i>Gestión de Valor Ganado</i>                                                            | 28         |
| 2.1.1 <i>Procesos necesarios para implementar el sistema de Gestión de Valor Ganado (EVM)</i> | 30         |
| 2.1.2 <i>Técnicas de valor ganado (EVM) para minimizar los riesgos de los proyectos</i>       | 31         |
| 2.3 <i>Gestión del Valor Ganado y del Cronograma Ganado</i>                                   | 31         |
| 2.4 <i>Aplicación del Cronograma Ganado (ES)</i>                                              | 41         |
| <b>3 Descripción del problema objeto de estudio</b>                                           | <b>51</b>  |
| 3.1 <i>Tipo de plantas desaladoras.</i>                                                       | 53         |
| 3.2 <i>Descripción de la planta de Ósmosis Inversa.</i>                                       | 55         |
| 3.3 <i>Plantas desaladoras en España.</i>                                                     | 61         |
| <b>4 Implementación</b>                                                                       | <b>67</b>  |
| 4.1 <i>División de actividades en la construcción del proyecto.</i>                           | 69         |
| 4.2 <i>Gestión de costes del proyecto.</i>                                                    | 72         |
| 4.2.1 <i>Presupuesto inicial</i>                                                              | 72         |
| 4.2.2 <i>Programación de la planificación para las actividades.</i>                           | 74         |
| 4.2.3 <i>Etapa 1. Inicio del proyecto.</i>                                                    | 76         |
| 4.2.4 <i>Etapa 2. Evolución del proyecto a los 7 meses.</i>                                   | 79         |
| 4.2.5 <i>Etapa 3. Evolución del proyecto a los 14 meses.</i>                                  | 83         |
| 4.2.6 <i>Etapa 4. Finalización del proyecto.</i>                                              | 87         |
| 4.2.7 <i>Curva del Índice de Desempeño en Tiempo (SPI)</i>                                    | 90         |
| 4.2.8 <i>Curva del Índice de Desempeño en Coste (CPI)</i>                                     | 92         |
| 4.2.9 <i>Análisis para las compras civiles a lo largo del proyecto.</i>                       | 93         |
| 4.2.10 <i>Análisis para las compras mecánicas a lo largo del proyecto.</i>                    | 105        |
| <b>5 Conclusiones</b>                                                                         | <b>117</b> |
| <b>Referencias</b>                                                                            | <b>121</b> |
| <b>Glosario de términos</b>                                                                   | <b>123</b> |



# ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1: Fórmulas para calcular SV y SPI tanto por EVM como por ESM.                                                   | 41  |
| Tabla 2: Terminología ES en comparación con EVM.                                                                       | 47  |
| Tabla 3: Categorías de costes en la construcción de la planta Ósmosis Inversa.                                         | 69  |
| Tabla 4: Coste inicial estimado para la construcción de la planta Ósmosis Inversa.                                     | 73  |
| Tabla 5: Etapa 1. Inicio del proyecto.                                                                                 | 76  |
| Tabla 6: Etapa 2. Evolución del proyecto a los 7 meses.                                                                | 79  |
| Tabla 7: Etapa 3. Evolución del proyecto a los 14 meses.                                                               | 84  |
| Tabla 8: Etapa 4. Finalización del proyecto.                                                                           | 87  |
| Tabla 9: Costes del bloque de Compras para la partida civil.                                                           | 94  |
| Tabla 10: Tabla variaciones e índices de eficiencia.                                                                   | 96  |
| Tabla 11: Comportamiento de los Índices de Desempeño en Coste y Tiempo.                                                | 97  |
| Tabla 12: Comportamiento entre el Índice de Desempeño en Coste y Coste.                                                | 99  |
| Tabla 13: Valores relativos de Variación de Tiempo y Variación de Costes a lo largo del proyecto.                      | 100 |
| Tabla 14: Evolución del Índice de rendimiento del trabajo por completar respecto a los costes a lo largo del proyecto. | 100 |
| Tabla 15: Evolución del Índice de rendimiento del trabajo por completar respecto al tiempo a lo largo del proyecto.    | 101 |
| Tabla 16: Estimación de la proyección según presupuesto inicial.                                                       | 102 |
| Tabla 17: Estimación de la proyección de coste según el Índice de Desempeño de Coste.                                  | 102 |
| Tabla 18: Estimación de la proyección de coste según los Índices de Desempeño en Coste y Tiempo.                       | 103 |
| Tabla 19: Costes del bloque de Compras para la partida mecánica.                                                       | 105 |
| Tabla 20: Tabla variaciones e índices de eficiencia.                                                                   | 107 |
| Tabla 21: Valores relativos de Variación de Tiempo y Variación de Costes a lo largo del proyecto.                      | 110 |
| Tabla 22: Evolución del Índice de rendimiento del trabajo por completar respecto a los costes a lo largo del proyecto. | 111 |
| Tabla 23: Evolución del Índice de rendimiento del trabajo por completar respecto al tiempo a lo largo del proyecto.    | 112 |
| Tabla 24: Estimación de la proyección según presupuesto inicial.                                                       | 112 |
| Tabla 25: Estimación de la proyección de coste según el Índice de Desempeño de Coste.                                  | 113 |
| Tabla 26: Estimación de la proyección de coste según los Índices de Desempeño en Coste y Tiempo.                       | 114 |





# ÍNDICE DE FIGURAS

---

|                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1: Tareas de las actividades.                                                           | 22  |
| Figura 2: El triángulo de la gestión de proyecto.                                              | 29  |
| Figura 3: Esquema del proceso de seguimiento del proyecto con EVM.                             | 30  |
| Figura 4: Evolución del Coste y del Cronograma (CV y SV) para un proyecto de ejemplo.          | 38  |
| Figura 5: Índice de Desempeño en Coste y en Tiempo (CPI y SPI).                                | 39  |
| Figura 6: Programación Ganada (Earned Schedule, ES).                                           | 40  |
| Figura 7: Capacidad de desalación instalada en la actualidad (por países y tecnología) en 2016 | 53  |
| Figura 8: Los procesos de ósmosis y ósmosis inversa.                                           | 56  |
| Figura 9: Esquema de procesos de una planta de Ósmosis Inversa.                                | 57  |
| Figura 10: Diagrama de flujo de una planta de Ósmosis Inversa.                                 | 58  |
| Figura 11: Procedimiento de Ósmosis Inversa.                                                   | 60  |
| Figura 12: Plantas desaladoras en España en 2013.                                              | 61  |
| Figura 13: Edificios de la planta de desalación.                                               | 68  |
| Figura 14: Planificación del proyecto.                                                         | 75  |
| Figura 15: Envío de tuberías y piezas especiales.                                              | 77  |
| Figura 16: Trabajos de excavación.                                                             | 78  |
| Figura 17: Transporte de material a obra.                                                      | 81  |
| Figura 18: Perito arquitecto en revisión de trabajos en obra.                                  | 83  |
| Figura 19: Tanque dosificador de almacenamiento y pretratamiento de productos químicos.        | 85  |
| Figura 20: Entrada del material para suministrar los trabajos.                                 | 86  |
| Figura 21: Finalización de la construcción.                                                    | 88  |
| Figura 22: Curva del Índice de Desempeño en Tiempo del proyecto.                               | 91  |
| Figura 23: Curva del Índice de Desempeño en Coste del proyecto.                                | 93  |
| Figura 24: Gráfica evolución PV, AC y EV.                                                      | 94  |
| Figura 25: Evolución a lo largo del proyecto del CAdj, PV, AC y EV.                            | 95  |
| Figura 26: Gráfica de variaciones del coste y del tiempo.                                      | 96  |
| Figura 27: Gráfica evolución de los Índices de Desempeño en Coste y Tiempo.                    | 98  |
| Figura 28: Gráfica evolución PV, AC y EV.                                                      | 106 |
| Figura 29: Evolución a lo largo del proyecto del CAdj, PV, AC y EV.                            | 107 |
| Figura 30: Gráfica de variaciones del coste y del tiempo.                                      | 108 |
| Figura 31: Gráfica evolución de los Índices de Desempeño en Coste y Tiempo.                    | 109 |



# 1 INTRODUCCIÓN

---

Durante todas las fases que componen el ciclo de vida de un proyecto es imprescindible implementar un sistema que controle y regule su alcance, coste y plazo. El objetivo principal de este seguimiento es detectar cuanto antes las posibles discrepancias entre la planificación y la obra real, con objeto de poner remedio y replantear lo antes posible un cambio en el alcance, plazo o coste.

En el desarrollo de un proyecto es necesario la implementación de una serie de actividades. La distribución en el tiempo de dichas actividades y la consideración de los recursos para la ejecución, son funciones para desarrollar una buena planificación de proyectos. Se considera que el objetivo de la planificación de proyectos es la programación de actividades y una gestión de recursos para poder obtener un coste que cumpla las condiciones de alcance que nuestro cliente pide.

Respecto al coste se realiza un control por parte del director del proyecto, para verificar que se debe encontrar dentro del presupuesto aprobado para la ejecución. Este control se puede realizar con un programa de gestión de costes.

Para cumplir el plazo, el director de proyecto hace un seguimiento de la planificación realizada y debe verificar que se encuentra dentro de la programación. Una gran mayoría de las veces se realiza este seguimiento utilizando diagramas de Gantt o curvas en S, que representan el avance en relación con el tiempo.

## 1.1 Justificación del trabajo

La Gestión del Valor Ganado (EVM, siglas en inglés, Earned Value Management) es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas para el seguimiento de las actividades del proyecto con el fin de satisfacer los requisitos de éste.

EVM compara la cantidad de trabajo ya completada en un momento dado con la estimación realizada antes del comienzo del proyecto. De este modo, se tiene una medida de cuanto trabajo se ha realizado, cuanto queda para finalizar el proyecto y extrapolando a partir del esfuerzo invertido en el proyecto, el jefe de proyecto puede estimar los recursos que se emplearán para finalizar el proyecto. Con esta metodología se puede estimar en cuanto tiempo se completaría el proyecto si se mantienen las condiciones con las que se elaboró el cronograma o considerar si se mantienen las condiciones que se presentaron durante el desarrollo del proyecto. A su vez, también se puede estimar el coste total del proyecto. (Project Management Institute, Practice Standard for Earned Value Management, 2005)

Las etapas, actividades o ciclo de vida de la gestión de proyecto se definen a continuación:

### INICIACIÓN.

En esta parte es donde se comienza el proyecto, se identifica una idea. Aquí se redacta la propuesta específica del proyecto, los objetivos, el alcance, la calidad, se estima como se llevará a cabo y se hace una evaluación de los riesgos. Además, se hacen estimaciones de tiempos y costes teniendo en cuenta los recursos humanos, materiales y financieros disponibles. Este proceso es esencial para alcanzar el éxito en un proyecto, porque unos objetivos mal planeados conducirán al fracaso del proyecto aún cuando la gestión sea adecuada. (Berigüete de León, 2011)

### PLANIFICACIÓN.

Después de obtener la aprobación inicial para proceder, puede comenzar la planificación del proyecto. La planificación es donde se determina todo el trabajo a realizar y se crea la hoja de ruta que se sigue durante el resto del proyecto para

entregarlo. Es durante la fase de planificación donde se descubre cómo se realizará el proyecto. Probablemente ésta sea la fase más crítica en el ciclo de vida de los proyectos. Si se hace mal, reducirá mucho tus posibilidades de entregar los proyectos a tiempo y dentro del presupuesto. (Aston, 2019)

#### EJECUCIÓN.

Se refiere a la puesta en marcha del proyecto, consiste en poner en práctica la planificación llevada a cabo previamente.

Durante la ejecución del proyecto se debe poner énfasis en la comunicación para tomar decisiones lo más rápido posible en caso de que surjan problemas.

Además, se deberán organizar regularmente reuniones para administrar el equipo del proyecto, es decir discutir regularmente el progreso del proyecto y determinar las prioridades siguientes.

Se realiza para coordinar los recursos que son necesarios para desarrollar los procesos planificados. (Berigüete de León, 2011)

#### CONTROL.

El fin de las actividades de control es asegurar que los objetivos sean alcanzados en el tiempo y con la calidad planificada, realizando una buena supervisión y medición del rendimiento de los resultados, con el objetivo de que se puedan tomar acciones correctivas, esto se hace mediante la comparación entre la planificación realizada y los valores incurridos.

Hay que proporcionar las informaciones de control de manera oportuna y a tiempo, sin retrasos, para tomar acciones correctas antes de que sea tarde.

Para esto podemos usar el método de valor ganado o valor de trabajo realizado, método de medición de rendimiento, método de los hitos de pago, medición del rendimiento técnico, etc. (Berigüete de León, 2011)

#### CIERRE.

Los equipos cierran el proyecto cuando entregan el trabajo terminado al cliente, comunicando su finalización a las partes interesadas y liberando recursos para

otros proyectos. Este paso, vital en el ciclo de vida del proyecto, permite que el equipo evalúe y documente el trabajo realizado y pase al siguiente proyecto, utilizando los errores y éxitos previos para construir procesos más eficientes y equipos más exitosos.

Las tareas en cada etapa del proyecto:

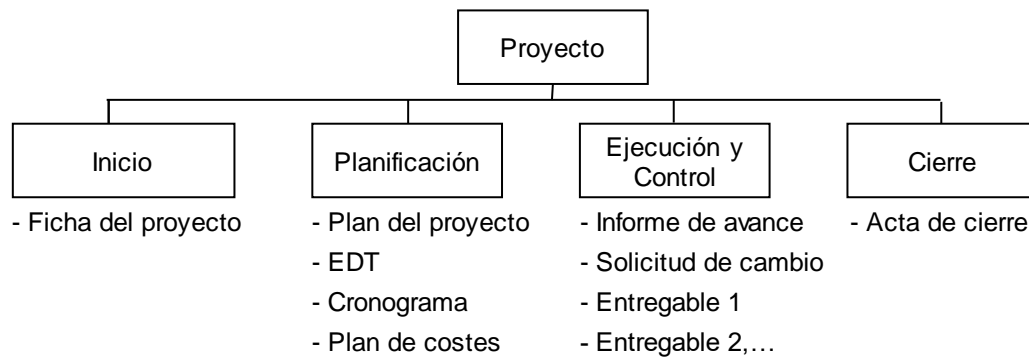


Figura 1: Tareas de las actividades.

Fuente: Obtenido de Internet.

Aunque la gestión de proyectos a veces puede parecer abrumadora, dividirla en estas cinco etapas distintas puede ayudar al equipo a gestionar incluso los proyectos más complejos y a utilizar el tiempo y los recursos de forma más inteligente. También es importante recordar los beneficios de la consultoría en gestión de proyectos, si un equipo de trabajo tiene dudas para realizar un proyecto debe buscar a un consultor. (Gerens Escuela de Postgrado, 2018)

En relación con el enfoque de este documento, se requieren procesos de monitorización y control para rastrear, revisar y regular el progreso y desempeño del proyecto e identificar las áreas en las que se requieren cambios. Su principal beneficio es que el rendimiento del proyecto se mide regularmente para identificar las desviaciones del plan. Incluye la monitorización y control del progreso del trabajo, el cronograma y los costes, con el fin de medir, comparar y analizar el desempeño del programa (por ejemplo, comparar las fechas reales de inicio y finalización con las planeadas), así como las variaciones sobre el presupuesto en el gasto real.

Una de las mejores técnicas es la Gestión del Valor Ganado. Puede desempeñar un papel crucial en la respuesta a las preguntas de gestión, como si el proyecto está retrasado, por encima del presupuesto, lo que el trabajo restante costará, etc.

La Gestión del Valor Ganado permite la indicación de las variaciones de rendimiento y los índices basados en los valores planificados en el plan de línea de base y el trabajo actual realizado y el coste.

Sin embargo, tanto el indicador de la Variación del Cronograma (SV, en inglés, Schedule Variance) como el Índice de Desempeño del Tiempo (SPI, en inglés, Schedule Performance Index) de EVM se calculan en términos de coste y no de tiempo. Y se ha demostrado que ambos indicadores se comportan mal en la etapa final de un proyecto, mostrando que se ha completado a tiempo dicho proyecto incluso cuando sabemos que se ha completado más tarde de la duración prevista o planificada. (Lipke, Schedule is different., 2003)

Para resolver esta problemática, Lipke introdujo un nuevo método análogo a EVM. La Programación Ganada (Earned Schedule, ES, siglas en inglés). La programación ganada nos va a proporcionar información sobre la desviación del cronograma, adelanto o retraso, en unidades de tiempo. Dicho método ha demostrado ser mejor que los otros de previsión de la duración de un proyecto. ES emplea los indicadores SV (Variación del Cronograma) y SPI (Índice de Desempeño del Tiempo) de EVM, pero en términos de tiempo: SV (t) y SPI (t).

En la actualidad, existe mucho escepticismo hacia el nuevo método ES. Su implantación puede causar algunas dificultades y producir errores de interpretación en algunas de sus métricas. Es cierto que es un método que está en fase de evaluación y desarrollo pero, como ya se ha comentado anteriormente, se ha demostrado que los indicadores basados en el tiempo de ES se desempeñan mejor que sus análogos EVM basados en coste, sobre todo en la etapa final de un proyecto. (Lipke, Earned Schedule-ten years after, 2013)

La finalidad no es reemplazar el método de gestión del valor ganado (EVM), sino introducir la Programación Ganada (ES) en dicho método de gestión para que cualquier director de proyecto pueda tener los indicadores de coste de EVM junto con los

indicadores de tiempo de ES y así poder predecir mejor cómo va a desarrollarse un proyecto y cuál será su duración y coste. (Lipke, Earned Schedule-ten years after, 2013)

Tanto ha sido el impacto de la Programación Ganada (ES) que el Project Management Institute (PMI) ha incluido a ES en su libro “Practice Standard for Earned Value Management” (Project Management Institute, Practice Standard for Earned Value Management, 2005). En este libro, en el apéndice D, se explica el concepto de ES y cómo calcularlo.

## **1.2 Objetivos del trabajo**

El comienzo de este Trabajo Fin de Máster es mi experiencia práctica en una compañía de ingeniería encargada de la realización de un proyecto, en concreto, una desaladora. Se trata aquí de aplicar estas técnicas a las labores de seguimiento que se realizan a través de informes de costes durante la ejecución del proyecto.

### **1.2.1 Objetivo general**

Se va a plantear el empleo de métodos de seguimiento donde los datos de costes se analizarán de una forma conjunta, concretamente mediante el método de análisis del valor ganado (EVM).

Se trata de indicar los criterios generales que se deben seguir en la aplicación del método del valor ganado a un proyecto y qué efecto tienen en él. Teniendo gran importancia la interpretación de los resultados según el criterio seguido.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Del objetivo general se derivan los siguientes objetivos específicos:

- Calcular los indicadores de cronograma SV (Variación del Tiempo) y SPI



(Índice de Desempeño en Tiempo) tanto para EVM como para ES (Programación Ganada).

-Comparar gráficamente el indicador de Variación del Cronograma (SV) de EVM y ES.

-Comparar gráficamente el Índice de Desempeño en Tiempo (SPI) de EVM y ES.

-Comparar gráficamente el Índice de Desempeño en Coste (CPI) de EVM y ES.

-Analizar cómo se desempeñan estos indicadores, sobre todo en la etapa final de un proyecto.

-Calcular previsiones a cierre en cada uno de los análisis de las etapas del proyecto.

### **1.3 Estructura del documento**

Este Trabajo Fin de Máster se ha dividido en 5 apartados.

En el primer capítulo se realiza una pequeña introducción sobre la Dirección de Proyectos, donde se presentan temas básicos para el desarrollo del trabajo.

En el capítulo segundo se expone la metodología de Gestión del Valor Ganado, describiendo todas sus herramientas de medición de rendimientos y de retroalimentación más efectiva para gestionar proyectos.

En el tercer capítulo se hace la descripción del problema objeto de estudio. Se explica las diferentes plantas desaladoras en España y la desaladora que se realizará en el proyecto.

En el cuarto capítulo, se describe el análisis de la aplicación del método del valor

ganado al proyecto de desaladora que se ha usado, se interpretan los resultados, estudiando su empleo en este caso para todo el proyecto.

En el quinto capítulo de este proyecto se mostrarán las conclusiones obtenidas tras el estudio realizado en las diferentes etapas y las posibles líneas futuras del proyecto.

En la parte final de este trabajo se incluye toda la bibliografía consultada, así como todas las referencias de autores, fechas, títulos de los trabajos y origen de estos.

A continuación, se expone un glosario con todas las palabras o expresiones que han sido descritas en el proyecto con su significado.

## 2 LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS Y GESTIÓN DE VALOR GANADO

---

### 2.1. Dirección de Proyectos

“Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único”, ésta es la definición que da el PMI (Project Management Institute) de proyecto. (Project Management Institute, 2017)

Los proyectos se llevan a cabo en todos los niveles de una organización. Un proyecto puede involucrar a una única persona o a un grupo. Un proyecto puede involucrar a una única unidad de la organización o a múltiples unidades de múltiples organizaciones.

Cada proyecto tiene un comienzo y un final perfectamente definidos. El término “temporal” no quiere decir que el trabajo sea corto, o dure poco tiempo, sino que tiene una duración limitada.

Un proyecto es único, pues no forma parte o engloba una rutina, sino que está formado por un conjunto de operaciones específicas que han sido diseñadas para lograr una meta concreta. (Project Management Institute, 2017)

El fin de un proyecto se alcanza cuando se han conseguido sus objetivos o bien cuando ya no exista la necesidad del proyecto y éste se haya cancelado.

“La Dirección de Proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos de

éste”. Así es como define el PMI a la Dirección de Proyectos. La Dirección de Proyectos se consigue mediante una adecuada aplicación e integración de los procesos de inicio, planificación, ejecución seguimiento y control y cierre. La persona responsable de que se alcancen los objetivos es el director del proyecto, quien debe tener unas destrezas básicas y competencias en este campo. (Project Management Institute, 2017)

Dirigir un proyecto implica:

- Identificar requisitos.
- Abordar las necesidades, inquietudes y expectativas de los interesados según se planifica y efectúa el proyecto.
- Equilibrar las restricciones contrapuestas del proyecto que se relacionan, entre otros aspectos con:
  - El alcance.
  - La calidad.
  - El tiempo.
  - El presupuesto.
  - Los recursos.
  - El riesgo.

## 2.2. Gestión de Valor Ganado

Gestión de Valor Ganado (Earned Value Management) es una técnica que nos permite medir el rendimiento y el avance del Proyecto. Tiene la capacidad de combinar distintas medidas que se representan en el triángulo de la gestión de proyectos:

- Alcance
- Plazos
- Coste



Figura 2: El triángulo de la gestión de proyecto.

Fuente: Obtenido de Internet.

Gestión de Valor Ganado es un sistema integrado capaz de predecir los problemas de rendimiento del Proyecto, aportando valor a la gestión de proyectos.

Los requerimientos principales a la hora de implantar EVM se pueden resumir en un plan de proyecto que identifica el trabajo programado, los gastos del Proyecto (Costes Reales), una valoración del trabajo planeado (Valor Planificado) y la cuantificación del cumplimiento del trabajo realizado (Valor Ganado).

EVM es una técnica que obtiene información del proyecto para analizar con unas reglas bien establecidas. Su análisis nos permitirá: (Alsina, s.f.)

- Revisar si estamos por encima o por debajo del presupuesto y en qué proporción.
- Conocer si estamos adelantados o atrasados en el cronograma del proyecto.
- Analizar la situación del proyecto en términos de coste y tiempo.
- Observar qué tan peligrosas o favorables son las tendencias que estamos observando.
- Hacer proyecciones con los datos obtenidos que vendrán dadas por las diferentes situaciones del proyecto.
- Tomar acciones para mitigar el impacto de algunos problemas.
- Disponer por parte de la dirección de la información necesaria que les permita seguir adelante con el proyecto o cancelarlo, solicitar más fondos, inyectar nuevos recursos o tomar otras decisiones corporativas, tanto en

lo referente a nuestro proyecto, como a otros que forman parte del portafolio de la empresa.

### 2.1.1 Procesos necesarios para implementar el sistema de Gestión de Valor Ganado (EVM)

Para establecer el sistema de Gestión de Valor Ganado necesitamos echar mano de las mejores prácticas de planificación que tiene la Dirección de Proyectos. Es necesario planificar alcance, tiempo y coste y después gestionar su integración en puntos específicos de control. El WBS (estructura de desglose del trabajo, en inglés Work Breakdown Structure), que constituye la herramienta esencial para definición de alcance, nos permitirá desglosar el proyecto en entregables, disciplinas o áreas, que a su vez descompondremos en diversos niveles hasta obtener paquetes de trabajo que sean perfectamente medibles y controlables. La suma de todos sus elementos constituye el total del proyecto.

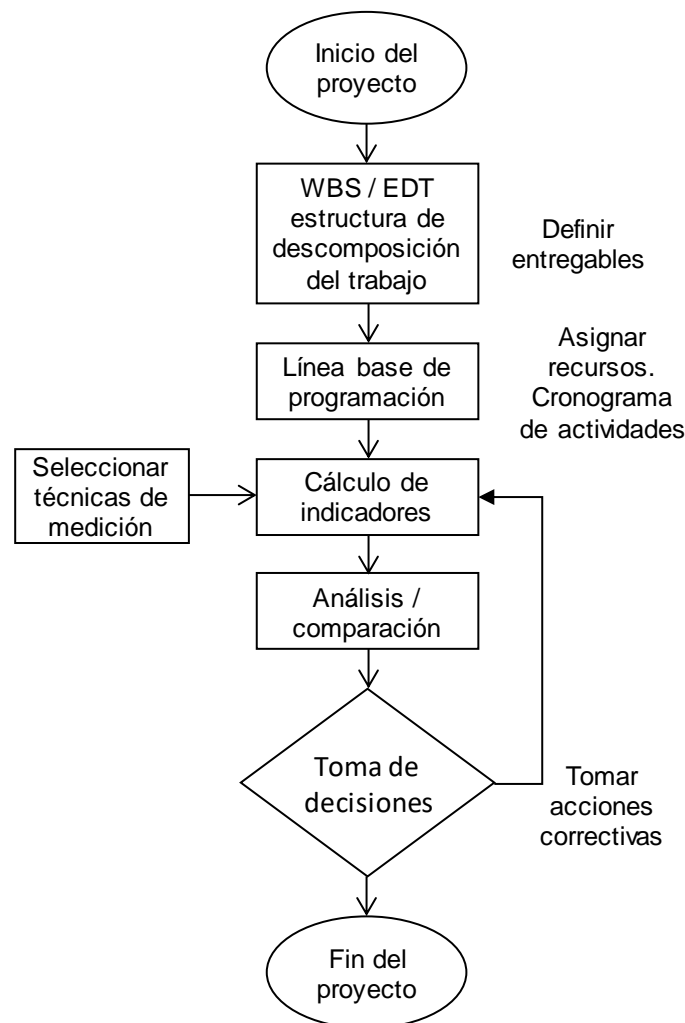


Figura 3: Esquema del proceso de seguimiento del proyecto con EVM.

Fuente: Obtenido de Internet.

### **2.1.2 Técnicas de valor ganado (EVM) para minimizar los riesgos de los proyectos**

Se podría decir que la Gestión de Valor Ganado funciona como un aliado del Director de Proyectos. No sólo le muestra el estado real de su proyecto en función a una planificación estimada o línea base, sino que la evaluación de una serie de valores aceptados por la mayoría de las asociaciones de gestión de proyectos puede servir como indicadores. Estos indicadores se van a dar sobre los aspectos que debe cuidar, replanificar, prestar más atención o acelerar, con el fin de que se cumplan plazos, objetivos y presupuestos.

La Gestión de Valor Ganado nos va a ayudar en la toma de decisiones para que el proyecto pueda terminarse de la manera que hemos planificado. El Project Manager podrá actuar de una manera eficaz, rápida y contrastada al mismo tiempo con métricas objetivas.

Con el Valor Ganado vamos a poder aumentar la velocidad de acción y tener una predicción ante los contratiempos que se dan en el proyecto. Él mismo nos dibujará el camino que debemos escoger y si el proyecto es salvable o no, qué posibilidades tenemos de recuperarlo y cuándo debemos replantearnos su continuidad.

Esta aplicación, para que pueda realizarse correctamente, dispone de una multitud de métricas que a lo largo del tiempo se han ido incorporando y mejorando. Algunas de ellas, como EV (Valor ganado) o BAC (Budget at completion) nos ofrecen información básica sobre la evolución de los proyectos. Otras métricas más abstractas o diferentes, como CSI (Cost Scheduled Index) o CPI (Cost Performance Index), nos alertan sobre las posibles desviaciones entre lo planificado y lo gastado.

### **2.3. Gestión del Valor Ganado y del Cronograma Ganado**

La Gestión del Valor Ganado (EVM, siglas en inglés) moderna fue introducida por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos en los años 60. (Fleming & Koppelman, 2016)

La Fuerza Aérea, con el objetivo de preservar el concepto como una técnica continua de gestión de proyectos, se propuso definir los requisitos para su nuevo sistema de gestión. El C/SCSC (“Cost/Schedule Control Systems Criteria”) era esencialmente un sistema de gestión de proyectos que consistía en 35 criterios precisos que debían ser satisfechos por cualquiera que usara el concepto. Los documentos de implementación del DoD (Departamento de Defensa) posteriores contenían más de ciento cincuenta preguntas de la lista de verificación que requerían el cumplimiento de los proyectos. Esta documentación resultó en un requisito pesado de satisfacer para el típico gestor de proyectos. Mientras que los Estados Unidos y otros gobiernos recomendaron el C/SCSC a proyectos importantes, la aceptación en el trabajo no gubernamental fue mínima. No fue porque los gestores de proyectos deliberadamente resistieran el concepto, más bien el C/SCSC y las cuestiones relacionadas con la implementación eran simplemente demasiado complejas para el empleo en la mayoría de los proyectos. (Fleming & Koppelman, 2016)

Más tarde, a través de un esfuerzo conjunto entre el Departamento de Defensa y la industria privada, el C/SCSC fue reescrito y en 1996 reemplazado por la Norma ANSI-EIA 748. Sin embargo, todavía había 32 criterios/directrices precisos que satisfacer. La ANSI-EIA 748 es probablemente perfecta para un proyecto de gran envergadura, con todas sus complejidades, pero es probable que sea demasiado prescriptivo para la mayoría de los proyectos típicos, en opinión de los autores. (Fleming & Koppelman, 2016)

El Project Management Institute (PMI) es una organización internacional sin fines de lucro que asocia a profesionales relacionados con la Gestión de Proyectos.

No debe entenderse como una metodología, sino como una guía de estándares internacionales para que los profesionales puedan adaptar a cada caso y contexto particular los procesos, técnicas y herramientas descritos en la guía.

El PMI se fundó en 1969 en Philadelphia por 40 voluntarios y tiene como misión convertir a la Dirección de Proyectos en una actividad indispensable para obtener resultados en cualquier negocio. En la década de los 80 se realizó la primera evaluación



para la certificación como profesional en gestión de proyectos (PMP, Project Management Professional) y se implantó un código de ética para la profesión. A principios de los años 90 se publicó la primera edición de la Guía del PMBOK (Project Management Body of Knowledge), convirtiéndose en un pilar básico para la gestión y dirección de proyectos.

Luego, en 1996 el PMI publicó su Guía PMBOK (Project Management Body of Knowledge). En las diferentes ediciones de este documento, el valor ganado como una técnica de gestión de proyectos ha tomado un lugar importante para una buena gestión de proyectos. El valor ganado, tal como se describe en la Guía PMBOK, se basa en una serie de requisitos fundamentales como definir el proyecto, planificar y programar, agregar recursos, etc. Por lo tanto, la Guía PMBOK representa el estándar mínimo del valor ganado, aplicable a cualquier proyecto. Y la ANSI-EIA 748 sigue siendo el requisito apropiado para proyectos más grandes y más complejos. Las dos son compatibles.

Desde principios de 2011, PMI es la organización dedicada a la Gestión del Proyectos más grande del mundo, dado que se encuentra integrada por más de 700.000 miembros en cerca de 170 países. La oficina central se encuentra en la localidad de Newtown Square, en la periferia de la ciudad de Philadelphia, en Pennsylvania (Estados Unidos). Sus principales objetivos son:

- Promover la profesión de dirección de proyectos.
- Compartir la experiencia internacional a través del desarrollo de profesionales.
- Desarrollar calidad en los recursos humanos para la dirección de proyectos.
- Compartir los conocimientos generalmente aceptados que dan reconocimientos a la profesión.
- Consolidar estándares internacionales.
- Certificación de profesionales en proyectos reconocidos a nivel mundial.
- Generar conocimiento a través de la investigación.

A la fecha tiene más de medio millón de asociados acreditados y certificados en más de 178 países y se ha convertido en la acreditación más requerida por las empresas para la contratación de profesionales en el área de la gerencia de proyectos.

La importancia del PMBOK es que provee un marco de referencia formal para desarrollar proyectos, guiando y orientando a los project managers en su trabajo.

La aplicación del valor ganado en las fases tempranas de iniciación y planificación de un proyecto aumenta la validez y utilidad de la línea de base de coste y cronograma y es una excelente verificación de los supuestos del alcance del proyecto y la base de referencia del alcance. Una vez establecidas, estas líneas de base se convierten en la mejor fuente para entender el desempeño del proyecto durante la ejecución. Una comparación del desempeño real (tanto el coste como el calendario) con esta base proporciona retroalimentación sobre el estado y los datos del proyecto, no sólo para proyectar resultados probables, sino también para que la administración tome decisiones oportunas y útiles usando datos objetivos. (Project Management Institute, Practice Standard for Earned Value Management, 2005)

Un principio fundamental de EVM es que los patrones y las tendencias de rendimiento, cuando se comparan con una base sólidamente desarrollada, pueden ser excelentes predictores del rendimiento del proyecto futuro. La retroalimentación es fundamental para el éxito de cualquier proyecto. La retroalimentación oportuna y específica puede permitir a los directores de proyecto identificar los problemas con anticipación y hacer ajustes que pueden mantener un proyecto a tiempo y dentro del presupuesto. Muchos consideran que EVM es una de las herramientas de medición de rendimiento y de retroalimentación más eficaces para la gestión de proyectos. (Lipke W. , Schedule adherence: A useful measure for project management., 2008)

La Gestión del Valor Ganado (EVM) se basa en cuatro puntos claves:

- a. Valor Planificado (PV, siglas en inglés, Planned Value), es el presupuesto autorizado asignado al trabajo que se lleva a cabo para un componente de la estructura de desglose del trabajo.
- b. Valor Ganado (EV, siglas en inglés, Earned Value), es el valor del trabajo

realizado expresado en términos del presupuesto aprobado asignado a ese trabajo para un componente de la estructura de desglose del trabajo.

Para obtener el Valor Ganado vamos a necesitar los siguientes puntos:

- Un plan que establezca la línea base del proyecto.
  - El presupuesto del proyecto (BAC)
  - Fechas de finalización del proyecto.
  - Se deben identificar y secuenciar las tareas del proyecto. A su vez, cada tarea debe tener un presupuesto o un esfuerzo definido.
- c. Coste Real (AC, siglas en inglés, Actual Costs), es el coste total efectivamente realizado y registrado para un componente de estructura de desglose del trabajo.
- d. Presupuesto al finalizar (BAC), es la suma de todos los presupuestos establecidos para el trabajo a realizar.

Con estos valores se pueden calcular los siguientes indicadores de rendimiento respecto al coste y el tiempo:

Las variaciones de desempeño comunes incluyen:

- Desviación de Coste (CV, siglas en inglés, Cost Variance), es una medida del desempeño de los costes. Esta medida se determina restando al Valor Ganado (EV), el Coste Real (AC).

$$CV = \frac{CV}{EV}$$

- Desviación de Programación (SV, siglas en inglés, Schedule Variance), es una medida de utilidad del cronograma. Determina si un proyecto está adelantado o retrasado en la realización del trabajo. Se calcula restando al Valor Ganado (EV) el Valor Planificado (PV).

$$SV = \frac{SV}{PV}$$

Los índices de desempeño comunes son:

- Índice de Desempeño del Coste (CPI, siglas en inglés, Cost Performance Index) es una medida del progreso logrado en comparación con los avances previstos en un proyecto. Este índice muestra cómo avanza la gestión del coste en un proyecto. Se determina dividiendo el Valor Ganado (EV) entre el Coste Real (AC).

$$CPI = \frac{EV}{AC}$$

- Índice de Desempeño del Tiempo (SPI, siglas en inglés, Schedule Performance Index), es una medida del valor de la obra ejecutada en comparación con el coste real o los progresos realizados en el proyecto. Indica cómo se está comportando el proyecto en comparación con el plan. Se calcula dividiendo el Valor Ganado (EV) entre el Valor Planificado (PV).

$$SPI = \frac{EV}{PV}$$

EVM mide el rendimiento del cronograma en unidades monetarias y no en unidades de tiempo. Otra peculiaridad es que, al completarse un proyecto en su coste previsto, pero más tarde de lo programado, la Desviación del Cronograma (Schedule Variance, SV) es igual a cero y el Índice de Desempeño del Tiempo (Schedule Performance Index, SPI) es igual a la unidad. Estos valores quieren decir que el proyecto ha tenido un desempeño perfecto de la programación, cuando sabemos que en realidad se completó más tarde de lo previsto. Para afrontar el retraso según lo previsto la desviación del cronograma no puede ser igual a cero. (Lipke, Schedule is different., 2003)

EVM presenta los siguientes objetivos:

- Planear todo el trabajo antes de comenzar.
- Medir el desempeño basado en un conjunto de objetivos de criterios técnicos.
- Analizar el estado del cronograma y sus proyecciones usando un diagrama de red.

- Analizar los costes a la luz del trabajo realizado y no del trabajo programado.
- Aislar los problemas.
- Proyectar fecha de finalización y costes finales.
- Tomar acciones correctivas.
- Mantener un control disciplinado de las medidas de desempeño con base en la línea base del proyecto.

EVM también se puede utilizar para la predicción:

- Estimación del Coste a la Conclusión (EAC, en inglés, Estimate At Completion): es una proyección del valor total más probable basada en el rendimiento del proyecto y la cuantificación del resto. La EAC es el valor final total proyectado o previsto para una actividad del cronograma, componente de la EDT o proyecto cuando se completa el trabajo definido del proyecto.

- Una técnica de proyección para la EAC se basa en el suministro de una estimación hasta la conclusión por parte de la organización ejecutante. Este método acepta el rendimiento real del proyecto hasta la fecha representada por los costes reales, y predice que todo el trabajo futuro se llevara a cabo en la tasa presupuestada donde:

$EAC = AC + BAC - EV$  donde BAC: presupuestado al finalizar.

$ETC = EAC - AC$  donde ETC: estimación al finalizar

- Otra técnica supone que el proyecto continuará en el futuro igual que lo que ha experimentado hasta la fecha.

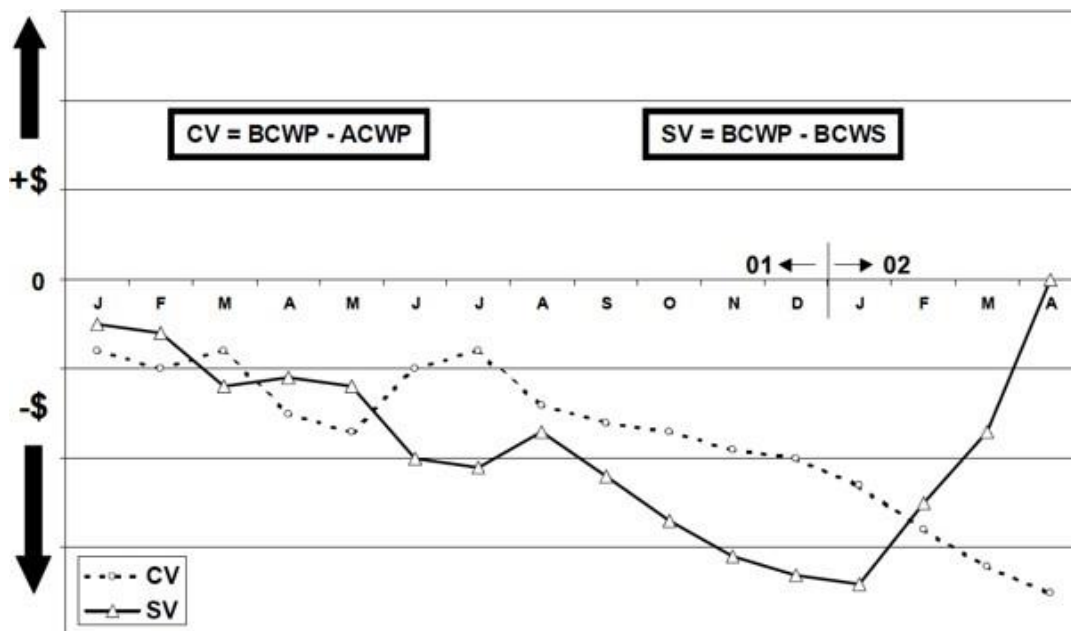
$$EAC = AC + \frac{BAC - EV}{CPI}$$

- Por último, la técnica de proyección de coste según CPI y SPI. El trabajo de la estimación al finalizar se realizará según una proporción de eficiencia tomada por los Índices de Desempeño en Coste y Tiempo.

$$EAC = AC + \frac{BAC - EV}{CPI(\%) + SPI(\%)}$$

- Proporcionar estas medidas mediante la integración de progreso del trabajo, el horario y la información de costes. EVM se considera una valiosa herramienta para el seguimiento y control del proyecto.

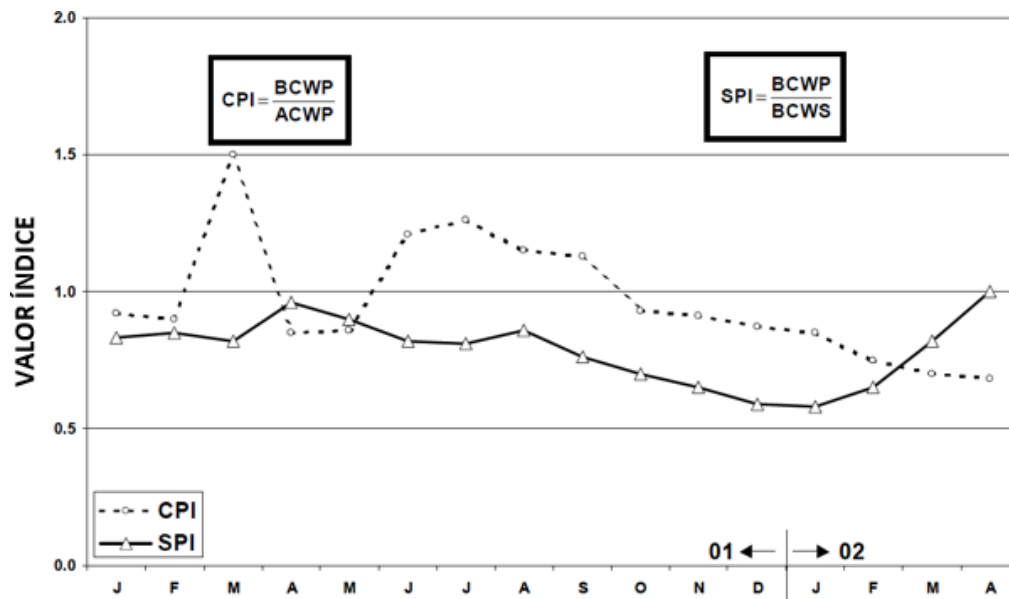
En las Figuras 4 y 5 se puede observar el comportamiento de dichos indicadores, sabiendo que el proyecto se ha completado tarde, ya que la finalización estaba planeada para final del año 01 y en realidad finalizó en abril.



Nota: Finalización Proyecto fue programada para Enero 02, pero finalizó en Abril 02

Figura 4: Evolución del Coste y del Cronograma (CV y SV) para un proyecto de ejemplo.

Fuente: (Lipke, Schedule is different., 2003)



Nota: Finalización Proyecto fue programada para Enero 02, pero finalizó en Abril 02  
 Figura 5: Índice de Desempeño en Coste y en Tiempo (CPI y SPI).

Fuente: (Lipke, Schedule is different., 2003)

Se sabe que los indicadores de EVM no proporcionan una buena información sobre la etapa final de un proyecto. Para superar esta deficiencia, Lipke en su artículo “Schedule is Different”, propone el concepto de “Programación Ganada” (Earned Schedule, ES) (Lipke, Schedule is different., 2003).

La idea de la Programación Ganada es análoga al Valor Ganado. Sin embargo, en lugar de usar el coste para medir el desempeño del cronograma, usaríamos el tiempo. La Programación Ganada se calcula como se muestra en la Figura 6. El valor acumulativo de ES se encuentra utilizando BCWP (EV) (Coste Presupuestado del Trabajo Realizado) para identificar en qué incremento de tiempo de BCWS (PV) (Coste Presupuestado del Trabajo Planificado) ocurre el valor de coste. El valor de ES entonces es igual al tiempo acumulado al comienzo de ese incremento (por ejemplo, meses) más una fracción de él. La cantidad fraccionada es igual a la porción de BCWP que se extiende en el incremento de tiempo incompleto dividido por el total de BCWS planificado para ese mismo período de tiempo. (Lipke W. , Applying earned schedule to critical path analysis and more. The Measurable News, (4), 1-8., 2006)

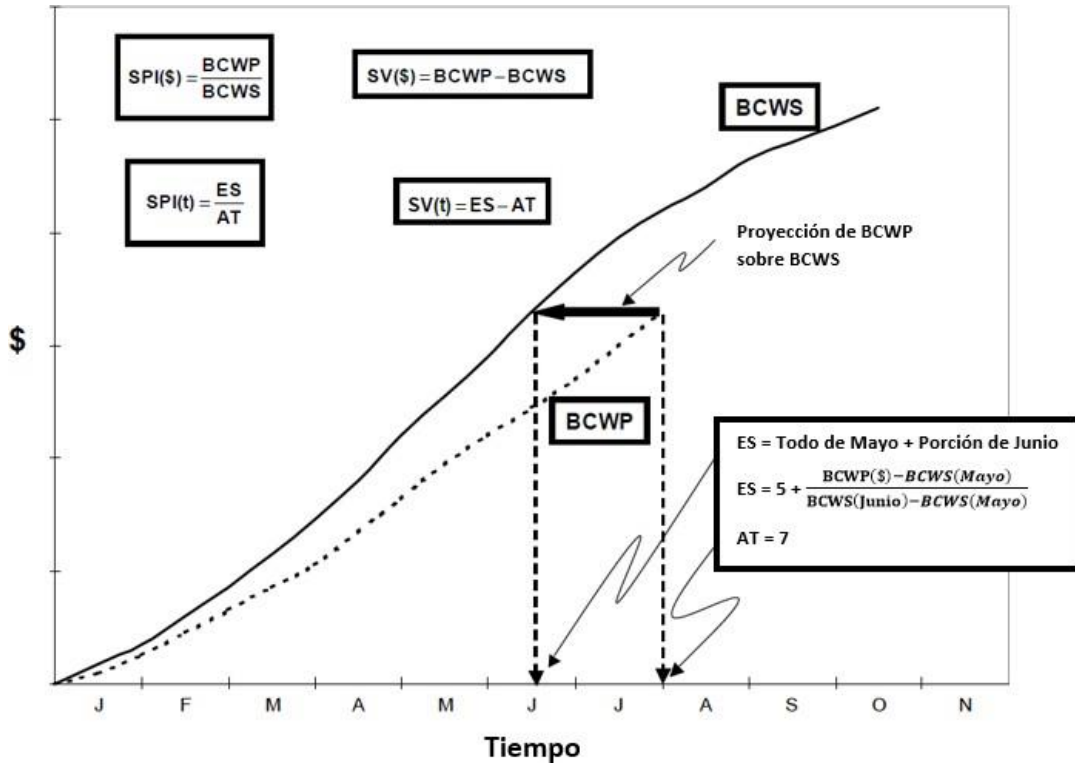


Figura 6: Programación Ganada (Earned Schedule, ES).

Fuente: (Lipke, Schedule is different., 2003)

La fórmula para calcular la Programación Ganada (ES) es la siguiente (Lipke, Schedule is different., 2003):

$$ES = N + \frac{(BCWP(\$) - BCWS(\$)_{N+1})}{(BCWS(\$)_N - BCWS(\$)_{N+1})}$$

Donde N es el número de incrementos de tiempo de BCWS (\$) superados por BCWP (\$), BCWS es el Coste Presupuestado para el Trabajo Programado (Valor Planificado o “Planned Value”, PV) y BCWP es el Coste Presupuestado para el Trabajo Realizado (Valor Ganado o “Earned Value”, EV).

En la Tabla 1 se pueden observar las fórmulas para calcular los indicadores de cronograma tanto por el método del Valor Ganado (EVM) como por el método de la Programación Ganada (ESM) (Lipke, Zwikael, Henderson, & Anbari, 2009):



|                                         | Indicadores de Coste EVM<br>(en dólares) | Indicadores de Cronograma<br>ESM(en uds. detiempo) |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Variación del Cronograma (SV)           | $SV (\$) = EV - PV$                      | $SV (t) = ES - AT^*$                               |
| Índice de Desempeño del<br>Tiempo (SPI) | $SPI (\$) = EV / PV$                     | $SPI (t) = ES / AT^*$                              |

\*AT es el Tiempo Actual o Real.

Tabla 1: Fórmulas para calcular SV y SPI tanto por EVM como por ESM.

Fuente: (Lipke, Schedule is different., 2003)

A modo de conclusión, puede afirmarse que el método EVM, principalmente, cubre las tres más importantes áreas de conocimiento de la Gestión de Proyectos: Gestión del Alcance, Gestión del Coste y Gestión del Tiempo. Esta herramienta es un método que se utiliza para la medición del desempeño. Integra las mediciones del alcance del proyecto, coste y cronograma (plazos) para ayudar al equipo de dirección del proyecto a evaluar y medir el desempeño y el avance de un proyecto. Es una técnica de Dirección de Proyectos que requiere la constitución de una línea base integrada con respecto a la cual se puede medir el desempeño durante la ejecución del proyecto. (Koch, 2013)

## 2.4. Aplicación del Cronograma Ganado (ES)

Debido a todos los problemas que presenta el SPI en darnos información útil al final del proyecto, algunos investigadores crearon el ES – Earned Schedule.

El Earned Schedule presenta una idea simple que es identificar el tiempo en el que la cantidad de EV obtenido se debería haber ganado. Determinando ese tiempo, se crean indicadores basados en tiempo para proveer información acerca de la variación de la programación y de la eficiencia de desempeño del cronograma.

Lipke aplicó el nuevo concepto ES y los nuevos indicadores basados en el tiempo, y demostró que estos indicadores se desempeñan mejor que sus indicadores análogos de EVM basados en coste, sobre todo en la etapa final del proyecto (Lipke, Schedule is different., 2003).

El propio Henderson en su artículo “Further Developments in Earned Schedule”, comparte los resultados de la colaboración continua que ha dado lugar a nuevos desarrollos a la teoría de ES. Estos avances han dado como resultado una paridad conceptual entre los indicadores históricos de EVM basados en coste y los indicadores de ES basados en tiempo. (Henderson K. , Further developments in earned schedule, 2004)

Henderson espera que estos desarrollos incrementen la utilidad de ES en analizar el desempeño del cronograma de un proyecto, particularmente en situaciones en las que los analistas no disponen fácilmente del cronograma del proyecto. (Henderson K. , Further developments in earned schedule, 2004) Mientras tanto, existe poca justificación teórica para que los profesionales de EVM continúen utilizando los predictores pre-ES del desempeño del cronograma. Por lo que se recomienda encarecidamente la conversión y el uso de las técnicas basadas en ES.

Además, analiza otras aplicaciones de ES, como son la Estimación Independiente de la Duración del proyecto (Independent Estimate of project Duration, IED) y la Estimación Independiente de la Fecha de Finalización del proyecto (Independent Estimate of Completion Date for the project, IECD). El comportamiento de estos indicadores es análogo al equivalente de EVM basado en coste, la Estimación Independiente al Finalizar (Independent Estimate To Complete, IEAC) (Henderson K. , Further developments in earned schedule, 2004)

También propone el posible uso del SPI(t) como un factor de desempeño del IEAC, pero al no disponer de datos suficientes para determinar si SPI(t) ofrece una mejor utilidad predictiva para los cálculos del IEAC, considera este posible uso de la métrica SPI(t) de ES para una investigación posterior (Henderson K. , Further developments in earned schedule, 2004)

Como conclusión, y en base a los resultados obtenidos, Henderson determinó que el concepto ES tiene validez. (Henderson K. , Further developments in earned schedule, 2004)

El propio Henderson en su artículo “Further Developments in Earned Schedule”, comparte los resultados de la colaboración continua que ha dado lugar a nuevos desarrollos a la teoría de ES. Estos avances han dado como resultado una paridad conceptual entre los indicadores históricos de EVM basados en coste y los indicadores de ES basados en tiempo (Henderson K. , Further developments in earned schedule, 2004).

La alineación total del concepto ES con los equivalentes familiares de EVM basados en coste debería facilitar la integración y el uso de ES como una extensión natural a EVM, tanto por parte de los profesionales como de las partes interesadas (Henderson K. , Further developments in earned schedule, 2004).

Para el coste del proyecto, los analistas pueden predecir el valor final con cierta confianza utilizando las fórmulas de estimación independiente al completar (IEAC) de EVM. Las fórmulas proporcionan un medio para entender la salud financiera de un proyecto sin tener que reevaluar el valor de coste para cada una de las tareas sin terminar. Los analistas de valor ganado no pueden evaluar la salud del rendimiento del programa de la misma manera. EVM no proporciona fórmulas tipo IEAC por las cuales predecir la duración final de un proyecto. Muchos de los que conocen el valor ganado expresan la opinión de que la información del cronograma derivada de EVM es de poco valor. Por ello, Lipke en su artículo “Connecting Earned Value to the Schedule”, discute el problema y desarrolla una metodología para calcular la duración prevista del proyecto usando datos EVM. La metodología utiliza el concepto de Programa Ganado e introduce una medida adicional requerida para el cálculo. (Lipke W. , Connecting earned value to the schedule., 2004)

EVM es una técnica que introduce un valor de trabajo realizado que, basado en el presupuesto y en el trabajo realizado, permite hacer comparaciones entre los valores de coste para obtener las desviaciones que ocurran en los costes y en los plazos.

Se puede decir que EVM tiene tres deficiencias principales (Lipke W. , Connecting earned value to the schedule., 2004):

- Los indicadores de desempeño no están directamente conectados al resultado del proyecto. Por ejemplo, la finalización de un hito o la entrega de productos puede no satisfacer las expectativas del cliente, aunque los valores del indicador EVM sean aceptables.
- Los indicadores de programación son defectuosos. Para los proyectos que finalizan tarde, los indicadores siempre muestran un desempeño del cronograma perfecto.
- Los indicadores de desempeño no están explícitamente conectados a la

acción de gestión apropiada. Incluso con datos EVM, el gestor del proyecto sigue dependiendo de su intuición en cuanto a cualquier acción necesaria.

Aunque existen barreras para tener una fórmula de estimación para predecir la duración final del proyecto a partir de datos EVM, sigue siendo una capacidad deseada. Los gestores de proyectos necesitan la capacidad de generar estimaciones razonables de la duración. Además, deben poder estimar una fecha de finalización revisada en cada período de informe sin tener que evaluar exhaustivamente las tareas pendientes a cada instante. Es decir, para gestionar el coste y el cronograma igualmente bien, los gestores de proyectos necesitan una capacidad de análisis comparable para ambos. (Lipke W. , Connecting earned value to the schedule., 2004)

Lipke analiza el comportamiento del CPI para explicar los resultados de los estudios del IEAC (Instituto de Estadística Aplicada y Computación) y valida el uso de la fórmula de  $IEAC = BAC / CPI$  para predecir el coste final de un proyecto (BAC). Las conclusiones del estudio del CPI fueron las siguientes (Lipke W. , Earned Schedule Contribution to Project Management., 2012):

- El resultado de  $IEAC = BAC / CPI$  es una estimación razonable corriente del bajo valor para el coste final.
- El valor acumulado de CPI se estabiliza en el instante en que el proyecto está un 20% completo. La estabilidad se define para explicar que el CPI final no varía más de 0,10 desde el valor al 20% completo.
- El valor del CPI sólo tiende a empeorar desde el punto de estabilidad hasta la finalización del proyecto.

Para Lipke existen impedimentos y limitaciones en los procesos que causan el empeoramiento del CPI. Su hipótesis es que la falta de adhesión a la ejecución del cronograma del proyecto es la causa principal de la disminución del rendimiento para ambos, coste y cronograma, a medida que el proyecto avanza hacia su finalización. (Lipke W. , Connecting earned value to the schedule., 2004)

La práctica actual para los gestores de proyectos es usar los indicadores de coste

de EVM para gestionar el coste del proyecto, y el Camino Crítico para gestionar el desempeño del cronograma. Todo el mundo sabe que el coste del proyecto y el cronograma están interrelacionados, pero no tenemos ninguna facilidad para realizar la conexión directa entre ambos. Por tanto, los gestores de proyectos tienen poca elección, tratar el coste y el cronograma por separado. Para hacer esta conexión, Lipke propone una nueva medida, conocida como “Adherencia del Cronograma” (Schedule Adherence, SA). La adherencia al cronograma característico, también conocida como P o P-Factor, es descrita matemáticamente como:

$$P = \Sigma EV_j / \Sigma PV_j$$

Donde  $PV_j$  es el valor planificado para las tareas asociadas con ES, y  $EV_j$  es el valor ganado en AT (Actual Time) correspondiente y limitado por las tareas planificadas,  $PV_j$ .

El factor P debe estar entre cero y uno, no pudiendo exceder de uno. Otra característica es que dicho factor es exactamente igual a uno al finalizar el proyecto. Cuando el valor de P es mucho menor que uno, el gestor de proyecto tiene una fuerte indicación de que el proyecto está experimentando un impedimento, el valor planificado para las tareas es mucho mayor que el valor ganado. El gestor de proyecto tiene así un indicador que realiza la descripción detallada por EVM. Este indicador es posible gracias a la aplicación del concepto de Programación Ganada (ES), vinculando EV al cronograma.

Lipke emplea el factor P junto con el retrabajo para formar un factor de ajuste. Este factor ajusta la cantidad de EV a una cantidad inferior, denominada “valor efectivo ganado”,  $Ev(e)$ . El EV reducido se utiliza, entonces, para calcular la programación ganada efectiva,  $ES(e)$ . Estos valores efectivos se emplean a su vez para calcular las eficiencias del desempeño del coste efectivo,  $CPI(e)$ , y del desempeño del cronograma,  $SPI(e)$ . Por último, las estimaciones independientes a la finalización para el coste y el cronograma se calculan usando dichas eficiencias.

En cuanto a la comparación de los indicadores de desempeño del cronograma, expresan que SV (\$) siempre termina en cero (aunque el proyecto esté adelantado o

retrasado en el tiempo), mientras que el resultado final de SV (t) iguala exactamente la diferencia de tiempo real en la terminación. Lo mismo ocurre con el indicador SPI (\$), que siempre termina en 1, mientras que SPI (t) tiene un valor final que refleja el rendimiento final del cronograma del proyecto. (Vandevoorde & Vanhoucke, 2006)

La fórmula genérica que presentan es la siguiente:

$$EAC(t) = AD + PDWR$$

Donde EAC (t) es la duración estimada a la finalización (en unidades de tiempo), AD es la duración real y PDWR es la Duración Planificada para el Trabajo Restante.

Los resultados de la comparación de los tres métodos de la literatura sobre predicción de la duración de proyectos muestran una exactitud de la predicción similar para cada método en el caso del Valor Planificado lineal. Sin embargo, la introducción de curvas de aprendizaje, que es mucho más realista en el mundo del proyecto, da como resultado una exactitud de la predicción diferente para los tres métodos. Los tres proyectos reales revelan que el método de la programación ganada fue el único método que mostró resultados satisfactorios y fiables durante toda la duración del proyecto.

Como conclusión, Vandevoorde y Vanhoucke creen que el uso del método del Valor Planificado, el método de la Duración Ganada y el método de la Programación Ganada, dependiendo de la necesidad y el conocimiento del gestor del proyecto, podría conducir a resultados similares para el monitoreo del proyecto en las etapas temprana y media. Sin embargo, recomiendan el uso del método de la Programación Ganada para monitorear el progreso del proyecto en la etapa final del mismo.

Henderson y Lipke en su artículo “Earned Schedule: An emerging enhancement to Earned Value Management” realizan un análisis de la evolución de la Programación Ganada (ES) desde su concepción en 2003 (Henderson & Lipke, 2006).

En el artículo, Henderson y Lipke incluyen una tabla con la terminología ES, comparándola con la terminología EVM, como se muestra en la Tabla 2: (Henderson K. &., 2006)

|                       | EVM                                                         | ES                                                             |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>Estado</b>         | Valor Ganado (EV)                                           | Programación Ganada (ES)                                       |
|                       | Coste Real o Actual (AC)                                    | Tiempo Real o Actual (AT)                                      |
|                       | Variación en Coste, SV (\$)                                 | SV (t)                                                         |
|                       | Índice de Desempeño en Coste, SPI (\$)                      | SPI (t)                                                        |
| <b>Trabajo Futuro</b> | Coste Presupuestado para el Trabajo Restante (BCWR)         | Duración Planificada para el Trabajo Restante (PDWR)           |
|                       | Estimación al finalizar (ETC)                               | Estimación al finalizar, ETC (t)                               |
| <b>Predicción</b>     | Variación a la finalización (VAC)                           | Variación a la finalización, VAC (t)                           |
|                       | Estimación a la finalización (EAC) (proveedor)              | Estimación a la finalización, EAC (t) (proveedor)              |
|                       | Estimación Independiente a la finalización (IEAC) (cliente) | Estimación Independiente a la finalización, IEAC (t) (cliente) |
|                       | Índice de Desempeño al finalizar (TCPI)                     | Índice de Desempeño del Tiempo al finalizar (TSPI)             |

Tabla 2: Terminología ES en comparación con EVM.

Fuente: (Henderson & Lipke, 2006)

De nuevo Lipke en su artículo “Applying Earned Schedule to Critical Path analysis and more”, aplica el concepto de Programación Ganada al análisis del Camino Crítico, para demostrar que ES se puede aplicar a cualquier nivel de interés de un proyecto, incluyendo paquetes de trabajo, cuentas de control y actividades de la ruta crítica.

En este artículo se demuestra que el método de análisis de la Programación Ganada es aplicable a todo el proyecto. La segregación y agrupación de los datos EVM para una parte específica del proyecto es la técnica mediante la cual ES se hace aplicable al proyecto total y cualquier subnivel deseado. Específicamente, se muestra que la técnica es capaz de analizar el rendimiento del programa para la ruta crítica. Me-

diante el empleo de las mismas técnicas para analizar el camino crítico, se puede evaluar el rendimiento del programa mediante tareas individuales, lo que permite identificar la ruta de mayor duración para el proyecto (ruta crítica real) junto con el “colchón” (buffer) u holgura del cronograma (Lipke W. , Applying earned schedule to critical path analysis and more. The Measurable News, (4), 1-8., 2006).

Se ha demostrado a través de la investigación y el uso que la Programación Ganada puede ser una extensión a EVM fiable del análisis del cronograma. En los proyectos de gran envergadura, las condiciones de Parada de Trabajo (Stop Work) y Tiempo Muerto o de inactividad (Down Time) que ocurren en pequeñas partes del proyecto, en la mayoría de los casos, no tendrían gran impacto en los indicadores basados en el tiempo de ES o en las previsiones de la duración y fecha de finalización. Sin embargo, es un asunto diferente para proyectos pequeños. Tal y como explica Lipke en su artículo “Earned Schedule Application to Small Projects”, las condiciones de interrupción suelen distorsionar los indicadores y pronósticos de ES, posiblemente lo suficiente para afectar las decisiones de gestión. (Lipke, Earned Schedule application to small projects., 2011)

En dicho artículo se introdujeron métodos especiales de cálculo para mejorar la aplicación de ES a pequeños proyectos. Los métodos se describieron para los indicadores de desempeño del cronograma (SPI) basados en el tiempo y para la previsión de la duración y de la fecha de finalización. La mejora de los indicadores de estos métodos especiales se ilustró a través de un ejemplo de un conjunto de datos EVM. (Lipke, Earned Schedule application to small projects., 2011)

Los métodos de predicción especial y normal se aplicaron a cuatro conjuntos de datos EVM, con diversas combinaciones de condiciones de Stop Work y Down Time. Para cada caso, las previsiones se hicieron utilizando ambos métodos de cálculo. Se hicieron gráficos para los resultados previstos de IEAC (t) (normal) e IEAC (t) sp (especial) por período. También se incluyeron en los gráficos las duraciones planificadas y reales. Además, se construyeron gráficos de barras para cuatro rangos de porcentajes completos, representando la desviación estándar de los resultados de pronóstico con respecto a la duración final.



Para los cuatro escenarios de rendimiento, las comparaciones realizadas en los gráficos y gráficos de barras indican claramente que IEAC (t) se produjo confiablemente mejores pronósticos. Aunque se usaron pequeños conjuntos de datos, los resultados son convincentes. Por lo tanto, para los pequeños proyectos que se enfrentan a las condiciones de Stop Work y Down Time, se recomienda el método especial ES para calcular los indicadores y pronósticos basados en el tiempo.

ES facilita la capacidad de análisis de rendimiento de cronograma considerable de datos EVM. Las capacidades ofrecidas por ES - indicadores basados en tiempo, previsión de duración, predicción, ruta crítica, adherencia de cronograma, identificación de restricción / impedimento, coste de re-trabajo, desempeño discontinuo y topología de red de cronograma - anteriormente no se creían posible (Lipke W. , Earned Schedule Contribution to Project Management., 2012).

La aceptación de ES debería ayudar a popularizar EVM. Con la inclusión de ES, EVM puede hacer el caso de que, ahora, en un solo método, el coste del proyecto y el cronograma pueden ser manejados (Lipke W. , Earned Schedule Contribution to Project Management., 2012).

Incluso sin una aceptación plena, el impacto de ES ya no puede ser ignorado. Se está utilizando en todo el mundo en muchos lugares, grandes y pequeños proyectos, y también en academias (Lipke, Earned Schedule-ten years after, 2013).

Como conclusión final se puede decir que, no se trata de reemplazar el método de la Programación Ganada (ES) por EVM, sino incluir ES dentro de EVM, para que junto con los indicadores de coste de EVM y los indicadores de cronograma de ES, se pueda realizar una mejor previsión de la duración y de los costes finales del proyecto. Se ha demostrado desde su concepción en 2003, que ES es un método fiable, por lo que el escepticismo que aún sigue habiendo por parte de algunos defensores del método EVM no debería existir, para así poder establecer ES en todo tipo de proyectos y en todas partes del mundo (Lipke, Earned Schedule-ten years after, 2013).



### 3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA OBJETO DE ESTUDIO

---

Como ya hemos comentado anteriormente, el Análisis del Valor Ganado es una herramienta muy útil para conocer el estado de los proyectos. Esta herramienta muestra, a partir de los valores reales de ejecución del proyecto, mediante una comparativa con los valores planificados, como está el proyecto a la fecha de control y a través de una serie de variables, poder predecir su tendencia en el futuro.

Realizaremos un estudio del proyecto, para poder conocer más en profundidad toda la información de la que nos provee esta herramienta. Para cada proyecto partiremos de una serie de datos: (López Márquez, 2016)

- Estructura de descomposición del trabajo. Es una herramienta fundamental que consiste en la descomposición jerárquica del trabajo a ser ejecutado por el equipo de proyecto, para cumplir con los objetivos. Nos ayuda a saber dónde está ubicado cada paquete de trabajo.
- Diagrama de Gantt. Necesitamos esta herramienta para planificar y programar tareas a lo largo de un período determinado. Permite realizar el seguimiento y control del progreso de cada una de las etapas de un proyecto y, además, reproduce gráficamente las tareas, su duración y secuencia, además del calendario general del proyecto.
- Presupuesto. Es una pieza fundamental para poder asignar un valor a cada tarea dentro del proyecto. Para cada tarea que se vaya completando, se indicara que el valor asignado se ha ganado.

A medida que se va ejecutando el proyecto, se irán registrando los valores del coste real incurrido para ejecutarlo y el valor real ganado para el proyecto, que no tiene por qué coincidir con el valor planificado para cada paquete de trabajo.

Una vez que tenemos todo lo necesario para aplicar el EVM, tenemos que definir unas fechas de control, en las que analizar la situación. Para realizar este estudio se partirá de las tres variables básicas del Análisis del Valor Ganado, que son el Valor Ganado (EV), Valor Planificado (PV) y Coste Real (AC).

Toda esta metodología se aplicará a una planta de desaladora de Ósmosis Inversa. La desalación es una de las tecnologías más extendidas a escala global para la obtención de agua potable procedente del mar, para obtener agua apta para el consumo humano.

La desalación, también conocida como desalinización, se trata de una solución especialmente recurrente en zonas de escasez de agua dulce apta para el consumo. Consiste en la captación de agua salada procedente del mar con el fin de hacerla pasar a través de una serie de procesos que tienen como objetivo extraer la sal contenida, proporcionando agua tratada apta para el consumo.

En la actualidad existen alrededor de 16.000 plantas de desalación instaladas alrededor del mundo. Proporcionan una solución fiable para la escasez del recurso hídrico, a pesar de requerir una cantidad elevada de suministro energético para poner los sistemas en funcionamiento. En líneas generales una planta desaladora consiste en una instalación situada cerca del mar acompañada de varias naves que albergan las diferentes etapas del proceso y depósitos de almacenamiento del agua. El tipo de instalaciones y estructura varían según el proceso de desalación que se emplee.

Dubái abastece más del 98% de su suministro de agua potable a partir de la desalación. La mayoría de las plantas en el mundo está en el Medio Oriente y África del Norte, la más grande está en Arabia Saudita. Esta planta desaladora utiliza ósmosis inversa en el complejo Shuaibah, tratándose del mayor proyecto de este tipo construido

con una capacidad de 250.000 metros cúbicos diarios. Las plantas de desalinización operan en más de 100 países.

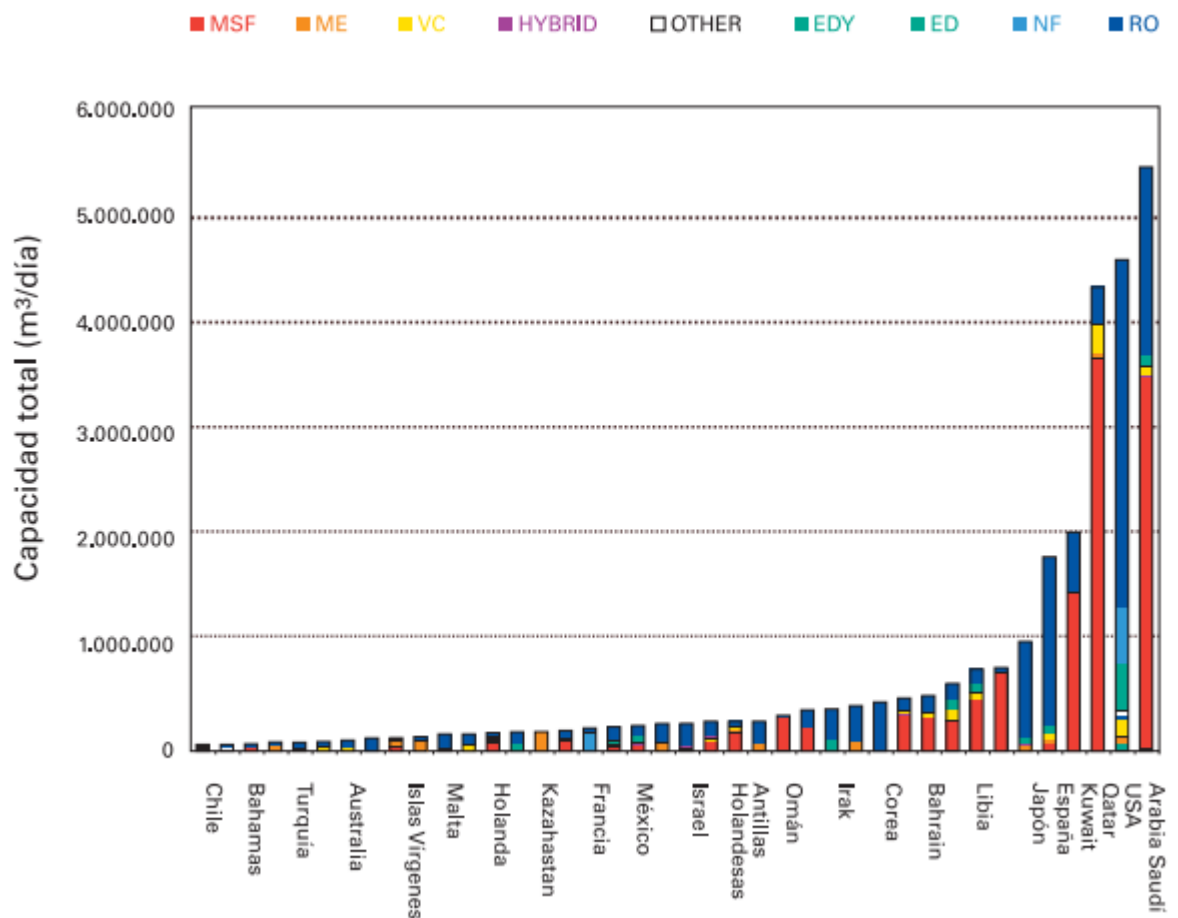


Figura 7: Capacidad de desalación instalada en la actualidad (por países y tecnología) en 2016

Fuente: IDA desalting plant inventory/Wannngbick

Se va a proceder al análisis de una planta desalinizadora de agua, cuyos datos han sido proporcionados por la propia empresa sobre la que se desarrolla este TFM, dedicada a la gestión de proyectos.

### 3.1. Tipo de plantas desaladoras.

En este apartado se expondrán distintos tipos de plantas desaladoras que existen, atendiendo al método que emplean para su funcionamiento, y posteriormente se indicará cuál es el tipo de planta elegida para las necesidades del proyecto.

Para facilitar dicho análisis se agrupan según la presencia o no de cambio de fase en el fluido que tratan para obtener una correcta desalación. Para ello, las plantas desaladoras que recurren al cambio de fase del fluido lo hacen mediante procesos de evaporación del agua como son los procedimientos de compresión térmica de vapor o la destilación. En caso contrario en que no se requiera un cambio de fase del fluido las plantas desaladoras utilizan procesos de filtración, por ejemplo. Dentro de este último grupo se incluyen procesos como la electrodiálisis o la ósmosis inversa.

De cara a la puesta en marcha de un proyecto, la elección del método de desalación que se empleará en la planta resulta esencial para satisfacer las necesidades requeridas. Los criterios por los que se elige son el caudal de agua que se debe tratar, las características de la propia planta, la disponibilidad de energía y las características del agua.

Procesos de desalación mediante evaporación:

- Plantas desaladoras funcionando mediante compresión térmica de vapor como fuente de energía (TVC, en inglés, Thermal Vapor Compression). La compresión térmica de vapor obtiene el agua destilada con el mismo proceso que una destilación por múltiple efecto, pero utiliza una fuente de energía térmica diferente. Los compresores térmicos (o termocompresores) consumen vapor de media presión proveniente de la planta de producción eléctrica y que succiona parte del vapor generado en la última etapa a muy baja presión, comprimiéndose y dando lugar a un vapor de presión intermedia a las anteriores adecuado para aportarse a la 1ª etapa, que es la única que consume energía en el proceso.
- Plantas desaladoras de funcionamiento mediante destilación de doble efecto (MED, en inglés, Multi Effect Distillation). En los procesos MED, el agua a tratar pasa a través de una serie de evaporadores puestos en serie. El vapor de una de las celdas se usa para evaporar el agua de la siguiente mientras que el aporte de energía primaria se hace sobre la primera de las etapas.

Este tipo de plantas son de tamaño medio y están especialmente indicadas en los casos de poder aprovechar calores residuales procedentes de instalaciones de cogeneración, turbinas, etc.

- Plantas de funcionamiento mediante destilación súbita por efecto flash

multietapa (MSF, en inglés, Multi Stage Flash Distillation). El agua a desalar se calienta a baja presión lo que permite una evaporación súbita e irreversible, repitiéndose este proceso en sucesivas etapas en las que la presión disminuye según distintas condiciones.

Está indicado para aguas cuya salinidad es elevada. También lo está en aguas de temperaturas más altas y mayor contaminación. El mayor inconveniente que presentan las plantas MSF es el alto consumo energético.

- Plantas desaladoras de compresión mecánica de vapor (MVC, en inglés, Mechanical Vapor Compression). Los evaporadores al vacío por compresión mecánica de vapor evaporan el líquido, en este caso el agua salada, en un lado de la superficie de intercambio, y se comprime lo suficiente para que condense en el otro lado y pueda así mantenerse el ciclo de destilación de agua, salvando las pérdidas del proceso y la elevación de la temperatura de ebullición del agua salada respecto a la pura.

Plantas de procesos de desalación mediante filtración:

- Electrodiálisis. Se emplea más para el uso industrial.
- Ósmosis inversa. En este trabajo, el tipo de planta de desalación analizada es de Ósmosis inversa.

### **3.2. Descripción de la planta de Ósmosis Inversa.**

La desalación es el proceso de separación de minerales disueltos (sales) y otras sustancias indeseables contenidas en las aguas salobres o marinas, para convertirlas en agua adecuada para el consumo humano, para uso industrial o agrícola. Siendo éste el objetivo que se quiere conseguir en una planta desaladora de OI (Ósmosis Inversa).

Los principales procesos físicos que tienen lugar en una planta de OI son:

- Filtración por gravedad: es el método más sencillo y tradicional de filtración, donde la única fuerza impulsora para que el líquido atraviese el filtro es la gravedad.
- Microfiltración: es un proceso físico en el cual el fluido contaminado pasa

a través de una membrana porosa para separar microorganismos y partículas en suspensión. Normalmente se utiliza junto a otros procesos como ultrafiltración previos al proceso de ósmosis inversa. La microfiltración normalmente sirve como pretratamiento a la ultrafiltración. El tamaño típico de poro utilizado para microfiltración es de 0.1 a 10  $\mu\text{m}$ .

- Ultrafiltración: es un proceso físico en el cual el fluido contaminado pasa a través de una membrana porosa. Sirve para purificar, separar o concentrar moléculas mediante la aplicación de presión sobre el fluido. El solvente y otros compuestos disueltos, igual que en el proceso de microfiltración pasan a través de la membrana. El tamaño típico de poro utilizado para ultrafiltración es de 0.001 a 0.1  $\mu\text{m}$ .
- Ósmosis: el fenómeno de la Ósmosis está basado en la búsqueda del equilibrio. Cuando se ponen en contacto dos fluidos con diferentes concentraciones de sólidos disueltos se mezclarán hasta que la concentración sea uniforme. Si estos fluidos están separados por una membrana permeable (la cual permite el paso a su través de uno de los fluidos), el fluido que se moverá a través de la membrana será el de menor concentración de tal forma que pasa al fluido de mayor concentración.
- Ósmosis inversa: si se aplica una presión superior a la presión osmótica sobre el líquido contaminado, se produce el efecto contrario y es lo que se conoce como ósmosis inversa. Los fluidos se presionan a través de la membrana, mientras que los sólidos disueltos quedan atrás.

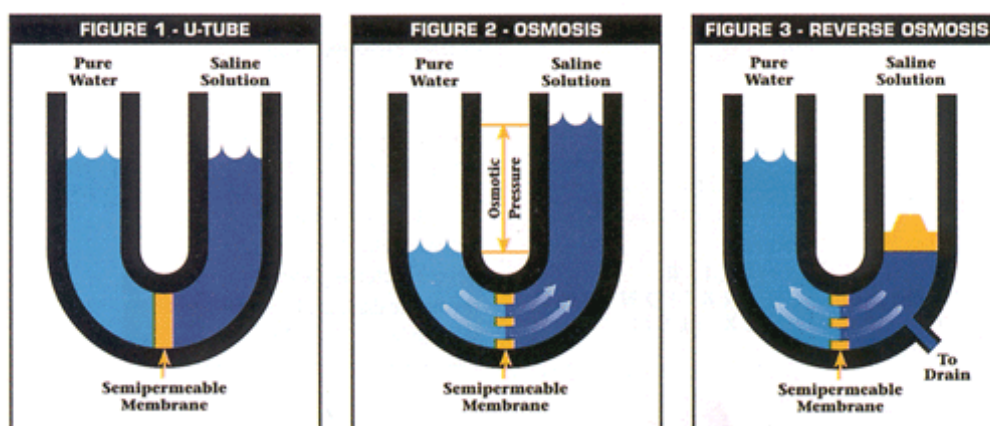


Figura 8: Los procesos de ósmosis y ósmosis inversa.

Fuente: Obtenido de Internet.

El proceso de desalación se lleva a cabo a través de las siguientes etapas básicas.



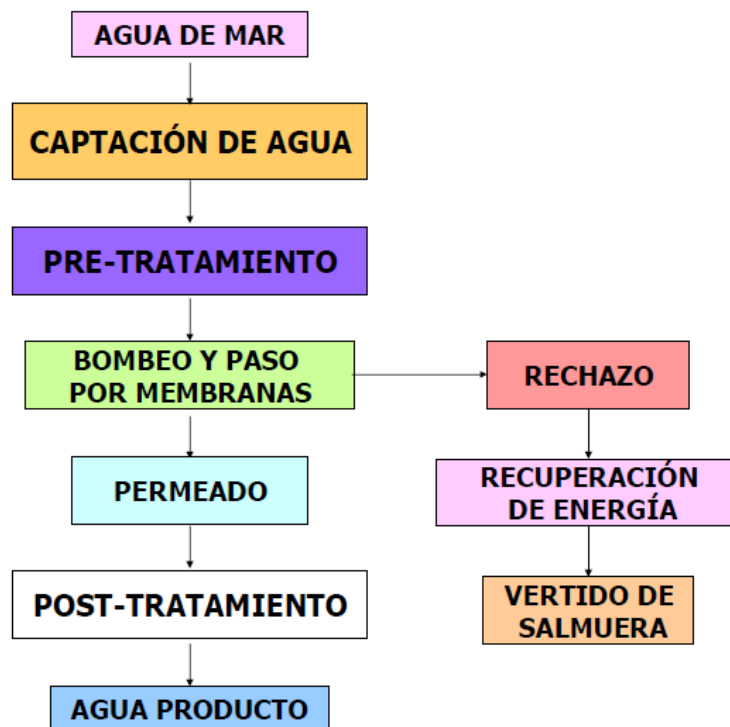


Figura 9: Esquema de procesos de una planta de Ósmosis Inversa.

Fuente: Elaboración propia.

El agua de mar captada mediante pozos o mediante tomas de captación abierta es bombeada hacía unos filtros, donde se elimina la materia en suspensión hasta un tamaño de unas 100 micras. En algunas ocasiones es necesario realizar una desinfección, para eliminar las bacterias y virus y si la cantidad de materia en suspensión es elevada, se debe añadir también un floculante para facilitar la precipitación. Mediante una bomba de alta presión se hace pasar el agua de mar a través de las membranas obteniendo dos corrientes: una salmuerera concentrada en sales, denominada “rechazo”, que posee una presión elevada y cuya energía es susceptible de ser recuperada mediante una turbina Pelton y otra, pobre en sales, que se denomina “permeado”.

La corriente de agua permeada se conduce a su almacenamiento en donde recibe la dosificación de reactivos adecuada para conseguir de la calidad necesaria para su uso posterior.

El diagrama de flujo básico es:

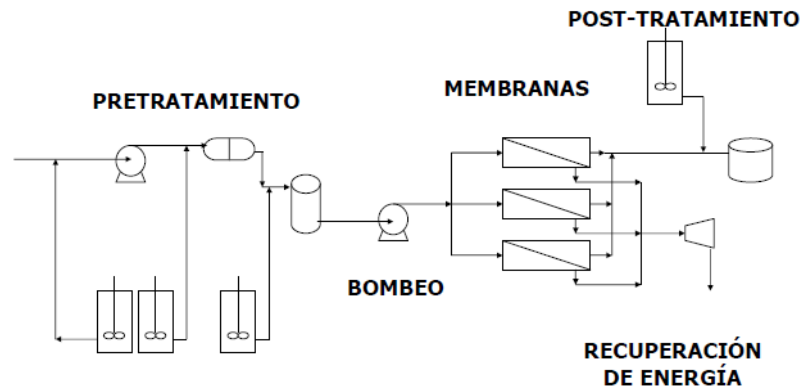


Figura 10: Diagrama de flujo de una planta de Ósmosis Inversa.

Fuente: Elaboración propia.

Una instalación de este tipo consta fundamentalmente de las siguientes etapas:

- i. Toma de agua de mar
- ii. Pretratamiento
- iii. Sistema de alta presión y recuperación de energía
- iv. Ósmosis inversa
- v. Postratamiento de agua desalada
- vi. Vertido de salmuera

A continuación, se detalla cada una de las etapas:

- i. Toma de agua de mar. La captación se puede hacer mediante toma abierta o mediante pozos. La toma de captación abierta genera más incertidumbre ya que es mucho más vulnerable a todo tipo de vertidos contaminantes, presenta mayor variabilidad de calidad y está sujeta a variaciones de temperatura. Por el contrario, el agua de pozo presenta mejores calidades y es mucho más homogénea. Desde el punto de vista de la garantía de caudal, las ventajas son para la toma abierta, ya que es más complicado asegurar el caudal de producción en el agua de pozo, por lo que las plantas de gran tamaño tienen tomas de agua abiertas y una etapa de pretratamiento más compleja. (ICEX, 2007)

- ii. Pretratamiento. El pretratamiento de una instalación de desalinización está concebido para los siguientes objetivos: (ICEX, 2007)
  - a. Eliminar turbidez y sólidos en suspensión.
  - b. Ajustar y controlar el pH del agua.
  - c. Inhibir y minimizar la formación de componentes que puedan obstruir o precipitar sobre las membranas.
  - d. Impedir desarrollos biológicos en el sistema.
  - e. Mejorar el índice de densidad de sedimentos del agua de alimentación hasta valores adecuados.

El esquema general, en función de estos objetivos, incluye los siguientes procesos unitarios:

- Dosificación de reactivos.
- Desarenado.
- Coagulación y floculación.
- Decantación o flotación.
- Filtración sobre arena.
- Filtración sobre cartuchos.

- iii. Bombeo de alta presión. Las bombas de alta presión (60-70 bares) son los equipos que alimentan fluido a las membranas de ósmosis inversa a la presión adecuada para que se produzca la separación entre el agua desalada y la salmuera. Esta parte es la gran consumidora de energía y por ello se han desarrollado diferentes sistemas de recuperación de energía, que han ido evolucionando desde las turbinas de contrapresión hasta las turbinas de tipo Pelton y sistemas recientes de cámaras intercambiadoras de presión. De esta forma se ha pasado de consumir 8-9 kW/m<sup>3</sup> a 3-4 kW/m<sup>3</sup> en las plantas más modernas. (ICEX, 2007)
- iv. Ósmosis inversa. Ésta es la pieza clave en toda instalación. Su implantación va en aumento gracias a su evolución tecnológica, tanto de las recuperaciones de energía como de las propias membranas, que ya tienen un factor de recuperación del 50% de agua desalada. (ICEX, 2007)

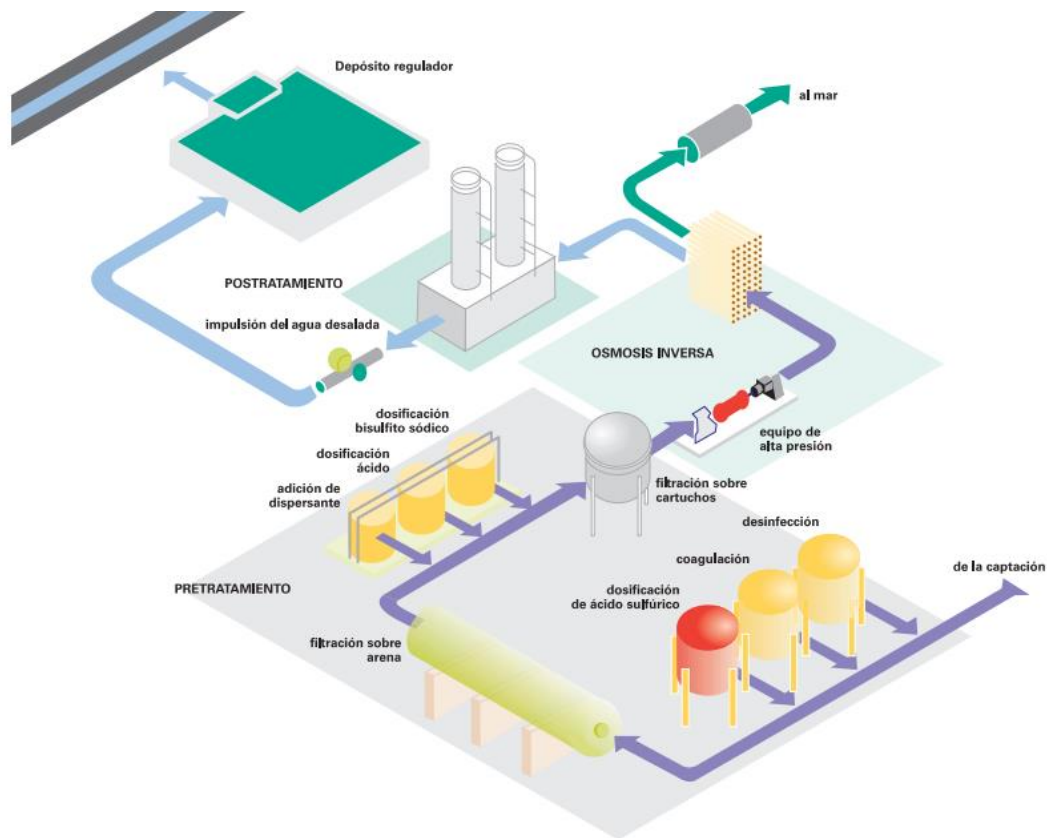


Figura 11: Procedimiento de Ósmosis Inversa.

Fuente: (ICEX, 2007)

- v. Postratamiento. El agua osmotizada (agua desalada) ha de someterse a una fase de postratamiento para adecuar los parámetros de calidad a los usos a los que se destine. Hay que adoptar medidas correctoras mediante técnicas de remineralización que permiten obtener un agua de mejor calidad. La realización del postratamiento depende de si el agua es de uso para regadío o para consumo humano. (ICEX, 2007)
  
- vi. Vertido de salmuera. El vertido de la salmuera al mar, si bien es muy concentrado, representa un pequeño caudal relativo, por lo cual no ha de ser amenazador para la fauna marina, aunque debe ser siempre controlado para evitar daños en determinadas especies. (ICEX, 2007)

| <b>Grandes plantas desaladoras en España</b>                                         |                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Torreveja                                                                            | 240.000 m <sup>3</sup> día (en construcción)      |
| Barcelona                                                                            | 200.000 m <sup>3</sup> día (en construcción)      |
| Agullas                                                                              | 180.000 m <sup>3</sup> día (en construcción)      |
| El Atabal                                                                            | 165.000 m <sup>3</sup> día (en operación)         |
| Valdeventisco                                                                        | 140.000 m <sup>3</sup> día (en construcción)      |
| San Pedro del Pinatar                                                                | 130.000 m <sup>3</sup> día (en operación)         |
| Canal de Alicante                                                                    | 130.000 m <sup>3</sup> día (1ª fase en operación) |
| Carboneras                                                                           | 120.000 m <sup>3</sup> día (en operación)         |
| <b>Ocho plantas desaladoras superarán la producción de 100.000 m<sup>3</sup>/día</b> |                                                   |

Figura 12: Plantas desaladoras en España en 2013.

Fuente: (ICEX, 2007)

Algunas plantas están en ampliación para llegar a la cantidad indicada de m<sup>3</sup>/día.

### 3.3. Plantas desaladoras en España.

Atendiendo al contexto de España, las primeras plantas desaladoras que se instalaron fueron ubicadas en las zonas del sur del país y las Islas Canarias debido a los requerimientos de agua potable. En el 1964 se instaló la primera planta en Lanzarote, una instalación que producía un caudal de 2500 m<sup>3</sup>/día de agua. El aprovechamiento de dicho caudal favoreció el desarrollo económico y se apreció un avance de grandes proporciones.

Se exponen aquí las plantas de desalación más grandes de España y las que están en proceso de construcción o a punto de operar como está recogido en los cuadernos sectoriales (ICEX, 2007) :

- ✓ Planta desaladora de agua de mar de Carboneras (Almería)

En el momento de su puesta en marcha llegó a ser la desaladora más grande de Europa con 120.000 m<sup>3</sup> /día, unos 42 hm<sup>3</sup>/año.

El objetivo de la planta era garantizar de un modo definitivo el suministro de agua para el abastecimiento de núcleos urbanos (Carboneras, Mojácar, etc.) así como para el regadío.

La instalación consta de:

- ♣ Sistema de toma abierta de agua de mar.
- ♣ Pretratamiento fisicoquímico mediante desarenado, filtración sobre arena, filtración secundaria (20 micras) y adición de reactivos.
- ♣ Sistema de ósmosis inversa con recuperación de energía mediante turbinas Pelton (41% de la energía de bombeo).
- ♣ Postratamiento para los caudales de abastecimiento mediante recalificación y cloración.

✓ Planta desaladora de agua de mar de San Pedro del Pinatar (Murcia)

El sistema de desalinización del Nuevo Canal de Cartagena para el abastecimiento de agua a la mancomunidad de Los Canales de Taibilla se lleva a cabo en dos fases.

La primera fase se puso en marcha en el año 2001, con capacidad para 65.000 m<sup>3</sup>/día. La captación de agua de mar se efectúa con una técnica pionera en el mundo de la perforación horizontal, mediante drenes horizontales, dirigida hacia el interior del mar. El pretratamiento se lleva a cabo en dos etapas de filtración y adición de reactivos. El proceso de desalinización es por ósmosis inversa e incluye turbinas Pelton para la recuperación de energía. El grado de conversión es del 45% del agua permeable. Finalmente, el agua se somete a un proceso de remineralización para equilibrar su dureza y pH hasta los límites establecidos para el agua potable.

La segunda fase se puso en marcha en 2006 con una capacidad también de 65.000 m<sup>3</sup>/día, estando concebida como una extensión de la primera, aunque en este caso la captación de agua de mar se hace mediante toma abierta, repercutiendo en el diseño del pretratamiento. Este diseño incluye en el proceso una etapa de desbaste, tratamiento fisicoquímico de filtración y coagulación y filtración en dos etapas.

El proceso de ósmosis inversa incluye también un sistema de recuperación de energía por turbinas Pelton.

El objetivo de estas instalaciones es la producción de agua para el abastecimiento, partiendo de aguas con salinidad de 38.000 mg/l y rebajándola mediante el proceso de ósmosis inversa a niveles inferiores de 500 mg/l.

✓ Planta desaladora de El Atabal (Málaga)

La planta desaladora de El Atabal produce 165.000 m<sup>3</sup>/día de agua desalada para el abastecimiento de la ciudad de Málaga.

El agua objeto de tratamiento, con salinidad superior a los 6 g/l, proviene de la planta potabilizadora de agua de la ciudad, que se convierte así, en la etapa de pretratamiento de la instalación desaladora. Mediante un proceso de ósmosis inversa se consigue reducir la salinidad hasta 200 mg/l.

La conversión de la instalación es del 80% y se realiza en dos etapas: la primera trata todo el caudal, mientras que la segunda sólo trata el caudal rechazado por la primera.

Al tratar aguas con contenidos en sal de hasta seis veces menor, el consumo energético en este tipo de plantas es mucho menor comparado con las de agua de mar.

El vertido de la salmuera se efectúa por medio del emisario submarino de la depuradora de aguas residuales existente, consiguiendo así un efecto reductor del impacto ambiental, por diluirlos en ambos canales.

✓ Planta desaladora de agua de mar de Alicante

La planta desaladora de Alicante se construyó para aportar nuevos recursos a la mancomunidad de los Canales de Taibilla y asegurar así el abastecimiento

de agua potable a dos millones de habitantes, abarcando más de setenta municipios de las Comunidades Autónomas de Valencia, Murcia y Castilla la Mancha. Al ser una zona con mucho potencial turístico tiene un gran componente estacional.

En una primera fase se ejecutó una instalación con una capacidad de producción de 65.000 m<sup>3</sup>/día. La planta incluye la toma mediante pozos, con un sistema de tratamiento cuyo esquema está basado en una etapa de filtración por arena y otra de filtración por cartuchos y adición de reactivos.

La ósmosis inversa, con un factor de conversión del 45%, incorpora bombas de alta presión con recuperación de energía mediante turbinas Pelton. En la fase de postratamiento se añade cal e hipoclorito sódico.

Con posterioridad se ha visto la necesidad de acometer una ampliación para otros 65.000 m<sup>3</sup>/día mediante una toma de agua basada en un sistema de drenes y tubería de captación en túnel.

El pretratamiento consta de una filtración por arena seguida de una segunda etapa con filtros de cartucho.

La desalinización es por ósmosis inversa con sistema de recuperación de energía mediante intercambiadores de presión de alto rendimiento. El postratamiento se efectúa por recalcificación con filtros de calcita y dosificación de CO<sub>2</sub>.

✓ Planta desaladora de agua de mar de Valdelentisco (Murcia)

El objeto de esta planta es el incremento de los recursos hídricos actualmente disponibles para la mancomunidad de Canales de Taibilla, atendiendo así los actuales déficits de agua que soportan determinadas zonas regables de la región de Murcia, además de garantizar el suministro de abastecimiento.

La capacidad de producción es de 140.000 m<sup>3</sup>/día, ampliables a 200.000 m<sup>3</sup>/día, lo que la convertiría en una de las grandes plantas a nivel mundial.



La desaladora está diseñada con toma abierta, un pretratamiento que incluye filtración dual (arena y antracita), dosificación de reactivos y filtración por cartuchos).

La ósmosis inversa se lleva a cabo con membranas con factor de conversión del 50%, incorporando un sistema de recuperación de energía mediante turbina. El pretratamiento físico incluye una dosificación de hidróxido cálcico y dióxido de carbono.

✓ Planta desaladora de agua de mar de Barcelona

La desaladora de agua de mar de Barcelona tendrá una capacidad de 200.000 m<sup>3</sup>/día. La captación de agua de mar se hará mediante tubería submarina o con tubos drenantes en la zona costera. Por su parte, la salmuera se evacuará mediante el emisario submarino de la depuradora de aguas residuales próxima a las instalaciones de desalinización. Por todo ello, la configuración del pretratamiento depende de los resultados de la planta piloto.

El proceso de ósmosis inversa incluye un sistema de recuperación por cámaras intercambiadoras de presión de gran eficiencia energética.

El postratamiento de remineralización se provee mediante lechos.

✓ Planta desaladora de Torrevieja

La instalación de Torrevieja tendrá una capacidad de producción para 240.000 m<sup>3</sup>/día, ampliable a 320.000 m<sup>3</sup>/día, lo que la convertiría en la mayor desaladora del mundo con tecnología de ósmosis inversa.

El objetivo de la instalación es producir agua desalada para el abastecimiento de población, así como para cubrir el déficit de riego de zonas regables próximas a la planta.

En su diseño se han utilizado innovaciones tecnológicas para la protección

de las membranas de ósmosis inversa (filtros sumergidos en la captación, filtración en dos etapas sobre lecho dual, etc.) y para la reducción del consumo energético, con recuperadores de energía por cámaras isobaras.

El vertido de la salmuera se diseña de forma que no suponga ningún tipo de incidencia en la flora y fauna marina.

✓ Planta desaladora de Águilas

La planta desaladora de Águilas-Guadalentín tiene por objetivo suministrar agua para el abastecimiento urbano (municipios de Lorca y Águilas) y garantizar las demandas de riego en la zona de la cuenca del río Segura.

La capacidad de producción es de 180.000 m<sup>3</sup>/día de agua de mar (>40.000 ppm) con toma abierta, que obliga al diseño de una fase de pretratamiento más compleja, con una doble etapa de filtración con adición de reactivos (abiertos y cerrados a presión), seguida de una filtración por cartuchos.

El sistema de ósmosis inversa se proyecta en doble paso, con un factor de conversión del 45% que permite asegurar, no sólo una importante reducción de la salinidad del agua (<400 ppm) sino también el cumplimiento de las exigencias impuestas de cantidad de Boro en el efluente o salida de agua. El sistema de recuperación de energía incorpora cámaras de intercambio de presión para mejorar la eficiencia energética. El postratamiento incluye lechos de calcita y dosificación de dióxido de carbono.

## 4 IMPLEMENTACIÓN

---

Mi trabajo es sobre una planta desaladora localizada en un país del medio oriente, tratándose de una gran desaladora con una capacidad de 250.000 m<sup>3</sup>/día.

La planta desaladora de Ósmosis Inversa se ha construido a los 21 meses del inicio del proyecto, cumpliendo así con el plazo comprometido por el consorcio constructor.

En este proceso intervienen distintas tecnologías asociadas a cada una de las etapas como: el pretratamiento, el proceso de ósmosis inversa para la desalación, la recuperación de energía por intercambio de presión y el postratamiento.

La infraestructura que ha tenido este proyecto se puede agrupar en:

- Obra de toma y vertido, con sus conducciones correspondientes.
- Suministros eléctricos.
- Los edificios de proceso. El edificio más importante es el edificio de ósmosis inversa.
- Conducción para la distribución del agua desalada hasta los usuarios y los depósitos de regulación.

La construcción del proyecto se divide en 4 puntos:

1. Comienzo de obras con el movimiento de tierras e inicio de la construcción de los edificios.
2. Construcción de edificios e instalación de equipos.
3. Acabado de edificios y colocación de equipos.
4. Finalización de obra.

Los edificios que más destacados podemos encontrar en este proyecto son los edificios de bombas de agua de mar, el edificio más importante como es el de ósmosis

inversa, los edificios eléctricos, transformadores, salas de control, edificio de cal y por último el edificio de reactivos.



Figura 13: Edificios de la planta de desalación.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez finalizadas las obras, se comienza con las fases de puesta en marcha. Esta fase comprenderá los ajustes antes de dar por finalizada la puesta en marcha y con ello la finalización del proyecto. El objetivo final es:

- Verificar que los distintos accesorios y equipos que concurren en cada línea de producción de agua desalada o en sistemas comunes a las líneas están montados y conectados correctamente y funcionan simultáneamente y en modo automático.
- Asegurar la operatividad del conjunto de las líneas de producción, de manera que se comprueben periódicamente los parámetros globales de producción de la planta, tanto en calidad como en cantidad de agua.

La planta ha tenido un importante reconocimiento en el mundo, ya que ha producido más de 20 millones de metros cúbicos de agua desalada desde que se completaron con éxito las pruebas requeridas por el proyecto.

Es un importante proyecto en el que he podido participar como contratista en el proceso de construcción de la planta desaladora. Se ha construido la obra en el tiempo previsto para su construcción y se ha conseguido no tener una gran penalización por retraso.

#### 4.1. División de actividades en la construcción del proyecto.

Una vez definido el proceso de una planta de Ósmosis inversa, se va a definir el proceso de construcción de dicha planta.

Para la construcción y la gestión de costes de dicho proyecto, se ha dividido en cinco bloques principales: compras, construcción, puesta en marcha, ingeniería y costes indirectos. Dentro de cada bloque, se divide en bloques según la categoría en la que se encuentre. En el siguiente cuadro se muestra las principales categorías dentro del bloque al que pertenecen.

|                           |                           |                                  |
|---------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| <b>Compras</b>            | <b>Construcción</b>       | <b>Costes indirectos</b>         |
| Civil                     | Civil                     | Gestión de proyectos             |
| Marítimo                  | Marítimo                  | Infraestructura                  |
| Mecánico                  | Mecánico                  | Contingencias                    |
| Tubería                   | Tubería                   | Seguros                          |
| Eléctrico                 | Eléctrico                 | Garantías, tarifas y otros       |
| Instrumentación y control | Instrumentación y control | Viajes                           |
| Puesta en marcha          |                           | Costes de preparación de ofertas |
|                           |                           | Consultoría y otros servicios.   |
|                           |                           | Garantía                         |
| <b>Ingeniería</b>         | <b>Puesta en marcha</b>   |                                  |
| Ingeniería                | General                   |                                  |

Tabla 3: Categorías de costes en la construcción de la planta Ósmosis Inversa.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se describen los bloques y las categorías que lo componen.

Comenzamos con el bloque de compras, encargado de recoger todos los costes que va a tener el proyecto en lo relativo a la compra de material. Es un departamento propio de la empresa encargado de lanzar una oferta a diferentes proveedores para finalmente aceptar la que mejor beneficio de al proyecto. Las compras se realizan sin ningún tipo de obligación sobre marca, tipo o especificación técnica. Este bloque esta subdividido en diferentes partidas como son:

- Compra de material en el ámbito civil. Aquí podemos recoger todas las

compras para el material en los edificios que el proyecto va a presentar. Como por ejemplo el acero que forma parte de las estructuras de dichos edificios.

- Compra de material marítimo: en estas partidas están recogidas todas las tuberías necesarias para la admisión y desagüe del agua procedente del mar.
- Compra de material mecánico: se presenta las compras relacionadas con el tema mecánico. Un gran coste en este bloque son las compras de bombas y tanques que dispondrá la desaladora.
- Compra de tubería: toda la tubería de los edificios y de las plantas están en este grupo. Además, se incluyen todas las válvulas, canalizaciones y drenajes.
- Compra de material eléctrico: los cables para todas las instalaciones se incluye en este bloque junto a generados o transformadores que el proyecto recoja en el contrato.
- Compra de instrumentación y control y puesta en marcha: son dos pequeñas partidas donde se incluyen los medidores de presiones, electroválvulas o productos químicos como son necesarios en la puesta en marcha al finalizar el proyecto.

El siguiente bloque que se describe es el bloque de construcción, donde se construirán complejos edificios y todo lo necesario para la infraestructura. Recoge las siguientes partidas:

- Construcción civil: todos los costes referidos a los edificios que nuestro proyecto incluye, están recogido en esta partida. Son los edificios eléctricos, de bombas y de máquinas.
- Construcción marítima: toda la obra marina junto con toda la excavación para la admisión de agua del mar está registrada aquí.
- Construcción mecánica: esta partida incluye todas las compuertas, todas las bombas, filtros de gravedad o el retrolavado. Es una importante partida con un coste elevado en comparación con los demás.
- Construcción de la tubería: las zanjas que tenemos que realizar para toda

la tubería del proyecto será introducida en coste aquí.

- Construcción eléctrica: la construcción para todos los transformadores y la red eléctrica está recogida en esta partida.
- Construcción para la instrumentación y control: última partida para el bloque de construcción donde queda reflejado el coste para los filtros de gravedad o el sistema de drenaje de toda la planta.

El bloque de costes indirectos es el que registra todos los costes que no han podido ser asociados de forma veraz a un producto final. Este bloque este compuesto por 9 partidas las cuales cada una recogerá el coste que esté asociado a ella. Los costes indirectos para la gestión de proyectos serán los costes del personal que trabaje para el proyecto. Incluye dietas y salarios. Los costes indirectos de infraestructura recogen también los permisos de construcción, el campamento, los costes de transportes, etc. Las partidas de contingencias y seguros son todas las relacionadas con los permisos de calidad, medioambientales, procesos de garantía y avales. Los viajes que se tengan que hacer a obra quedaran registrados en la partida de viajes. Todo el proceso que se genera a la hora de realizar la oferta con la que el contratista gana el proyecto tiene un coste y este coste indirecto es asociado a la partida de ofertas.

Por último, está el bloque de ingeniería, que podría estar incluido en el bloque anterior, y el bloque de puesta en marcha. Son pequeños bloques con un coste inferior a los demás. Se podrá registrar todos los costes relacionados con el estudio geotécnico, el levantamiento topográfico o todos los servicios para poner la puesta en marcha de la desaladora.

El estudio que se va a realizar sobre este proyecto va a constar de un presupuesto inicial y la evaluación de cuatro etapas a lo largo del proyecto hasta su finalización. Estas etapas están recogidas a lo largo del proyecto para poder evaluar en cada una de ellas los métodos de EVM anteriormente descritos.

La duración del proyecto se divide en tres partes:

- La primera parte del proyecto que dura 4 meses desde la oferta del proyecto al inicio del proyecto. Se reunirán todos los documentos y los permisos necesarios para realizar el proyecto.

- La segunda parte que es la construcción de la desaladora, que se desarrollará en 21 meses. Aquí dividiremos el proyecto en las cuatro etapas que a continuación se detallan y sobre las que se realizará el análisis.
- Por último, serán los 24 meses de garantía que presenta el proyecto para cualquier desperfecto que se ocasione.

## 4.2. Gestión de costes del proyecto.

Una vez descrito todo el proceso de realización de una desaladora y cómo va a estar dividido por bloques para el control de costes, se va a dar comienzo a la presentación de los costes obtenidos para dichas etapas presentadas.

Para la gestión de costes se va a emplear las siguientes nomenclaturas, las cuales nos darán los datos suficientes para la descripción en la variación de los costes.

|                            |                                              |
|----------------------------|----------------------------------------------|
| • Final Cost               | Valor final para ese trabajo.                |
| • Awarded Expected         | Coste Estimado al Finalizar.                 |
| • Planned Cost PV          | Coste Presupuestado del Trabajo Planificado. |
| • Cost to origin AC        | Coste Real del Trabajo Realizado.            |
| • Earn value EV            | Coste Presupuestado del Trabajo Realizado.   |
| • Cost Deviation EV-AC     | Si va ahorrando o no el proyecto.            |
| • Planning Deviation EV-PV | Si va adelantado o atrasado el proyecto.     |

### 4.2.1 Presupuesto inicial

El proyecto comienza con el importe de la oferta que nuestra empresa consiguió para realizar la planta. Este coste es de 232.273.885,73 USD. Además, el presupuesto inicial para la construcción de la desaladora que esperamos alcanzar es de 230.439.522,87 USD con lo que podremos conseguir un beneficio adicional.

Este presupuesto está dividido por las diferentes categorías para cada bloque y que se muestran a continuación.



|                                  |                       |
|----------------------------------|-----------------------|
| <b>Compras</b>                   | <b>91.040.906,81</b>  |
| Civil                            | 2.741.023,41          |
| Marítimo                         | 1.386.677,17          |
| Mecánico                         | 47.048.992,62         |
| Tubería                          | 20.682.830,52         |
| Eléctrico                        | 15.025.054,16         |
| Instrumentacion y control        | 3.578.729,10          |
| Puesta en marcha                 | 577.599,83            |
| <b>Construcción</b>              | <b>49.242.677,30</b>  |
| Civil                            | 23.371.996,51         |
| Marítimo                         | 9.814.738,86          |
| Mecánico                         | 2.771.545,96          |
| Tubería                          | 7.607.739,94          |
| Eléctrico                        | 3.200.779,04          |
| Instrumentacion y control        | 2.475.876,99          |
| <b>Puesta en marcha</b>          | <b>1.403.356,00</b>   |
| General                          | 1.403.356,00          |
| <b>Ingeniería</b>                | <b>4.348.872,02</b>   |
| Ingeniería                       | 4.348.872,02          |
| <b>Costes indirectos</b>         | <b>69.215.397,51</b>  |
| Gestión de proyectos             | 12.057.955,00         |
| Infraestructura                  | 6.334.209,48          |
| Contingencias                    | 37.257.853,55         |
| Seguros                          | 573.227,34            |
| Garantías, tarifas y otros       | 8.789.749,16          |
| Viajes                           | 1.115.850,12          |
| Costes de preparación de ofertas | 2.878.871,21          |
| Consultoría y otros servicios.   | 135.000,00            |
| Garantía                         | 72.681,65             |
| <b>Total Cost</b>                | <b>232.273.885,73</b> |

Tabla 4: Coste inicial estimado para la construcción de la planta Ósmosis Inversa.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla anterior, cada bloque tiene un coste asociado y a lo largo del análisis en las etapas siguientes se irán describiendo sus variaciones. Al final de los bloques principales se han incluido dos más. Uno es el riesgo que se da a la obra por toda dicha construcción y otro bloque que es por los cambios de monedas. Este proyecto utiliza diferentes monedas, como pueden ser el euro, dólar o dirham.

#### 4.2.2 Programación de la planificación para las actividades.

Las etapas van a ser:

- Una etapa inicial, en la que se organiza toda la documentación y se establece el campamento en obra para los obreros.
- Otra etapa a los 7 meses del inicio del proyecto, que se hace el primer seguimiento. Esta etapa es fijada a los 7 meses donde las grandes compras de material han sido adjudicadas al proveedor. Además, la construcción ya debe de presentar grandes avances con todos sus edificios.
- Una siguiente etapa a los 14 meses del proyecto es cuando la finalización de la construcción se debe de dar, quedado por realizar pequeños trabajos de construcción. Comienzan los primeros test y pruebas de puesta en marcha de la desaladora.
- Última etapa de finalización de los trabajos. Revisión del cliente y puesta en marcha es lo registrado en esta etapa final.

La planificación del proyecto se realiza al comienzo del proyecto, donde cada actividad será distribuida en el tiempo. Estas actividades irán moviéndose a lo largo del proyecto según haya un retraso o un adelanto en la construcción. La planificación global se realiza al principio del proyecto y debe de ser la base a seguir para que la desaladora acabe en el periodo estimado.

Cada actividad tendrá una predecesora y tendrá que estar finalizada para que la siguiente pueda comenzar. A su vez podremos observar en la figura como existe la posibilidad que dos actividades compartan el mismo espacio del tiempo, ya que se podrán realizar a la vez.

Al comienzo del proyecto las actividades que más prioridad tienen son toda la documentación y planos para comenzar la obra. Estos planos serán utilizados para sacar el alcance de material necesario y que desde el departamento de compra deberán comenzar a conseguir para que el material este en obra lo antes posible. A su vez, mientras las actividades de compra se van realizando, con prioridad para la compra de maquinaria necesaria, comenzarán con los movimientos de tierra del proyecto y la obra civil de los edificios.

Muchas actividades irán implementadas a la vez, ya que teniendo el material y la mano de obra, podremos tener a la misma vez la actividad de los edificios y la actividad de obra marina funcionando a la par.

Todo lo que sigue el proyecto irá registrado en la planificación donde está registrado el paso de cada actividad a realizar y la prioridad que tienen para acabar el proyecto a tiempo.

Las actividades pueden verse modificadas en el tiempo según podamos llegar a tener un retraso o adelanto en alguna actividad.

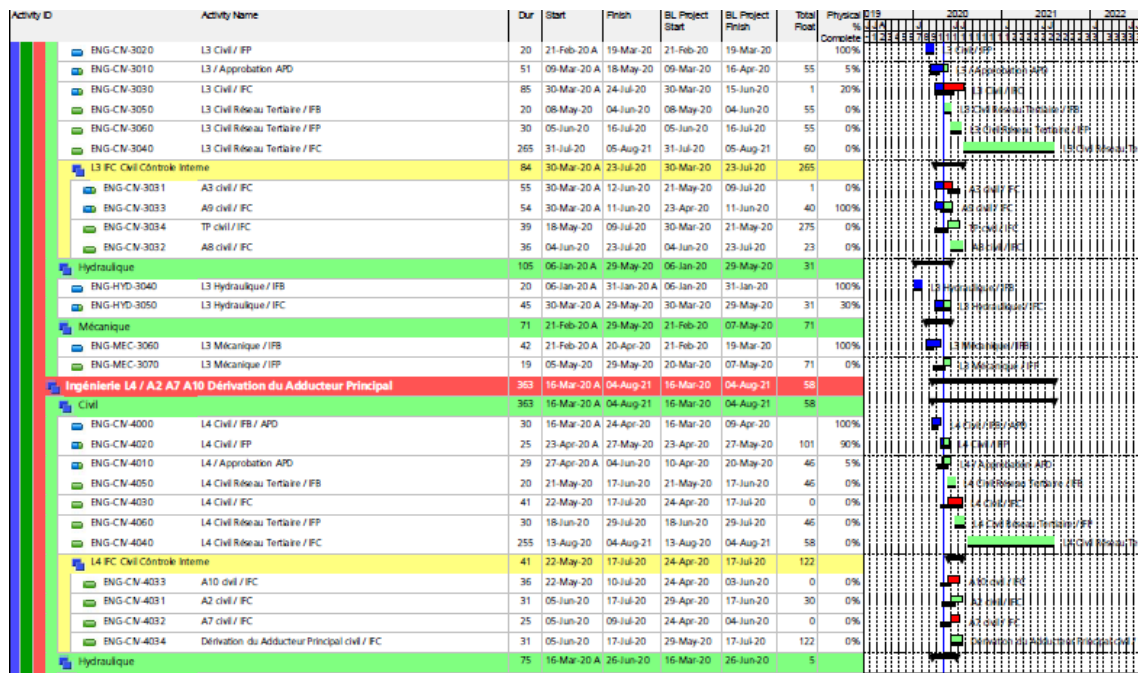


Figura 14: Planificación del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior podemos ver cómo se detalla cada actividad que se va a realizar en el proyecto y la duración. Con esto podemos analizar en el proyecto si el retraso de algún trabajo implica que otros no puedan realizarse. El proyecto tiene una línea base y que debe ser cumplida para poder llegar al objetivo del proyecto. Una gran desviación en la línea base hará perder mucho coste al proyecto debido al gran retraso.

### 4.2.3 Etapa 1. Inicio del proyecto.

En esta etapa el proyecto ya ha comenzado y se pueden observar las primeras variaciones en los costes. Para esta etapa se tiene que realizar toda la documentación y gran parte de las compras para el proyecto. Estas compras de material serán las que se emplearán durante el proyecto. Comenzarán los movimientos de tierra para los edificios y a su vez empezarán la obra marina para la admisión del agua.

A continuación, se muestran los valores que vamos a describir y una tabla resumen que iremos empleando en cada etapa para ver los costes en cada punto.

|                                  | Coste Final           | Coste Adjudicado     | Presupuesto Asignado PV | Coste Real AC       | Presupuesto Trabajo Realizado EV | Desviación Coste EV-AC | Desviación Planificación EV-PV |
|----------------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| <b>Compras</b>                   | <b>97.994.069,73</b>  | <b>12.081.241,86</b> | <b>1.613.846,36</b>     | <b>0,00</b>         | <b>0,00</b>                      | <b>0,00</b>            | <b>-1.613.846,36</b>           |
| Civil                            | 2.741.023,74          |                      | 0,00                    | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| Marítimo                         | 1.843.677,17          |                      | 0,00                    | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| Mecánico                         | 51.224.812,61         | 10.607.854,54        | 912.534,02              | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | -912.534,02                    |
| Tubería                          | 21.694.037,10         | 1.371.266,54         | 538.206,00              | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | -538.206,00                    |
| Eléctrico                        | 16.219.180,68         | 102.120,78           | 163.106,34              | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | -163.106,34                    |
| Instrumentación y control        | 3.693.738,60          |                      | 0,00                    | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| Puesta en marcha                 | 577.599,83            |                      | 0,00                    | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| <b>Construcción</b>              | <b>57.523.113,75</b>  | <b>2.511.219,00</b>  | <b>1.414.170,00</b>     | <b>193.511,27</b>   | <b>803.958,66</b>                | <b>610.447,40</b>      | <b>-610.211,34</b>             |
| Civil                            | 28.286.825,55         | 2.511.219,00         | 1.414.170,00            | 193.511,27          | 803.958,66                       | 610.447,40             | -610.211,34                    |
| Marítimo                         | 13.180.346,29         |                      | 0,00                    | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| Mecánico                         | 2.771.545,96          |                      | 0,00                    | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| Tubería                          | 7.607.739,91          |                      | 0,00                    | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| Eléctrico                        | 3.200.779,04          |                      | 0,00                    | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| Instrumentación y control        | 2.475.876,99          |                      | 0,00                    | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| <b>Puesta en marcha</b>          | <b>1.403.356,00</b>   |                      |                         |                     |                                  |                        |                                |
| General                          | 1.403.356,00          |                      | 0,00                    | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| <b>Ingeniería</b>                | <b>4.396.812,88</b>   | <b>3.789.685,29</b>  | <b>2.034.221,07</b>     | <b>576.295,88</b>   | <b>576.295,88</b>                | <b>0,00</b>            | <b>-1.457.925,19</b>           |
| Ingeniería                       | 4.396.812,88          | 3.789.685,29         | 2.034.221,07            | 576.295,88          | 576.295,88                       | 0,00                   | -1.457.925,19                  |
| <b>Costes indirectos</b>         | <b>70.615.483,01</b>  | <b>4.347.096,00</b>  | <b>2.213.263,23</b>     | <b>830.588,56</b>   | <b>830.588,56</b>                | <b>0,00</b>            | <b>-1.382.674,66</b>           |
| Gestión de proyectos             | 12.057.954,96         |                      | 1.328.818,12            | 809.749,94          | 809.749,94                       | 0,00                   | -519.068,17                    |
| Infraestructura                  | 7.585.671,17          | 4.198.472,00         | 309.076,07              | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | -309.076,07                    |
| Contingencias                    | 37.257.853,55         |                      | 0,00                    | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| Seguros                          | 573.227,34            |                      | 286.613,67              | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | -286.613,67                    |
| Garantías, tarifas y otros       | 8.789.749,16          |                      | 201.000,00              | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | -201.000,00                    |
| Viajes                           | 1.115.850,12          |                      | 87.755,37               | 14.754,78           | 14.754,78                        | 0,00                   | -73.000,59                     |
| Costes de preparación de ofertas | 2.878.871,21          |                      | 0,00                    | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| Consultoría y otros servicios.   | 283.623,84            | 148.624,00           | 0,00                    | 6.083,84            | 6.083,84                         | 0,00                   | 6.083,84                       |
| Garantía                         | 72.681,65             |                      | 0,00                    | 0,00                | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| <b>Coste Total</b>               | <b>231.932.835,37</b> | <b>22.729.242,15</b> | <b>7.275.500,66</b>     | <b>1.600.395,71</b> | <b>2.210.843,11</b>              | <b>610.447,40</b>      | <b>-5.064.657,55</b>           |

Tabla 5: Etapa 1. Inicio del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Los grandes cambios se pueden observar en los bloques donde el presupuesto es

mayor como es en Compras y en Construcción. Estos dos bloques son los más importantes del proyecto y donde se van a dar las diferencias al principio del proyecto.

En el bloque de Compras hay una desviación con el presupuesto inicial de 6 millones. Esa desviación del coste se puede observar en la variación del coste final del proyecto respecto del presupuesto inicial antes descrito en la Tabla 4. Esta desviación se debe a que el presupuesto ofertado previsto ha aumentado. La causa de este crecimiento es porque desde que se realizó el presupuesto hasta la hora de contratación del material el precio ha sufrido un cambio, debido al cambio de moneda. Otro gran efecto sobre el presupuesto es el aumento de material que no teníamos presupuestado.

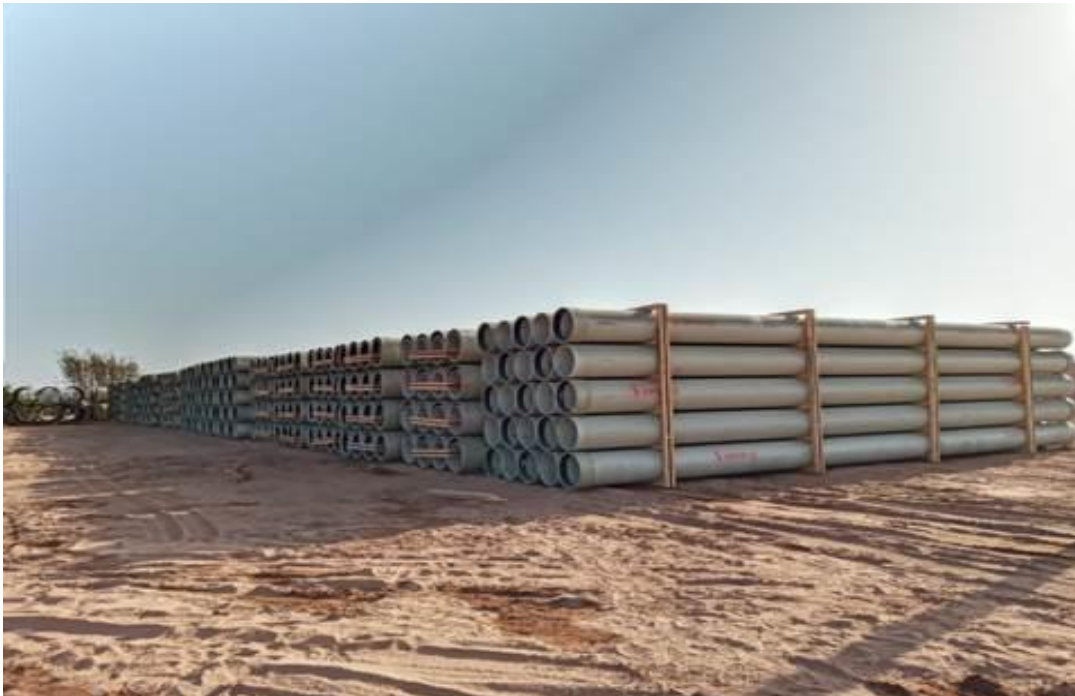


Figura 15: Envío de tuberías y piezas especiales.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede ver como la gran parte de cantidad adjudicada a proveedores es sobre las compras. La cantidad adjudicada en los bloques se entiende como los contratos que firmamos con los proveedores para la contratación del material. La cantidad del contrato se adjudica a cada partida.

Otro punto que podemos observar es que la primera parte en adjudicarse para las construcciones es la parte civil. Esto se debe a las movilizaciones y las excavaciones del terreno para poder empezar a edificar. Se muestra a continuación una imagen de

las excavaciones del proyecto.



Figura 16: Trabajos de excavación.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, en los costes indirectos se empieza a adjudicar la infraestructura del proyecto. Esta adjudicación es por la incorporación del material para realizar los trabajos en dicho lugar de trabajo. Se tiene que montar el campamento donde el personal realizará el trabajo, se tendrá que incorporar todo lo relacionado con las comunicaciones.

Respecto de coste real y el presupuesto del trabajo realizado aún no tenemos grandes valores ya que el proyecto acaba de comenzar y no se registra los valores.

Si podemos ver como la desviación de la planificación nos da unos valores que realmente no son buenos para el proyecto ya que dicho valor nos dice que el proyecto según la planificación marcada va con retraso. Este se debe a que los contratos con los proveedores tardan aún en certificarse y que el material no llega a obra en la fecha inicialmente prevista.

Una vez visto las desviaciones que se han producido en la primera etapa del proyecto y viendo que el proyecto comienza con un gran retraso en la mayoría de los bloques, el director del Proyecto toma la decisión de emplear más personal para poder

cumplir con lo planificado.

La primera medida que toma es la contratación de más personal para agilizar la contratación del material. Si en obra no tienen el material necesario a la hora de utilizarlo va a suponer un retraso en todas las demás actividades. Otro punto desfavorable es la adjudicación de los contratos que no se realizan correctamente.

En este punto del proyecto aún el departamento de planificación no debe cambiar su planificación sino ajustarla al tiempo real de la llegada del material, ya que es el punto que el proyecto debe mejorar en estos instantes.

#### 4.2.4 Etapa 2. Evolución del proyecto a los 7 meses.

Esta etapa se sitúa a los 7 meses de la etapa anterior, podremos ver una evolución real del proyecto y como se analiza la situación en la que se encuentra el proyecto.

|                                  | Coste Final           | Coste Adjudicado      | Presupuesto Asignado PV | Coste Real AC        | Presupuesto Trabajo Realizado EV | Desviación Coste EV-AC | Desviación Planificación EV-PV |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| <b>Compras</b>                   | <b>93.097.319,11</b>  | <b>78.281.188,85</b>  | <b>46.256.645,66</b>    | <b>36.646.858,81</b> | <b>39.132.799,92</b>             | <b>2.485.941,11</b>    | <b>-7.123.845,74</b>           |
| Civil                            | 2.423.703,88          | 1.910.995,00          | 2.583.127,20            | 1.777.797,97         | 1.974.991,71                     | 197.193,74             | -608.135,49                    |
| Marítimo                         | 1.624.770,00          | 1.624.770,00          | 1.386.677,20            | 731.146,50           | 620.077,50                       | -111.069,00            | -766.599,70                    |
| Mecánico                         | 52.048.585,00         | 47.416.646,73         | 22.501.736,85           | 19.323.487,11        | 19.815.641,26                    | 492.154,15             | -2.686.095,59                  |
| Tubería                          | 18.359.333,40         | 14.846.613,48         | 10.780.592,29           | 6.425.189,15         | 8.196.170,16                     | 1.770.981,01           | -2.584.422,13                  |
| Eléctrico                        | 14.426.132,40         | 10.416.130,81         | 7.570.290,70            | 7.227.341,95         | 7.220.649,43                     | -6.692,51              | -349.641,27                    |
| Instrumentación y control        | 3.654.283,32          | 2.066.032,83          | 1.434.221,42            | 1.161.896,13         | 1.305.269,85                     | 143.373,72             | -128.951,57                    |
| Puesta en marcha                 | 560.511,11            | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                 | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| <b>Construcción</b>              | <b>55.193.570,76</b>  | <b>40.072.422,59</b>  | <b>25.588.180,59</b>    | <b>9.461.777,77</b>  | <b>7.620.805,10</b>              | <b>-1.840.972,67</b>   | <b>-17.967.375,49</b>          |
| Civil                            | 29.894.622,51         | 23.694.583,85         | 16.447.773,94           | 8.044.854,82         | 6.075.720,73                     | -1.969.134,09          | -10.372.053,20                 |
| Marítimo                         | 10.783.386,00         | 10.783.386,00         | 8.389.621,04            | 1.081.228,65         | 1.254.624,01                     | 173.395,36             | -7.134.997,03                  |
| Mecánico                         | 3.417.050,43          | 1.640.377,47          | 148,11                  | 0,00                 | 0,00                             | 0,00                   | -148,11                        |
| Tubería                          | 6.175.586,29          | 3.614.075,28          | 546.570,93              | 335.694,30           | 290.460,35                       | -45.233,94             | -256.110,58                    |
| Eléctrico                        | 3.009.343,26          | 0,00                  | 204.066,57              | 0,00                 | 0,00                             | 0,00                   | -204.066,57                    |
| Instrumentación y control        | 1.913.582,27          | 340.000,00            | 0,00                    | 0,00                 | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| <b>Puesta en marcha</b>          | <b>1.426.367,67</b>   | <b>228.125,00</b>     | <b>-</b>                | <b>-</b>             | <b>-</b>                         | <b>-</b>               | <b>-</b>                       |
| General                          | 1.426.367,67          | 228.125,00            | 0,00                    | 0,00                 | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| <b>Ingeniería</b>                | <b>4.761.784,21</b>   | <b>4.440.935,57</b>   | <b>3.985.596,56</b>     | <b>3.021.541,45</b>  | <b>3.021.541,45</b>              | <b>0,00</b>            | <b>-964.055,11</b>             |
| Ingeniería                       | 4.761.784,21          | 4.440.935,57          | 3.985.596,56            | 3.021.541,45         | 3.021.541,45                     | 0,00                   | -964.055,11                    |
| <b>Costes indirectos</b>         | <b>75.718.899,94</b>  | <b>56.305.132,30</b>  | <b>38.597.433,21</b>    | <b>37.179.841,80</b> | <b>33.978.151,34</b>             | <b>-3.201.690,47</b>   | <b>-4.619.281,87</b>           |
| Gestión de proyectos             | 13.867.358,86         | 12.707.188,06         | 4.670.382,84            | 4.884.004,37         | 3.556.561,03                     | -1.327.443,34          | -1.113.821,81                  |
| Infraestructura                  | 8.917.730,78          | 5.850.332,89          | 4.242.313,88            | 3.295.007,50         | 2.189.652,32                     | -1.105.355,18          | -2.052.661,56                  |
| Contingencias                    | 36.984.534,55         | 23.726.681,00         | 21.600.000,00           | 18.873.653,00        | 19.127.884,67                    | 254.231,67             | -2.472.115,33                  |
| Seguros                          | 573.227,34            | 0,00                  | 286.613,67              | 0,00                 | 0,00                             | 0,00                   | -286.613,67                    |
| Garantías, tarifas y otros       | 10.998.627,87         | 10.970.241,52         | 4.388.813,44            | 6.791.308,76         | 5.869.149,26                     | -922.159,50            | 1.480.335,81                   |
| Viajes                           | 1.108.866,93          | 0,00                  | 336.814,32              | 285.179,34           | 286.975,28                       | 1.795,94               | -49.839,04                     |
| Costes de preparación de ofertas | 2.878.871,21          | 2.878.871,21          | 2.878.871,21            | 2.878.871,21         | 2.878.871,21                     | 0,00                   | 0,00                           |
| Consultoría y otros servicios.   | 317.000,76            | 171.817,62            | 193.623,84              | 171.817,62           | 69.057,57                        | -102.760,06            | -124.566,27                    |
| Garantía                         | 72.681,65             | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                 | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| <b>Coste Total</b>               | <b>230.197.941,70</b> | <b>179.327.804,31</b> | <b>114.427.856,02</b>   | <b>86.310.019,83</b> | <b>83.753.297,80</b>             | <b>-2.556.722,03</b>   | <b>-30.674.558,21</b>          |

Tabla 6: Etapa 2. Evolución del proyecto a los 7 meses.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez el proyecto ya ha comenzado y ha iniciado sus trabajos se puede observar como empieza a coger forma y como los contratos se empiezan a parecer más a la realidad.

Los problemas de la etapa anterior han sido corregidos y se puede observar como el coste adjudicado de cada bloque ha aumentado, teniendo recogido más del 60% de los contratos con los proveedores.

Se va a comentar cada grupo de coste para dar una valoración de ellos.

En Compras podemos observar como el presupuesto que ahora se prevé como coste final ha disminuido respecto a la etapa anterior. Eso se debe a que gran parte de los contratos para la compra de material se han resuelto y se van afianzando en la oferta que se propuso al principio del proyecto. Debido a la situación de la empresa los contratos habían tenido un aumento del coste previsto.

El punto más importante que se puede observar en el bloque de compras es que el retraso aún sigue a pesar de las medidas que se impusieron. Hay un aumento del trabajo realizado en comparación con el planificado, pero sigue habiendo un importante retraso. Este punto se irá corrigiendo a lo largo del proyecto con el personal contratado. Aun así, este bloque presenta un ahorro de 2 millones, ya que el presupuesto para estas partidas era mayor que el coste real que ha supuesto el material.

Para el bloque de Construcción podemos ver que el dato más significativo es que llevamos en coste de más de 17 millones de dólares de atraso. ¿A qué se debe este incremento? El bloque de Construcción juega un papel muy importante para el proyecto, es donde más beneficio se puede obtener para el proyecto, pero es el más difícil de poder controlar.

Para poder llevar la planificación al día, se tienen que cumplir muchos factores como que las compras y el material para realizar dichos trabajos estén en la fecha prevista en el lugar de trabajo. Aquí es donde más discrepancias se ven, el atraso que se puede analizar no es tanto por las obras sino por dichos factores que se han comen-



tado. Los trabajos de construcción civil y marítima presentan la mayor parte del retraso. Estos trabajos no están cumpliendo con la planificación y va a suponer un punto a comentar por el director del Proyecto.

Otro gran factor para valorar dicho retraso es el transporte del material a obra. Cada país tiene sus propias certificaciones para poder introducir materiales o poder transportar dicho material. Hay problemas para conseguir dichas certificaciones y esto se ve reflejado en que el material o maquinaria no llega en la fecha que estaba planificada.



Figura 17: Transporte de material a obra.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente podemos apreciar que este bloque si presenta pérdidas, ya que el coste real de la construcción es mayor que el presupuestado para realizar esos trabajos. Los edificios están presentando un coste más elevado al tener complicaciones a la hora de construir. Un ejemplo de ello son los problemas causados por las cimentaciones de los edificios donde estaba previsto un terreno de un material que no era así en la realidad. Se han tenido que hacer más excavaciones y emplear diferentes materiales para poder obtener el resultado final. Todo esto hace que el coste real del edificio aumente al no estar previsto en el presupuesto.

Los últimos bloques los vamos a englobar y comentar esta vez juntos, ya que podemos agruparlos. Estos bloques son los de Ingeniería y los Costes Indirectos. Estos bloques han aumentados el coste final, ya que se han ido registrando nuevos certificados. Para toda esta documentación se empleó más personal y todos esos salarios y costes se han ido registrando. En estos bloques es común que aumente ya que son el coste más difícil de prever. Gran parte de estos bloques es el personal contratado y esto cada mes puede variar. Como se puede apreciar en estos apartados no se está ahorrando, sino que se está gastando una gran cantidad. Esto se debe principalmente a la infraestructura y a los salarios. Antes ya hemos comentado que los salarios es algo que se va a modificar cada mes respecto a lo planificado ya que no se puede prever si vas a necesitar más o menos personal en cada momento. Respecto a la infraestructura es algo que va de la mano a los salarios. En este punto están recogidos los alquileres de casa, de coches, de telefonía y por tanto algo que va a disminuir o aumentar cada mes.

En la foto siguiente podemos ver como este mes, un perito externo ha tenido que ser contratado para la valoración de un trabajo al pedirlo un proveedor para la finalización de su contrato. Este coste entra a formar parte y se carga en este grupo de coste indirecto y es algo que no puede ser presupuestado.



Figura 18: Perito arquitecto en revisión de trabajos en obra.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez evaluado la etapa y cómo evoluciona el proyecto según costes, se realiza el estudio de cómo el proyecto va a evolucionar en el futuro. Para ello se van a tomar las siguientes medidas:

- Aumento del personal en la construcción. Hay un gran retraso en los trabajos y sin este personal el proyecto no se va a entregar en los plazos establecidos.
- Seguir con las medidas establecidas para la compra de material y transporte a obra. Estas medidas han dado buenos resultados y deben seguir estando.
- Control más exacto de los costes en la construcción. Hay gran pérdida en los costes en este bloque y si queremos aumentar los beneficios debemos conseguir hacer el trabajo en el presupuesto acordado en el contrato.
- Aceleración en las compras de material.

#### **4.2.5 Etapa 3. Evolución del proyecto a los 14 meses.**

En la tercera etapa más avanzado el proyecto, este se encuentra ejecutado más que la mitad del proyecto avanzado y empiezan a terminar los grandes contratos y los principales edificios.

|                                  | Coste Final           | Coste Adjudicado      | Presupuesto Asignado PV | Coste Real AC         | Presupuesto Trabajo Realizado EV | Desviación Coste EV-AC | Desviación Planificación EV-PV |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| <b>Compras</b>                   | <b>98.061.334,42</b>  | <b>94.110.185,94</b>  | <b>86.952.756,75</b>    | <b>92.378.506,57</b>  | <b>84.183.929,26</b>             | <b>-8.194.577,31</b>   | <b>-2.768.827,48</b>           |
| Civil                            | 3.411.027,33          | 3.410.927,33          | 2.741.023,80            | 2.854.342,09          | 2.530.149,19                     | -324.192,91            | -210.874,61                    |
| Marítimo                         | 1.624.770,00          | 1.624.770,00          | 1.386.677,20            | 1.624.770,00          | 1.377.950,00                     | -246.820,00            | -8.727,20                      |
| Mecánico                         | 52.192.587,36         | 51.332.071,12         | 44.702.614,81           | 50.997.117,66         | 44.339.881,67                    | -6.657.235,99          | -362.733,14                    |
| Tubería                          | 18.389.916,43         | 17.527.879,78         | 19.963.669,92           | 17.709.246,86         | 18.932.706,56                    | 1.223.459,70           | -1.030.963,36                  |
| Eléctrico                        | 15.543.696,06         | 14.649.989,84         | 14.071.507,01           | 14.771.653,64         | 13.965.272,76                    | -806.380,88            | -106.234,25                    |
| Instrumentación y control        | 6.128.245,97          | 5.547.547,86          | 3.560.330,91            | 4.408.626,33          | 3.012.402,55                     | -1.396.223,78          | -547.928,36                    |
| Puesta en marcha                 | 771.091,26            | 17.000,00             | 526.933,10              | 12.750,00             | 25.566,54                        | 12.816,54              | -501.366,56                    |
| <b>Construcción</b>              | <b>67.559.706,33</b>  | <b>65.865.579,95</b>  | <b>48.905.794,33</b>    | <b>49.849.219,92</b>  | <b>36.068.686,69</b>             | <b>-13.780.533,22</b>  | <b>-12.837.107,63</b>          |
| Civil                            | 39.496.603,99         | 39.725.495,35         | 22.778.061,95           | 30.451.840,55         | 17.616.063,22                    | -12.835.777,33         | -5.161.998,73                  |
| Marítimo                         | 10.832.186,00         | 10.832.186,00         | 10.503.237,56           | 10.335.769,33         | 9.722.363,61                     | -613.405,72            | -780.873,95                    |
| Mecánico                         | 4.507.739,25          | 4.514.198,41          | 2.835.497,23            | 2.323.520,26          | 1.213.759,20                     | -1.109.761,06          | -1.621.738,03                  |
| Tubería                          | 7.440.277,59          | 5.795.045,60          | 7.436.704,00            | 4.240.297,88          | 4.554.444,42                     | 314.146,54             | -2.882.259,58                  |
| Eléctrico                        | 3.294.075,33          | 3.291.148,43          | 3.045.422,94            | 1.875.110,57          | 2.103.182,66                     | 228.072,10             | -942.240,28                    |
| Instrumentación y control        | 1.988.824,16          | 1.707.506,16          | 2.306.870,64            | 622.681,34            | 858.873,58                       | 236.192,24             | -1.447.997,06                  |
| <b>Puesta en marcha</b>          | <b>1.669.775,77</b>   | <b>294.524,47</b>     | <b>1.099.017,46</b>     | <b>0,00</b>           | <b>0,00</b>                      | <b>0,00</b>            | <b>-1.099.017,46</b>           |
| General                          | 1.669.775,77          | 294.524,47            | 1.099.017,46            | 0,00                  | 0,00                             | 0,00                   | -1.099.017,46                  |
| <b>Ingeniería</b>                | <b>4.921.713,60</b>   | <b>4.904.551,50</b>   | <b>4.309.252,01</b>     | <b>4.214.699,04</b>   | <b>4.214.699,04</b>              | <b>0,00</b>            | <b>-94.552,97</b>              |
| Ingeniería                       | 4.921.713,60          | 4.904.551,50          | 4.309.252,01            | 4.214.699,04          | 4.214.699,04                     | 0,00                   | -94.552,97                     |
| <b>Costes indirectos</b>         | <b>69.843.388,50</b>  | <b>64.671.860,66</b>  | <b>48.073.981,17</b>    | <b>56.843.978,81</b>  | <b>59.991.763,06</b>             | <b>3.147.784,25</b>    | <b>11.917.781,89</b>           |
| Gestión de proyectos             | 16.515.510,69         | 14.482.403,36         | 8.886.696,61            | 10.153.499,67         | 7.543.350,88                     | -2.610.148,80          | -1.343.345,73                  |
| Infraestructura                  | 9.860.042,70          | 9.823.344,00          | 4.500.422,67            | 8.275.393,87          | 5.096.173,81                     | -3.179.220,06          | 595.751,14                     |
| Contingencias                    | 25.003.350,52         | 24.876.681,00         | 24.000.000,00           | 24.376.681,00         | 36.065.662,47                    | 11.688.981,47          | 12.065.662,47                  |
| Seguros                          | 0,00                  | 0,00                  | 573.227,34              | 0,00                  | 0,00                             | 0,00                   | -573.227,34                    |
| Garantías, tarifas y otros       | 11.212.330,10         | 10.970.241,52         | 6.364.431,12            | 10.043.828,79         | 8.036.898,25                     | -2.006.930,54          | 1.672.467,14                   |
| Viajes                           | 1.109.538,39          | 1.108.866,93          | 735.332,22              | 531.987,75            | 291.527,00                       | -240.460,75            | -443.805,22                    |
| Costes de preparación de ofertas | 2.878.871,21          | 2.878.871,21          | 2.878.871,21            | 2.878.871,21          | 2.878.871,21                     | 0,00                   | 0,00                           |
| Consultoría y otros servicios    | 950.405,85            | 531.452,64            | 135.000,00              | 583.716,52            | 79.279,45                        | -504.437,07            | -55.720,55                     |
| Garantía                         | 2.313.339,04          | 0,00                  | 0,00                    | 0,00                  | 0,00                             | 0,00                   | 0,00                           |
| <b>Coste Total</b>               | <b>242.055.918,61</b> | <b>229.846.702,52</b> | <b>189.340.801,71</b>   | <b>203.286.404,34</b> | <b>184.459.078,06</b>            | <b>-18.827.326,28</b>  | <b>-4.881.723,65</b>           |

Tabla 7: Etapa 3. Evolución del proyecto a los 14 meses.

Fuente: Elaboración propia.

Esta es la etapa en la que se tiene que ver si el proyecto empieza a ser algo rentable o si finalmente no se hizo una buena estimación cuando se lanzó su oferta. El proyecto se consigue ganar si se cumple el objetivo de que antes de su finalización, sea posible a dotar de agua potable. Esta es la etapa donde los edificios principales están finalizados y se empieza a hacer las primeras pruebas de agua para ver su funcionamiento y el rendimiento que puede llegar a dar. A su vez, el proyecto con ya un avance notable empieza a recibir las primeras negociaciones con los proveedores.

Esta vez voy a empezar por el bloque de Construcción ya que se considera el más importante en este punto del proyecto y donde más diferencia con la otra etapa anterior podemos ver. El aumento considerable del bloque de construcción se debe a que todos los edificios están finalizados y con esto se puede ver como toda la cantidad de los contratos están adjudicados a proveedores y que no se estima un aumento muy grande para los trabajos que quedan pendientes. Podemos ver como llevamos unas pérdidas de 12 millones de dólares y que el ahorro en este punto lo llevamos muy por debajo de lo estimado.

Las medidas impuestas en la etapa anterior no han tenido el comportamiento esperado, aunque se ha conseguido que los edificios avancen en su mayoría. El retraso en la planificación es algo que va arrastrado desde la primera etapa y con la que el proyecto necesita seguir tomando medidas. Estas medidas hacen que el coste aumente y por tanto haya más pérdidas.



Figura 19: Tanque dosificador de almacenamiento y pretratamiento de productos químicos.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto al bloque de Compras, se puede ver cómo sigue aumentando las compras para realizar los trabajos pendientes y como hemos llegado a alcanzar y superar el presupuesto que tuvimos en la etapa 1. Este cambio se ve repercutido por los trabajos que se hacen y por los cuales el proyecto se dota de más material. Es un bloque que en cada etapa va a seguir creciendo ya que se va a necesitar materiales hasta que el proyecto se haya finalizado. Aquí si podemos ver que el presupuesto asignado al trabajo realizado es mucho mayor que en el bloque de Construcción y como se ajusta mucho más al adjudicado. El coste asignado nos da una idea de que todo ese presupuesto se ha registrado y que la desviación es mucho menor en este bloque.



Figura 20: Entrada del material para suministrar los trabajos.

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar los bloques tanto ingeniería como los costes indirectos los agrupamos ya que van de la mano en todo el proyecto. Respecto a la ingeniería se puede observar como todos los contratos han sido adjudicados en esta etapa. Se han realizado los trabajos en su coste, no presentando ni pérdida ni ganancias. Aun así, tenemos un leve retraso en la planificación, no teniendo importancia con respecto a los demás bloques. En cambio, respecto a los costes indirectos son, al contrario, el coste presupuestado es mayor que es coste real realizado, por tanto, tenemos un ahorro. Además, se puede ver como si vamos adelantados a la planificación que teníamos en el proyecto. Es un gran punto ya que podemos ver como en esta etapa para este bloque presentado un ahorro y un adelanto en los trabajos realizados.

Hasta ahora no hemos comentado nada del bloque de puesta en marcha. Es un bloque que ha ido adjudicando los contratos, pero hasta que la construcción no finaliza no se puede empezar a realizar las pruebas o test. Como se puede ver, este presupuesto se ve en aumento ya que los nuevos proveedores quieren nuevos controles antes de realizar las pruebas y las certificaciones de contrato, entonces acaban teniendo que contratar más test de puesta en servicio. En este bloque se incluye todas las puestas en marcha, todas las pruebas eléctricas, las pruebas de agua y cualquier inicio que se tenga

en los edificios. A su vez, una parte importante de este punto es las pruebas de rendimiento, donde determinará el beneficio que se obtendrá a la obra al finalizarla.

La valoración final de esta etapa sigue siendo que los bloques presentan un retraso importante antes de la finalización del plazo de construcción. Este es un factor grave que tiene la empresa ya que la penalización es elevada por cada semana de retraso. La medida más importante que se toma es el aumento del personal en obra para la finalización de toda la construcción.

#### 4.2.6 Etapa 4. Finalización del proyecto.

En la cuarta y última etapa del proyecto nos encontramos que ya han transcurrido 21 meses desde el inicio de la construcción del proyecto y donde podemos recoger el balance final. Antes de exponer los valores finales de esta etapa hay que recalcar que el proyecto aún finalizado su construcción tiene por delante dos años más de garantía firmados. Por tanto, el coste del proyecto aún no está cerrado por completo. Se comentarán los resultados hasta la fecha y como estos costes pueden aumentar en un futuro.

|                                  | Coste Final           | Coste Adjudicado      | Presupuesto Asignado PV | Coste Real AC         | Presupuesto Trabajo Realizado EV | Desviación Coste EV-AC | Desviación Planificación EV-PV |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| <b>Compras</b>                   | <b>99.357.348,31</b>  | <b>98.975.545,13</b>  | <b>86.952.756,75</b>    | <b>98.963.103,94</b>  | <b>87.864.728,30</b>             | <b>-11.098.375,64</b>  | <b>911.971,56</b>              |
| Civil                            | 4.367.700,73          | 4.367.700,73          | 2.741.023,80            | 4.367.700,73          | 2.676.808,41                     | -1.690.892,32          | -64.215,39                     |
| Marítimo                         | 1.624.770,00          | 1.624.770,00          | 1.386.677,20            | 1.624.770,00          | 1.377.950,00                     | -246.820,00            | -8.727,20                      |
| Mecánico                         | 51.723.122,94         | 51.722.992,52         | 44.702.614,81           | 51.686.290,04         | 44.794.726,45                    | -6.891.563,58          | 92.111,64                      |
| Tubería                          | 18.400.127,69         | 18.400.127,69         | 19.963.669,92           | 18.330.693,63         | 20.293.906,36                    | 1.963.212,73           | 330.236,44                     |
| Eléctrico                        | 15.175.383,99         | 15.175.383,99         | 14.071.507,01           | 15.223.726,64         | 14.699.240,75                    | -524.485,89            | 627.733,74                     |
| Instrumentación y control        | 6.873.543,80          | 6.491.871,05          | 3.560.330,91            | 6.537.223,75          | 3.495.030,80                     | -3.042.192,95          | -65.300,11                     |
| Puesta en marcha                 | 1.192.699,15          | 1.192.699,15          | 526.933,10              | 1.192.699,15          | 527.065,53                       | -665.633,62            | 132,43                         |
| <b>Construcción</b>              | <b>81.005.736,49</b>  | <b>81.005.736,49</b>  | <b>48.316.938,39</b>    | <b>79.970.704,52</b>  | <b>47.062.100,01</b>             | <b>-32.908.604,51</b>  | <b>-263.204,81</b>             |
| Civil                            | 49.179.861,64         | 49.179.861,64         | 21.558.371,98           | 47.881.761,88         | 21.566.602,72                    | -26.315.159,16         | 996.724,56                     |
| Marítimo                         | 10.457.404,48         | 10.457.404,48         | 10.503.237,56           | 11.207.404,48         | 9.814.738,86                     | -1.392.665,62          | -688.498,70                    |
| Mecánico                         | 6.912.993,38          | 6.912.993,38          | 2.816.779,09            | 6.912.993,38          | 2.744.989,44                     | -4.168.003,95          | -71.915,97                     |
| Tubería                          | 7.519.537,47          | 7.519.537,47          | 7.889.663,15            | 7.519.537,47          | 7.544.641,93                     | 25.104,46              | -345.021,21                    |
| Eléctrico                        | 4.053.331,10          | 4.053.331,10          | 3.087.961,40            | 4.058.076,63          | 2.975.052,21                     | -1.083.024,42          | -112.909,09                    |
| Instrumentación y control        | 2.882.608,40          | 2.882.608,40          | 2.460.925,22            | 2.390.930,67          | 2.416.074,84                     | 25.144,18              | -41.584,40                     |
| <b>Puesta en marcha</b>          | <b>1.669.775,77</b>   | <b>1.669.775,77</b>   | <b>1.403.356,00</b>     | <b>1.403.356,00</b>   | <b>1.506.556,00</b>              | <b>103.200,00</b>      | <b>-1.403.356,00</b>           |
| General                          | 418.205,32            | 418.205,32            | 1.403.356,00            | 0,00                  | 0,00                             | 0,00                   | -1.403.356,00                  |
| <b>Ingeniería</b>                | <b>4.969.335,30</b>   | <b>4.969.330,03</b>   | <b>4.348.872,02</b>     | <b>4.275.167,08</b>   | <b>4.275.167,08</b>              | <b>0,00</b>            | <b>-73.704,94</b>              |
| Ingeniería                       | 4.969.335,30          | 4.969.330,03          | 4.348.872,02            | 4.275.167,08          | 4.275.167,08                     | 0,00                   | -73.704,94                     |
| <b>Costes indirectos</b>         | <b>74.681.614,91</b>  | <b>72.257.425,72</b>  | <b>68.859.828,26</b>    | <b>73.841.150,66</b>  | <b>68.004.133,94</b>             | <b>-5.837.016,72</b>   | <b>-855.694,33</b>             |
| Gestión de proyectos             | 17.733.943,81         | 16.419.711,42         | 12.057.955,00           | 17.043.035,34         | 11.655.133,38                    | -5.387.901,96          | -402.821,62                    |
| Infraestructura                  | 13.383.880,50         | 13.273.314,57         | 5.983.485,68            | 13.274.123,68         | 6.097.739,22                     | -7.176.384,46          | 114.253,54                     |
| Contingencias                    | 24.876.681,00         | 24.876.681,00         | 37.257.853,55           | 24.876.681,00         | 37.257.853,55                    | 12.381.172,55          | 0,00                           |
| Seguros                          | 0,00                  | 0,00                  | 573.227,34              | 0,00                  | 0,00                             | 0,00                   | -573.227,34                    |
| Garantías, tarifas y otros       | 12.540.810,70         | 11.840.810,74         | 8.789.749,16            | 12.490.122,79         | 8.789.749,16                     | -3.700.373,63          | 0,00                           |
| Viajes                           | 1.585.971,03          | 1.484.202,57          | 1.115.850,12            | 1.585.971,03          | 1.115.850,12                     | -470.120,91            | 0,00                           |
| Costes de preparación de ofertas | 2.878.871,21          | 2.878.871,21          | 2.878.871,21            | 2.878.871,21          | 2.878.871,21                     | 0,00                   | 0,00                           |
| Consultoría y otros servicios.   | 1.301.228,33          | 1.483.834,21          | 135.000,00              | 1.312.117,28          | 136.255,65                       | -1.175.861,63          | 1.255,65                       |
| Garantía                         | 380.228,33            | 0,00                  | 67.836,21               | 380.228,33            | 72.681,65                        | -307.546,68            | 4.845,44                       |
| <b>Coste Total</b>               | <b>261.683.810,78</b> | <b>258.877.813,14</b> | <b>209.881.751,42</b>   | <b>258.453.482,20</b> | <b>208.712.685,33</b>            | <b>-49.740.796,87</b>  | <b>-1.683.988,53</b>           |

Tabla 8: Etapa 4. Finalización del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Comenzamos comentando el bloque más importante y el cual ya damos por finalizado. Este bloque es el de la construcción, dicho bloque se ha finalizado con la construcción de todos los edificios y todos los trabajos necesarios para que la desaladora funcione y el contrato quede cerrado. Este bloque se ha finalizado con el presupuesto de 79 millones. Como podemos ver en esta última etapa ha subido mucho el coste ya que las obras y reparaciones han aumentado hasta poder llegar a concluir todas ellas. En parte, es debido a que proveedores no han finalizado sus contratos como debían y se ha tenido que contratar a otros para realizar el trabajo. Se puede ver como el ahorro en dicho bloque no ha sido para nada el que se esperaba y a su vez es el bloque que más presupuesto se ha llevado en comparación con los otros.



Figura 21: Finalización de la construcción.

Fuente: Elaboración propia.

Otros dos bloques que podemos dar por finalizados en el proyecto son la ingeniería y la puesta en marcha. Estos dos bloques han llegado al presupuesto final y está adjudicado todo el presupuesto a los trabajos realizados. En el bloque de ingeniería se puede comprobar cómo no se ha dado ningún ahorro, pero la pérdida no ha supuesto un gran choque para el presupuesto final. En cambio, con el presupuesto de la puesta en marcha que era mucho mayor al inicio del proyecto se ha llegado a reducir dichos



trabajos y contratos para suponer un ahorro final. Esto es debido por los contratos firmados, ya que los proveedores encargados de proporcionar el material y los componentes para instalar todo lo relacionado con ello se han encargado de todas las pruebas necesarias sin la necesidad de contratar a empresas específicas en ello.

En el bloque de compras seguimos viendo como etapa a etapa este presupuesto sigue adjudicando más dinero y esto es debido porque todas las compras finales para la finalización del proyecto siguen haciéndose. Es un bloque que es muy complicado que cierre hasta el fin del proyecto ya que todo lo relacionado con los dos años de garantía se va a ir introduciendo en compras. El presupuesto para este conjunto de actividades ha aumentado en 11 millones y es un presupuesto elevado para la cantidad que teníamos planificada. Aun así, se puede ver como si vamos adelantados al proyecto. Esto se ha conseguido en la última etapa del proyecto gracias a las medidas tomadas al comienzo de la etapa 1, donde empezamos con un retraso muy significativo.

Por último, el bloque del coste indirecto, que podemos apreciar el aumento de una gran cantidad de presupuesto estimado para realizar. Este aumenta hasta los 73 millones. Como ya comentamos en otras etapas, este bloque es especial ya que recoge mes a mes las desviaciones sin poder adelantarse a esos costes. Estos costes indirectos van a seguir sin poder cerrarse hasta la finalización de los dos años de garantía que tiene el proyecto ya que aumentarán cada mes según lo necesario. Aunque el bloque sea el más difícil de estimar desde un inicio del proyecto podemos ver como las desviaciones iniciales no son muy elevadas con respecto a las compras o la construcción. El gran aumento en este punto son las contingencias que hemos tenido que realizar. Estas son la cantidad de presupuesto para la garantía, como los procesos de medio ambiente y calidad o las consultorías que se hayan tenido que realizar.

En este bloque se debe de comentar la diferencia en tan pocos meses con la etapa anterior y esto es debido a toda la mano de obra que se ha tenido que contratar para la finalización a tiempo del proyecto.

El proyecto presenta unas pérdidas significativas de más de 49 millones de dólares. Estas pérdidas son en gran parte por el gran retraso generado el comienzo del proyecto que ha sido arrastrado hasta su finalización. El interés del proyecto era tenerlo

finalizado a tiempo por las penalizaciones que ocasionaría su incumplimiento, pero a su vez esto ha ocasionado unas grandes pérdidas de dinero por las medidas adicionales adoptadas.

El proyecto se finaliza con un presupuesto estimado de 260 millones de los cuales 258 están adjudicados. Esa diferencia son los trabajos que se prevén en el tiempo de garantía y que marcaran la cifra final del proyecto.

#### 4.2.7 Curva del Índice de Desempeño en Tiempo (SPI)

El Índice de Desempeño del Plazo, SPI es una medida de avance del Proyecto según la planificación del cronograma. Según el SPI se presentan las siguientes conclusiones:

- $SPI < 1$ : no se está cumpliendo de manera eficiente la planificación, el Proyecto va retrasado.
- $SPI > 1$ : el proyecto va adelantado al cronograma, se han realizado más tareas de las planificadas hasta el momento.
- $SPI = 1$ : el proyecto avanza de acuerdo con el cronograma.

Como se puede apreciar en gran medida todos los bloques del proyecto van con retraso en el proyecto como se ha podido ver en las tablas anteriormente descritas La causa de este problema es que PV es mucho mayor que el EV.

A continuación, se muestra la gráfica del Índice de Desempeño del Tiempo de todos los meses del proyecto. Como era de esperar el SPI es menor que la unidad lo que quiere decir que la consecución de actividades va retrasada respecto a la planificación.

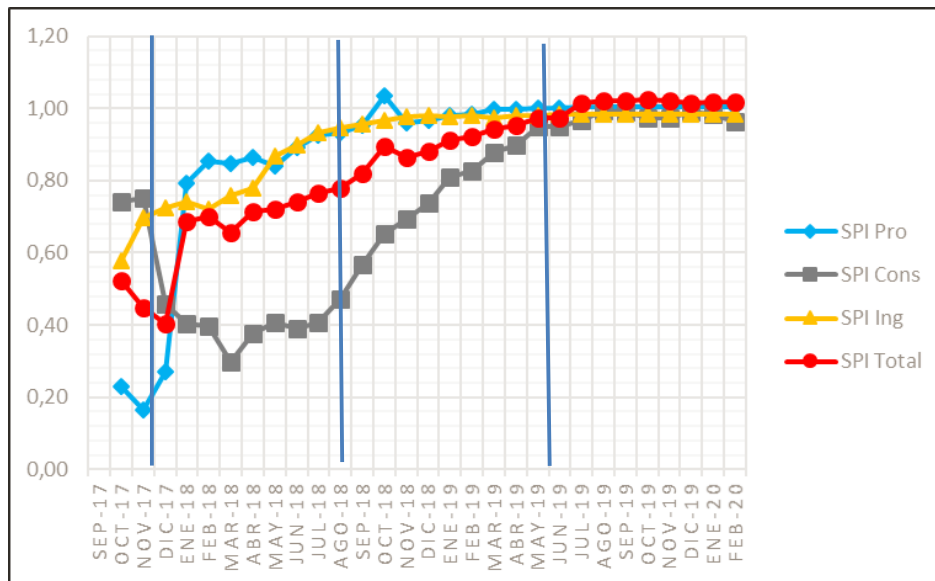


Figura 22: Curva del Índice de Desempeño en Tiempo del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Las líneas horizontales en la figura muestran las etapas en las que ha sido dividido el proyecto.

Esta situación es muy importante en el bloque de construcción ya que es el bloque que más retrasado va todo el proyecto. Esto es debido a que no se ha cumplido la planificación marcada y todo el proyecto ha ido con ese retraso acumulado.

Los demás bloques no han cumplido de manera eficiente la planificación, pero han ido mejorando y adaptándose a la situación. El bloque de compras tuvo un gran cambio en los primeros meses del proyecto y esto se debe a las medidas que se tomaron para la contratación de más personal y la aceleración de las compras.

Por último, hay que comentar que la línea roja, es la que nos marca el SPI global del proyecto y se puede observar que hasta la última etapa del proyecto no se alcanza que el proyecto avance de acuerdo con el cronograma. Esto se termina consiguiendo por la medida de contratación de más personal durante todas las etapas del proyecto. El bloque que más ha sufrido el cambio es el de Construcción. Esto se puede ver cómo después de la segunda etapa empieza a aumentar su rendimiento y recortar las fechas planificadas, llegando a alcanzar el objetivo de acabar en fecha la desaladora.

#### 4.2.8 Curva del Índice de Desempeño en Coste (CPI)

El Índice de desempeño del presupuesto, mide el rendimiento de los recursos presupuestados. Estos los podemos reflejar en tres conclusiones:

- $CPI < 1$ : los recursos no se están utilizando de manera eficiente, se está produciendo un sobrecoste.
- $CPI > 1$ : los recursos se están utilizando de forma eficiente, indica que el Proyecto está por debajo del presupuesto.
- $CPI = 1$ : los recursos se utilizan de acuerdo con lo planificado.

En este punto se puede comentar como el bloque de construcción tiene un cambio muy elevado entre la primera y segunda etapa. Ahí se produce un cambio en el rendimiento, el proyecto empieza con un coste por debajo del presupuesto, pero sufre un gran cambio y se empieza a ver un sobrecoste mayor a partir de la segunda etapa. Esto es debido al gran problema que hubo con la manera de ejecución de los trabajos. Los trabajos iban muy retrasados como ya hemos comentado anteriormente y se tuvo que contratar más personal para poder realizar esos trabajos y poder ir cumpliendo algo mejor la planificación marcada. Esto se ve reflejado observando que el bloque de construcción siempre va por debajo del valor 1 y que esté produciendo un sobrecoste en todo el proyecto.

El bloque que se mantiene de acuerdo con lo planificado más regularmente es el bloque de costes indirectos aunque en la tercera etapa del proyecto tiene un sobrecoste, como pudimos analizar anteriormente por el personal empleado.

Por último, hay que comentar igual que en el bloque para el SPI, la gráfica muestra en rojo la línea general del proyecto y vemos cómo se encuentra siempre por debajo, produciendo un sobrecoste. Esto mejora en la última etapa del proyecto donde se regulariza todo aún más.

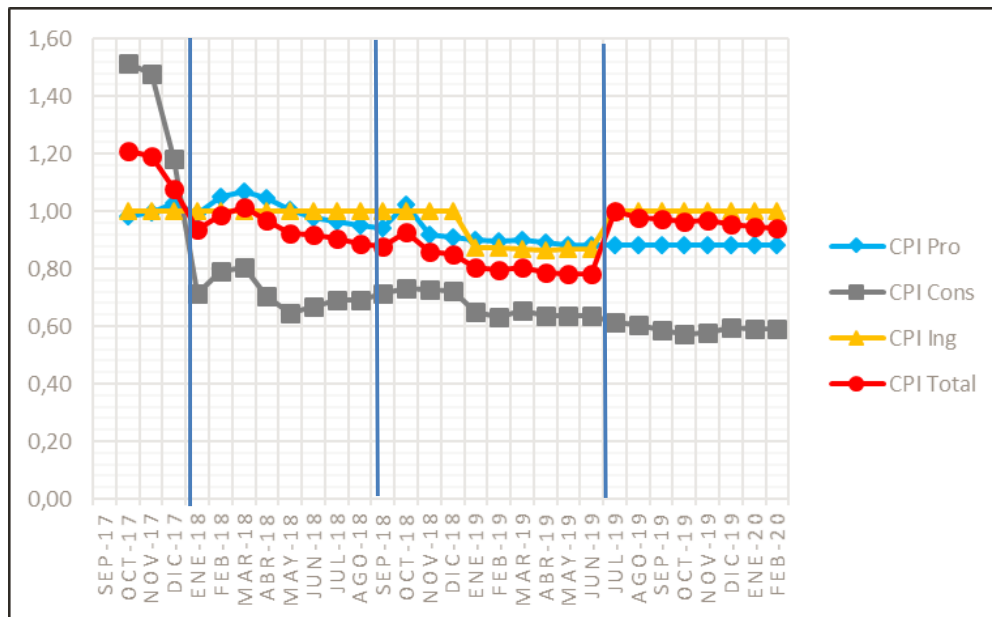


Figura 23: Curva del Índice de Desempeño en Coste del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.9 Análisis para las compras civiles a lo largo del proyecto.

El proyecto se encuentra finalizado, ya han transcurrido 21 meses (etapa 4). Con las tablas anteriores descritas ya conocemos qué es lo que realmente ha gastado el proyecto, es decir, cuáles son los costes reales y también cual es el trabajo que realmente se ha realizado para el proyecto. En este punto ya conocemos el valor ganado para el proyecto y tomaremos una partida del bloque de Compras para su análisis. La partida que vamos a utilizar es la partida de Compras civiles.

En la siguiente tabla se muestran los valores de:

- Coste final, BAC.
- Coste adjudicado, CAdj.
- Presupuesto asignado, PV.
- Coste real, AC.
- Presupuesto trabajo realizado, EV.

| Compras Mecánico           | BAC            | CAdj           | PV             | AC             | EV             |
|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Etapa 1. Inicio            | \$2.741.023,74 |                |                |                |                |
| Etapa 2. A los 7 meses     |                | \$1.910.995,00 | \$2.583.127,20 | \$1.777.797,97 | \$1.974.991,71 |
| Etapa 3. A los 14 meses    |                | \$3.410.927,33 | \$2.741.023,80 | \$2.854.342,09 | \$2.530.149,19 |
| Etapa 4. A la finalización |                | \$4.367.700,73 | \$2.741.023,80 | \$4.367.700,73 | \$2.676.808,41 |

Tabla 9: Costes del bloque de Compras para la partida civil.

Fuente: Elaboración propia.

Para la etapa inicial aparece que el único dato que podemos ver es el coste presupuesto para finalizar el proyecto. Todos los demás costes están a cero ya que no se ha realizado aún ninguna actividad. Es algo esperado para la etapa 1 del proyecto.

En el siguiente diagrama de barras vamos a representar los valores de BAC, CAdj, PV, AC y EV de cada etapa para tener una visión más clara de cuanto hemos gastado, y cuanto trabajo se ha realizado.

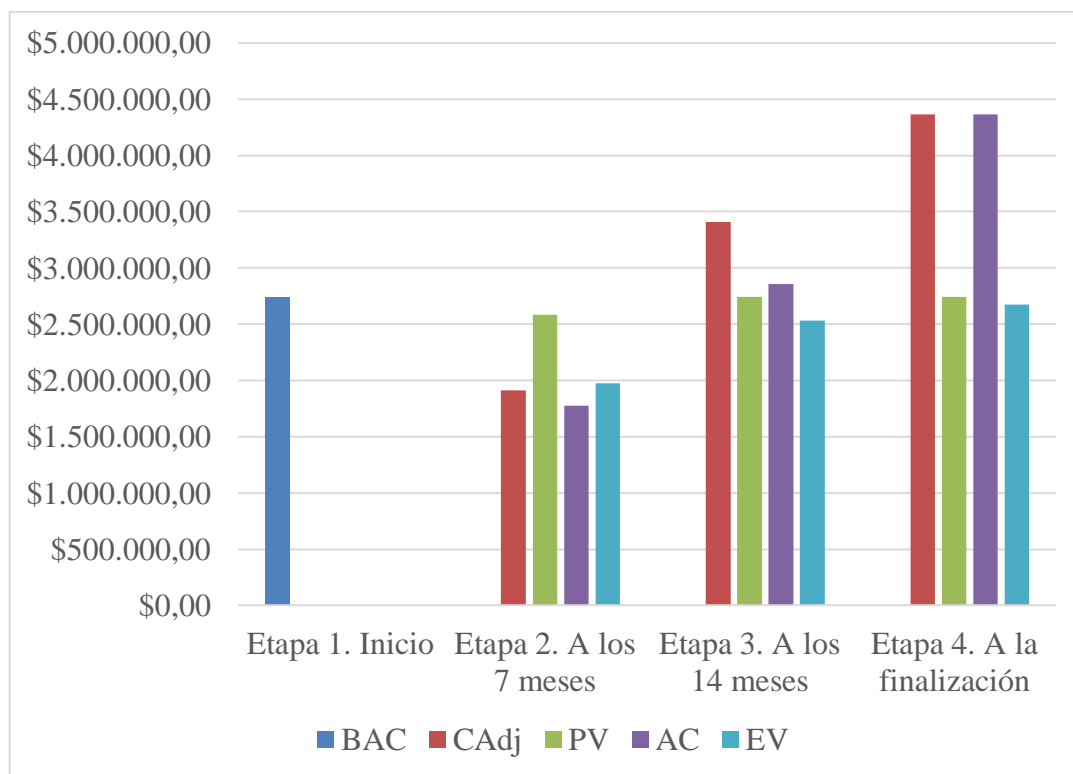


Figura 24: Gráfica evolución PV, AC y EV.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el diagrama, el presupuesto asignado a partir de la etapa 1 es siempre superior al presupuesto de trabajo realizado. El coste real comienza las dos primeras etapas por debajo al presupuesto de trabajo realizado, pero a partir de

la segunda etapa aumenta en mayor medida, superando tanto al PV como al EV. El BAC aumenta en una gran cantidad en la etapa 3 y 4 del proyecto.

Para continuar con el análisis, se muestran en la siguiente grafica los valores acumulados de la tabla anterior. Podremos ver el crecimiento en el proyecto.

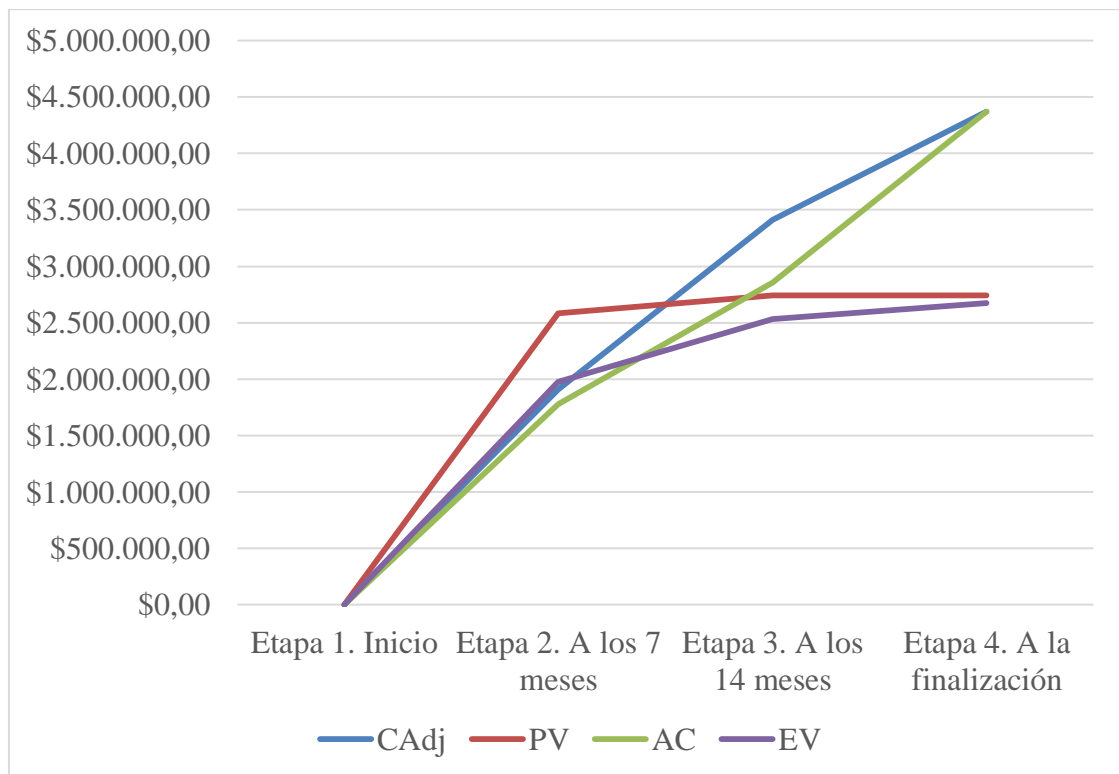


Figura 25: Evolución a lo largo del proyecto del CAdj, PV, AC y EV.

Fuente: Elaboración propia.

En esta gráfica podemos observar como los presupuestos asignados y los presupuestos del trabajo realizado tienen su mayor crecimiento desde la etapa 1 hasta la etapa 2. Quedando con unos valores finales muy similares en la etapa 3 y 4. Respecto al coste real, se puede observar cómo crece igual que EV pero sigue creciendo estos costes a partir de la etapa 2. En principio se puede decir que nuestro proyecto se encuentra retrasado desde la segunda etapa hasta la última etapa, teniendo el mayor retraso entre las etapas 2 y 3. Respecto a los costes, vemos como en la etapa 2 llevamos un ahorro en el proyecto, pero ese ahorro se ve convertido en grandes pérdidas al final del proyecto. Obteniendo una partida de compras civiles con pérdidas.

Ahora vamos a realizar los cálculos para las variaciones tanto del presupuesto

como del tiempo: CV y SV. Además, se realizará el cálculo de los Índices de Desempeño tanto para el coste como para el tiempo, CPI y SPI. En la siguiente tabla vamos a mostrar las variaciones experimentadas en la duración del proyecto.

| Compras Civil              | $SPI=EV / PV$                  | $SV=EV - PV$               | $CPI=EV / AC$              | $CV=AC - EV$        |
|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|
|                            | Índice Desempeño en Cronograma | Variación en el Cronograma | Índice Desempeño en Costes | Variación en Costes |
| Etapa 1. Inicio            | 0,00%                          | \$ -                       |                            | \$ -                |
| Etapa 2. A los 7 meses     | 76,46%                         | \$ -608.135,49             | 111,09%                    | \$ -197.193,74      |
| Etapa 3. A los 14 meses    | 92,31%                         | \$ -210.874,61             | 88,64%                     | \$ 324.192,91       |
| Etapa 4. A la finalización | 97,66%                         | \$ -64.215,39              | 61,29%                     | \$ 1.690.892,32     |

Tabla 10: Tabla variaciones e índices de eficiencia.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se representan las variaciones del coste y del tiempo.

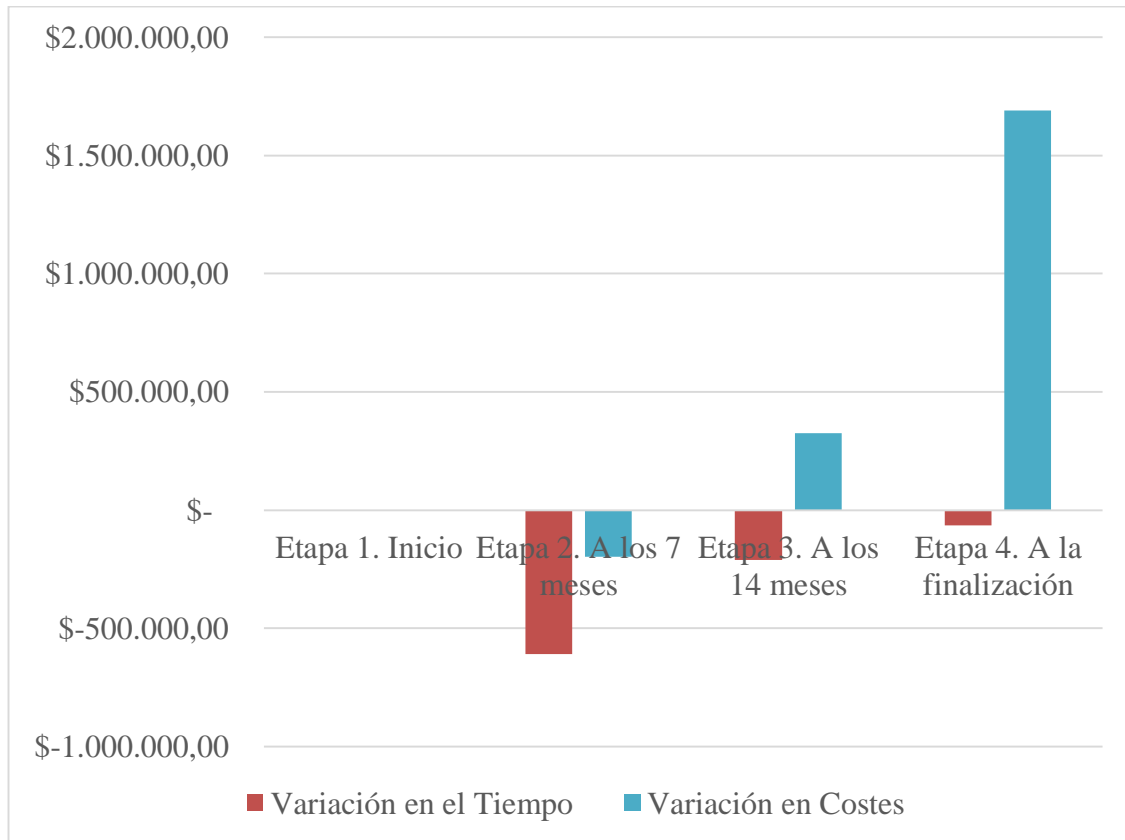


Figura 26: Gráfica de variaciones del coste y del tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, la Variación en el Tiempo es negativa en todo el proyecto desde la etapa 1. Esto nos indica que estamos retrasados en todo el proyecto respecto al tiempo, es decir, hay menos trabajo realizado del que se planificó al principio. Respecto a la Variación en Costes, hasta la segunda etapa nos presentan unos



costes negativos los cuales nos hacen ver que estamos ahorrando en el proyecto. En cambio, a partir de la tercera etapa, esa variación sufre un aumento y nos indica que estamos gastando más de lo planificado. Es decir, nos estamos excediendo del presupuesto, mostrando una tendencia creciente.

En principio estos dos indicadores son desfavorables, vamos a ver estos mismos resultados de otra forma, mediante los indicadores de desempeño de los valores acumulados.

Para ello podemos ver cómo sería una evolución según los criterios de evaluación de los índices CPI y SPI.

|                               |      |                                                           |                                                        |
|-------------------------------|------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                               |      | CPI > 1 y SPI < 1                                         |                                                        |
|                               |      | CPI > 1 y SPI > 1                                         |                                                        |
| CPI (respecto al presupuesto) | alto | Por delante del presupuesto, pero retrasados en el tiempo | Por delante del presupuesto y adelantados en el tiempo |
|                               | bajo | Por detrás del presupuesto y retrasados en el tiempo      | Por detrás del presupuesto y adelantados en el tiempo  |
|                               |      | bajo                                                      | alto                                                   |
|                               |      | SPI (respecto al cronograma)                              |                                                        |

Tabla 11: Comportamiento de los Índices de Desempeño en Coste y Tiempo.

Fuente: Obtenido de Internet

A continuación, mostramos los valores obtenidos para las 4 etapas.

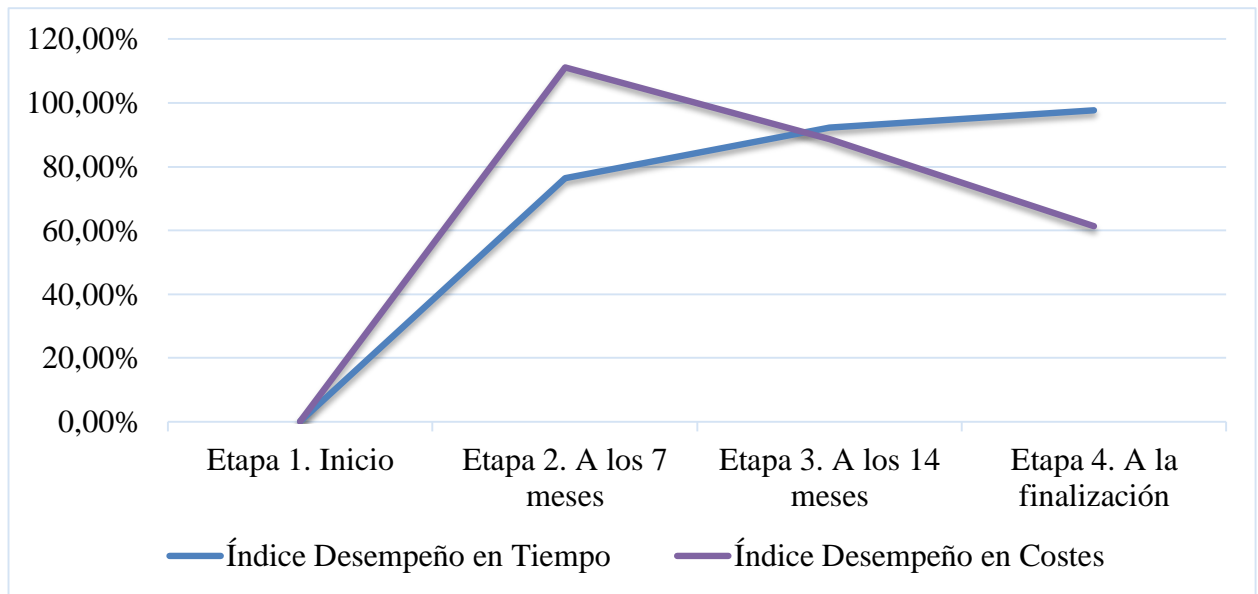


Figura 27: Gráfica evolución de los Índices de Desempeño en Coste y Tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

Observando la gráfica, el índice de desempeño de costes, CPI, en la mayoría de las etapas se encuentra en valores por debajo del 100%. En la etapa 2 tiene un aumento superior al 100%, pues recordemos que los valores ideales de estos índices eran la unidad, o valores algo superiores. Este índice comienza con un valor de 0%, pero aumenta hasta terminar el proyecto con un valor cercano a 62%. Esto nos indica que los recursos no se están utilizando de manera eficiente, se está produciendo un sobrecoste.

Sin embargo, el índice de desempeño del tiempo refleja resultados muy diferentes. Este índice parte de un valor al 0%, pero a medida que avanza el proyecto experimenta una subida, consolidándose al rededor 100% en la etapa final. Recordemos que, para este índice, al igual que el anterior, el valor deseado es 1. A lo largo del proyecto no se está cumpliendo de manera eficiente la planificación, el proyecto va retrasado hasta alcanzar que los recursos se utilizasen de acuerdo con lo planificado.

Se muestra en el grafico siguiente como se debe entender los valores obtenidos en todo el proyecto.

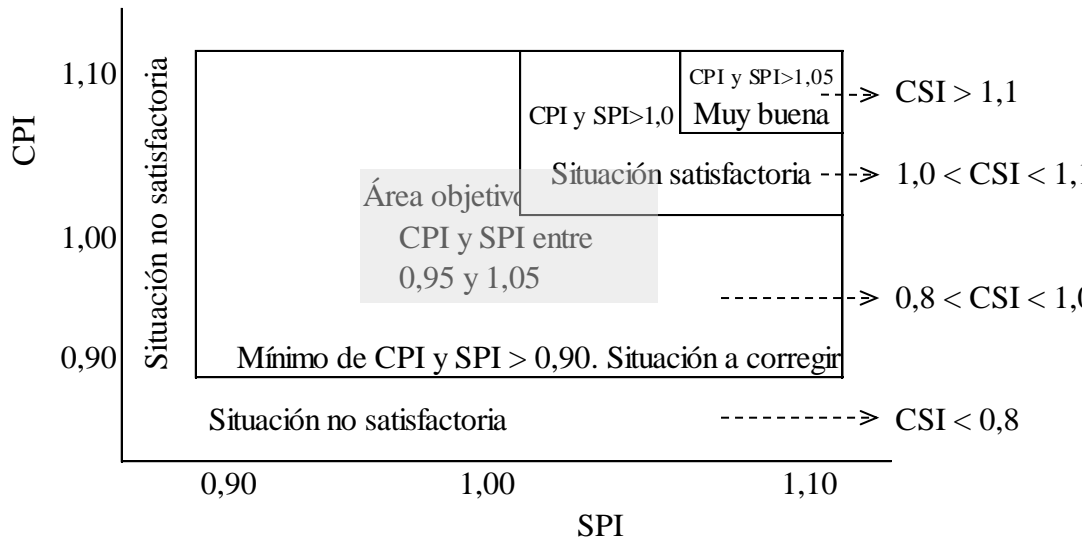


Tabla 12: Comportamiento entre el Índice de Desempeño en Coste y Coste.

Fuente: Elaboración propia

Calculamos los valores relativos del CV y del SV en la tercera etapa del proyecto, para mostrar así, el porcentaje de lo retrasado que podemos ir respecto al tiempo y cuanto se ha excedido en el presupuesto.

$$CV(\%) = \frac{CV}{EV} \times 100 = \frac{324.192,91 \$}{2.530.149,19 \$} \times 100 = 12,81\%$$

Este valor refleja que el proyecto va con un 12,81% de sobrecoste en la siguiente etapa.

$$SV(\%) = \frac{SV}{PV} \times 100 = \frac{-210.874,61 \$}{2.741.023,80 \$} \times 100 = -7,69\%$$

Este valor indica que va con un -7.69% de retraso en el tiempo.

A continuación, se muestra la tabla donde se reflejan todas las variaciones en el tiempo y en los costes a lo largo del proyecto. Se puede ver cómo evoluciona esta parte del proyecto.

| Compras Civil              | SV(%)=SV / PV        |              | CV(%)=CV / EV        |               |
|----------------------------|----------------------|--------------|----------------------|---------------|
|                            | Valor relativo de SV | Evolución SV | Valor relativo de CV | Evolución CV  |
| Etapa 1. Inicio            | 0,00%                |              | 0,00%                |               |
| Etapa 2. A los 7 meses     | -23,54%              | retrasado    | -9,98%               | más económico |
| Etapa 3. A los 14 meses    | -7,69%               | retrasado    | 12,81%               | más caro      |
| Etapa 4. A la finalización | -2,34%               | retrasado    | 63,17%               | más caro      |

Tabla 13: Valores relativos de Variación de Tiempo y Variación de Costes a lo largo del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Calculemos ahora el índice de rendimiento del trabajo por completar y el índice de rendimiento del tiempo por completar.

El índice de rendimiento del trabajo por completar, TCPI, da una idea de cómo debe avanzar para recuperarse de la situación final respecto lo planificado. En la tercera etapa del proyecto presenta estos valores:

$$TCPI = \frac{BAC - EV}{BAC - AC} = \frac{3.411.027,33 \$ - 2.530.149,19 \$}{3.411.027,33 \$ - 2.854.342,09 \$} = 1,58$$

Este índice nos revela que se debe ser un 158% más eficiente de lo que ha sido al realizar el trabajo del proyecto, con respecto a los costes, para lograr terminar el proyecto según lo planificado.

Podemos ver en la siguiente tabla como este índice se muestra en crecimiento a lo largo de las etapas.

| Compras Civil              | TCPI                                                        |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                            | Índice de rendimiento del trabajo por completar (en costes) |
| Etapa 1. Inicio            | 100%                                                        |
| Etapa 2. A los 7 meses     | 69%                                                         |
| Etapa 3. A los 14 meses    | 158%                                                        |
| Etapa 4. A la finalización |                                                             |

Tabla 14: Evolución del Índice de rendimiento del trabajo por completar respecto a los costes a lo largo del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

El índice de rendimiento del trabajo por completar, TSPI, da una idea de cómo debe avanzar para recuperarse de la situación final respecto el tiempo.

$$TSPI = \frac{BAC - EV}{BAC - PV} = \frac{3.411.027,33 \$ - 2.530.149,19 \$}{3.411.027,33 \$ - 2.741.023,80 \$} = 1,31$$

Este valor de 1,31 para este índice nos quiere decir que se debe ser un 131% más eficiente de lo que lo estamos siendo actualmente con respecto a la gestión del tiempo disponible para la realización del proyecto, es decir, para conseguir acabar el proyecto según lo planificado inicialmente en el tiempo.

Podemos ver en la siguiente tabla como este índice se muestra en crecimiento a lo largo de las etapas.

| Compras Civil              | TSPI                                                        |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                            | Índice de rendimiento del trabajo por completar (en tiempo) |
| Etapa 1. Inicio            | 100%                                                        |
| Etapa 2. A los 7 meses     | -281%                                                       |
| Etapa 3. A los 14 meses    | 131%                                                        |
| Etapa 4. A la finalización |                                                             |

Tabla 15: Evolución del Índice de rendimiento del trabajo por completar respecto al tiempo a lo largo del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar el estudio de la partida de compras mecánicas, vamos a realizar el cálculo de las proyecciones del coste total en el que se incurre hasta la conclusión del proyecto, o en inglés Estimate to Complete, ETC, y el coste restante hasta la conclusión del proyecto, Estimate at Completion. También vamos a calcular el VAC, Variance at Complete. Como ya hemos comentado, existen diversos métodos para calcular estas estimaciones.

- Proyección de coste según el presupuesto inicial:

$$EAC = AC + BAC - EV$$

$$ETC = EAC - AC$$

$$VAC = BAC - EAC$$

Realizamos todos los cálculos para las 4 etapas del proyecto. Estas estimaciones se recogerán en la tabla siguiente:

| Compras Civil           | EAC<br>Estimate at complete.<br>Cierre estimado | ETC<br>Estimate to complete.<br>Coste estimado para lo que queda. | VAC<br>Variance to complete.<br>Variación al final |
|-------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Etapa 1. Inicio         | \$ 2.741.023,74                                 | \$ 2.741.023,74                                                   | \$ -                                               |
| Etapa 2. A los 7 meses  | \$ 2.226.510,13                                 | \$ 448.712,16                                                     | \$ 197.193,74                                      |
| Etapa 3. A los 14 meses | \$ 3.735.220,24                                 | \$ 880.878,15                                                     | \$ -324.192,91                                     |

Tabla 16: Estimación de la proyección según presupuesto inicial.

Fuente: Elaboración propia.

En esta estimación podemos observar como el presupuesto para el cierre estimado es menor que el valor real del proyecto.

- Proyección de coste según CPI:

$$EAC = AC + \frac{BAC - EV}{CPI}$$

$$ETC = EAC - AC$$

$$VAC = BAC - EAC$$

En la siguiente tabla se recogerá el cálculo durante las etapas.

| Compras Civil           | EAC<br>Estimate at complete.<br>Cierre estimado | ETC<br>Estimate to complete.<br>Coste estimado para lo que queda. | VAC<br>Variance to complete.<br>Variación al final |
|-------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Etapa 1. Inicio         | \$ -                                            | \$ -                                                              | \$ 2.741.023,74                                    |
| Etapa 2. A los 7 meses  | \$ 2.181.708,31                                 | \$ 403.910,34                                                     | \$ 241.995,57                                      |
| Etapa 3. A los 14 meses | \$ 3.848.088,86                                 | \$ 993.746,77                                                     | \$ -437.061,53                                     |

Tabla 17: Estimación de la proyección de coste según el Índice de Desempeño de Coste.

Fuente: Elaboración propia.

En esta estimación de los costes restantes, se realiza teniendo en cuenta la eficiencia en los costes del trabajo que llevamos realizado. Por ello, se utiliza el CPI de la fecha de control.

Recordemos que este índice era menor a la unidad, y por tanto esta estimación del presupuesto es mayor que la estimación anterior, que se realizó según el presupuesto inicial, es decir, como si hubiésemos tomado un CPI igual a la unidad.

- Proyección de coste según índice CPI Y SPI:

$$EAC = AC + \frac{BAC - EV}{CPI \times SPI}$$

$$ETC = EAC - AC$$

$$VAC = BAC - EAC$$

A continuación, se muestran los valores obtenidos en la tabla:

| Compras Civil           | EAC<br>Estimate at complete.<br>Cierre estimado | ETC<br>Estimate to complete.<br>Coste estimado para lo que<br>queda. | VAC<br>Variance to complete.<br>Variación al final |
|-------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Etapa 1. Inicio         | \$ -                                            | \$ -                                                                 | \$ 2.741.023,74                                    |
| Etapa 2. A los 7 meses  | \$ 2.306.079,57                                 | \$ 528.281,60                                                        | \$ 117.624,31                                      |
| Etapa 3. A los 14 meses | \$ 3.930.912,42                                 | \$ 1.076.570,33                                                      | \$ -519.885,09                                     |

Tabla 18: Estimación de la proyección de coste según los Índices de Desempeño en Coste y Tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

Para esta estimación, se tienen en cuenta tanto el CPI como el SPI, es decir se tiene en cuenta tanto la eficiencia en los costes como en la gestión del tiempo.

Podríamos decir que lo que realmente se hace es traducir la ineficiencia en la gestión del tiempo, en un sobrecoste. Esta interpretación se puede defender desde la postura de que el director del proyecto decida que va a invertir recursos, que incurrirán en un mayor coste, para contrarrestar este retraso en el tiempo.

Como hemos podido recoger en las tres proyecciones anteriores la que más se asemeja a la realidad del proyecto es la proyección de costes según los Índices de Desempeño en Coste y tiempo. Es la partida que se acerca más al valor real a la finalización, aunque podemos decir que es una proyección que no ha recogido toda la variación que el proyecto ha tenido.

Una vez recogido todos los datos para la partida de compras civiles podemos llegar a la conclusión de que los resultados obtenidos no han sido favorables para el proyecto. El principal problema comienza cuando al final de la primera etapa se realiza todo este análisis comentado anteriormente y se ve como presenta un retraso en el trabajo ya considerable para solo llevar 7 meses del proyecto. Es un valor que va a ir disminuyendo en la evolución del proyecto.

A partir del primer momento en el que se visualiza a través del análisis del valor ganado que el proyecto va retrasado, se toma la decisión de corregir el problema. Para ello se toma de decisión de agilizar las compras con otros proveedores. No se está cumpliendo las fechas con los proveedores y el proyecto empieza a tener un gran retraso. Con los nuevos proveedores ese trabajo de compras queda más dividido y por tanto, sin tanto retraso en sus entregas.

Esto se ve reflejado como el coste adjudicado en la tercera etapa ya hay una diferencia entre el coste adjudicado y el presupuesto asignado para las partidas. A partir de esta etapa se observa que el coste que empezamos a presentar es mayor que el planificado, por tanto, estamos presentando pérdidas en el proyecto. Aun así, el proyecto tiene unos índices de retraso en la planificación que van disminuyendo. En la tercera etapa aparece un fallo a la hora del envío del material. Este fallo es la entrega que se debe realizar en los contenedores a través de un barco y no presenta tanto espacio para esos contenedores. Se realizan un nuevo transporte de material que no estaba previsto pero que es necesario para cumplir con las fechas. Esto provoca un gran coste para el proyecto.

Como se espera en la tercera etapa los costes han superado en gran medida a los esperados y esto es causa de esa decisión y del coste del personal contratado para la recuperación del retraso.

El análisis termina con la conclusión de que las decisiones tomadas, según los valores que iban reflejando cada etapa, ha sido correcta para cumplir los plazos en tiempo, pero no ha sido suficiente para los costes.



#### 4.2.10 Análisis para las compras mecánicas a lo largo del proyecto.

Con las tablas anteriores descritas en cada etapa ya conocemos qué es lo que realmente se ha gastado en el proyecto, es decir, cuáles son los costes reales y también cual es el trabajo que realmente se ha realizado para el proyecto.

Antes del análisis de las compras mecánicas en el proyecto, debemos de saber que el coste presupuestado para dicha partida es menor que el coste asignado para realizarla. Es una partida negativa que ya prevemos tener una pérdida del presupuesto.

En la siguiente tabla se muestran los valores de:

- Coste final, BAC.
- Coste adjudicado, CAdj.
- Presupuesto asignado, PV.
- Coste real, AC.
- Presupuesto trabajo realizado, EV.

| Compras Mecánico           | BAC             | CAdj            | PV              | AC              | EV              |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Etapa 1. Inicio            | \$51.224.812,61 | \$10.607.854,54 | \$912.534,02    | \$0,00          | \$0,00          |
| Etapa 2. A los 7 meses     |                 | \$47.416.646,73 | \$22.501.736,85 | \$19.323.487,11 | \$19.815.641,26 |
| Etapa 3. A los 14 meses    |                 | \$51.332.071,12 | \$44.702.614,81 | \$50.997.117,66 | \$44.339.881,67 |
| Etapa 4. A la finalización |                 | \$51.722.992,52 | \$44.702.614,81 | \$51.686.290,04 | \$44.797.726,45 |

BAC\* con la corrección del coste inicial al presentar pérdidas en su presupuesto+.

Tabla 19: Costes del bloque de Compras para la partida mecánica.

Fuente: Elaboración propia.

Para la etapa inicial aparece que el coste real y el presupuesto de trabajo realizado es 0 y esto es esperado en el proyecto porque al inicio del proyecto esta partida aún no tiene certificado ni realizado ningún trabajo. El presupuesto de trabajo realizado estaba previsto que fuese 0 y por tanto no tenían que haber entregado nada de trabajo.

El coste presupuestado al finalizar está corregido con la diferencia que presentaba el proyecto entre la contratación de la partida de compras mecánicas con el presupuesto para esta partida. Esto no hace ver mejor la realidad de los valores obtenidos según el estudio de valor ganado.

En el siguiente diagrama de barras vamos a representar los valores de BAC, CAdj, PV, AC y EV de cada etapa para tener una visión más clara de cuanto hemos gastado,

y cuanto trabajo se ha realizado.

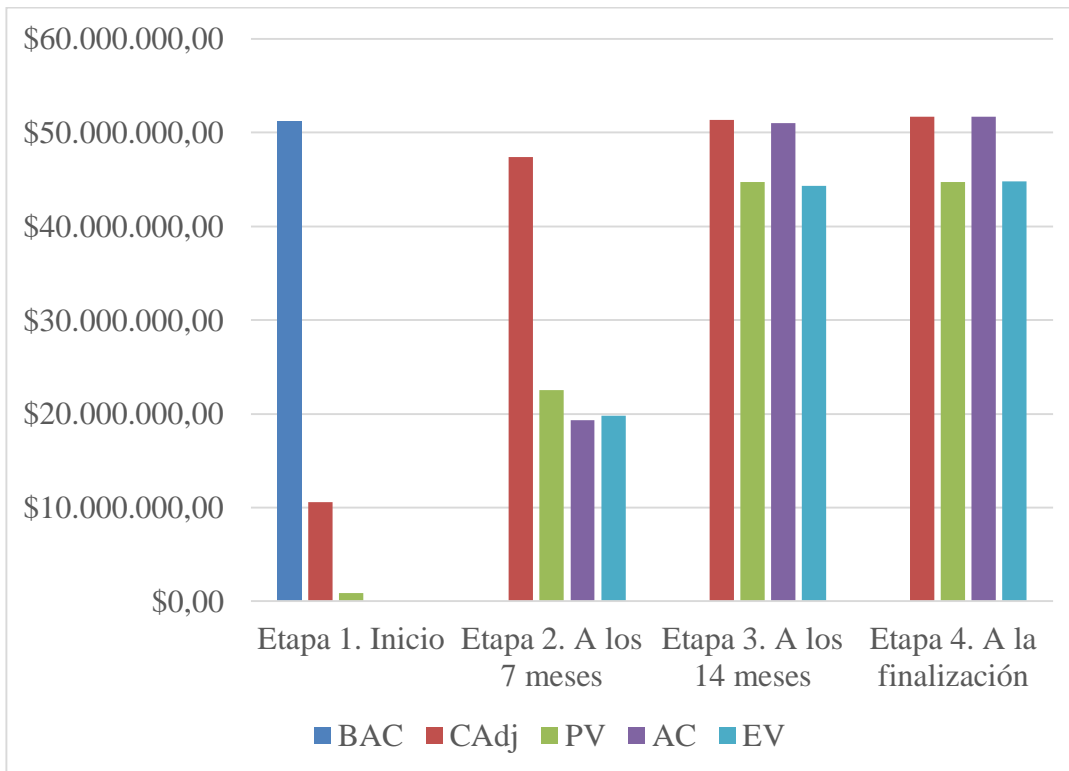


Figura 28: Gráfica evolución PV, AC y EV.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el diagrama, el presupuesto asignado es siempre algo superior al presupuesto de trabajo realizado menos en la etapa 4. El coste real comienza con las dos primeras etapas muy similares al presupuesto de trabajo realizado, pero a partir de la segunda etapa aumenta en mayor medida, superando tanto al PV como al EV. El coste adjudicado comienza en la etapa de inicio con un aumento lento, pero vemos como se ha producido una gran variación entre la etapa 1 y 2, manteniéndose algo más constante el aumento en las siguientes etapas.

Para continuar con el análisis, se muestran en la siguiente grafica los valores acumulados de la tabla anterior. Podremos ver el crecimiento en el proyecto.

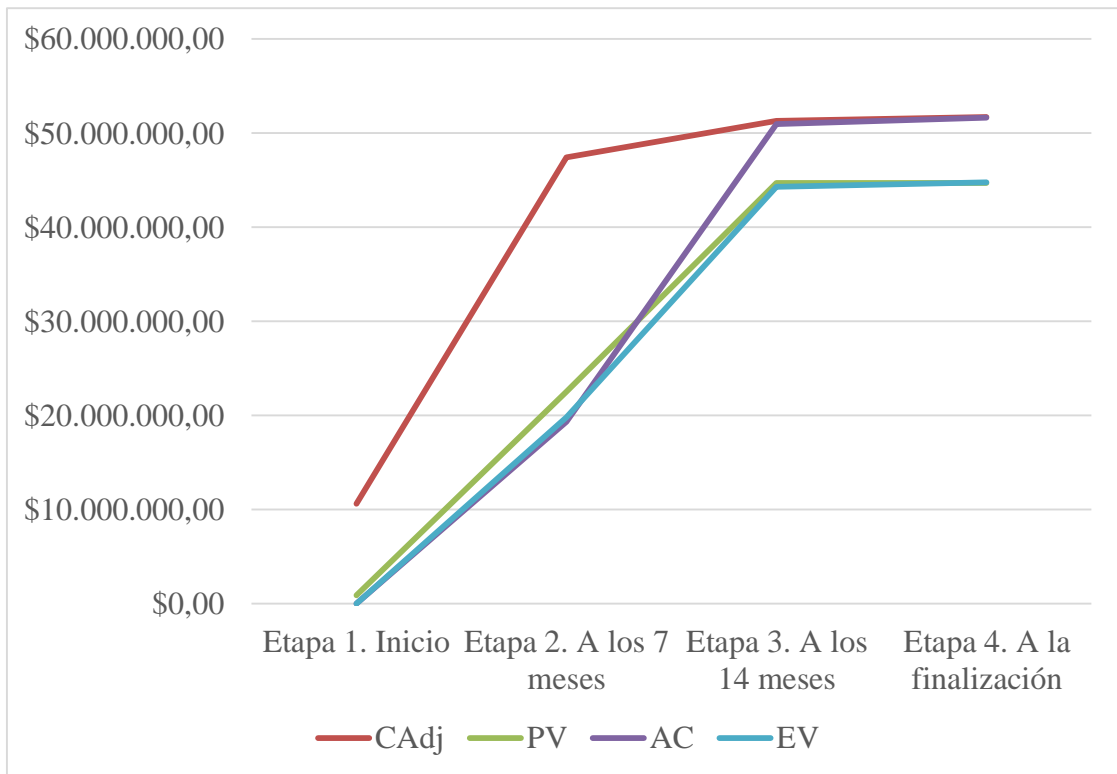


Figura 29: Evolución a lo largo del proyecto del CAdj, PV, AC y EV.

Fuente: Elaboración propia.

En esta gráfica podemos observar como los costes reales se encuentran por encima del valor ganado desde la segunda etapa y como también el valor ganado se encuentra a su vez por debajo del valor planificado hasta la tercera etapa. En principio se puede decir que nuestro proyecto se encuentra retrasado hasta la tercera etapa y también que estamos gastando más de lo planificado a partir del séptimo mes.

Ahora vamos a realizar los cálculos para las variaciones tanto del presupuesto como del tiempo: CV y SV. Además, se realizará el cálculo de los Índices de Desempeño tanto para el coste como para el tiempo, CPI y SPI. En la siguiente tabla vamos a mostrar las variaciones experimentadas en la duración del proyecto.

| Compras Mecánico           | SPI=EV / PV                    | SV=EV - PV                 | CPI=EV / AC                | CV=AC - EV          |
|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|
|                            | Índice Desempeño en Cronograma | Variación en el Cronograma | Índice Desempeño en Costes | Variación en Costes |
| Etapa 1. Inicio            | 0,00%                          | \$ -912.534,02             |                            | \$ -                |
| Etapa 2. A los 7 meses     | 88,06%                         | \$ -2.686.095,59           | 102,55%                    | \$ -492.154,15      |
| Etapa 3. A los 14 meses    | 99,19%                         | \$ -362.733,14             | 86,95%                     | \$ 6.657.235,99     |
| Etapa 4. A la finalización | 100,21%                        | \$ 95.111,64               | 86,67%                     | \$ 6.888.563,59     |

Tabla 20: Tabla variaciones e índices de eficiencia.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se representan las variaciones del coste y del tiempo.

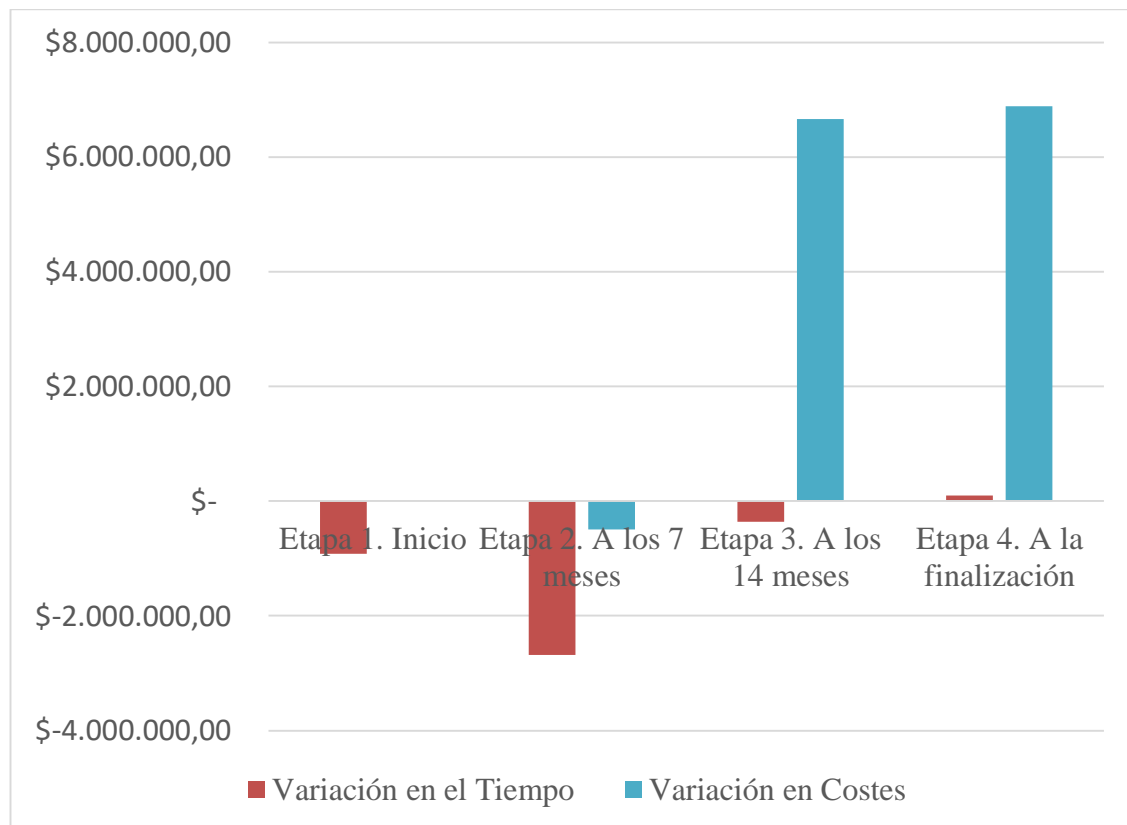


Figura 30: Gráfica de variaciones del coste y del tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, la Variación en el Tiempo es negativa hasta la finalización de la tercera etapa. Esto nos indica que estamos retrasados en todo el proyecto respecto al tiempo, es decir, hay menos trabajo realizado del que se planificó al principio. Respecto a la Variación en Costes, a partir de la primera etapa nos presentan unos costes negativos los cuales nos hacen ver que estamos ahorrando en el proyecto hasta el final de la etapa 2. En cambio, a partir de la tercera etapa, esa variación sufre un gran cambio y nos indica que estamos gastando más de lo planificado. Es decir, nos estamos excediendo del presupuesto, mostrando una tendencia creciente.

En principio estos dos indicadores son desfavorables, vamos a ver estos mismos resultados de otra forma, mediante los indicadores de desempeño de los valores acumulados.

A continuación, mostramos los valores obtenidos para las 4 etapas.

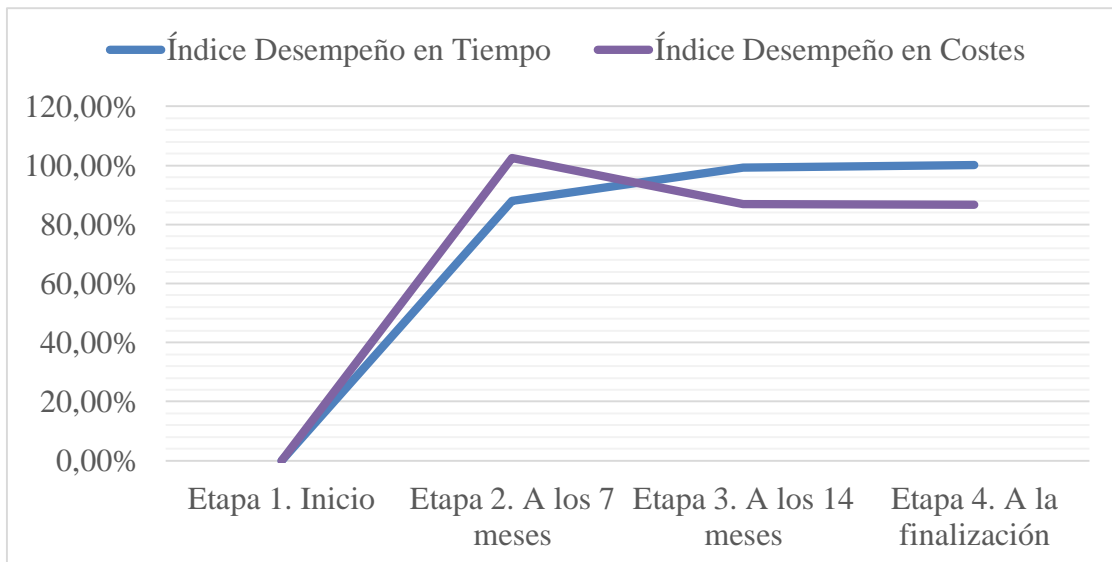


Figura 31: Gráfica evolución de los Índices de Desempeño en Coste y Tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

A priori, observando la gráfica, el índice de desempeño de costes, CPI, la mayoría de las etapas se encuentra en valores por debajo del 100%. Aunque en la etapa 2 realiza un aumento del 100%, pues recordemos que los valores ideales de estos índices eran la unidad, o valores algo superiores. Este índice comienza con un valor de 0%, pero aumenta hasta terminar el proyecto con un valor cercano a 87%. Esto nos indica que los recursos no se están utilizando de manera eficiente, se está produciendo un sobre-coste.

Sin embargo, el índice de desempeño del tiempo refleja resultados muy diferentes. Este índice parte de un valor al 0%, pero a medida que avanza el proyecto experimenta una subida entre la etapa 2 y 3, consolidándose en el 100% en la etapa final. Recordemos que, para este índice, al igual que el anterior, el valor deseado es 1. A lo largo del proyecto no se está cumpliendo de manera eficiente la planificación, el proyecto va retrasado hasta alcanzar que los recursos se utilizasen de acuerdo con lo planificado.

Calculamos los valores relativos del CV y del SV en la tercera etapa del proyecto, para mostrar así, el porcentaje de lo retrasado que podemos ir respecto al tiempo y cuanto se ha excedido en el presupuesto.

$$CV(\%) = \frac{CV}{EV} \times 100 = \frac{6.657.235,98 \$}{44.339.881,67 \$} \times 100 = 15,01\%$$

Este valor refleja que el proyecto va con un 15,01% de sobrecoste en este momento.

$$SV(\%) = \frac{SV}{PV} \times 100 = \frac{-362.733,14 \$}{44.702.614,81 \$} \times 100 = -0,81\%$$

Este valor indica que va con un -0,81% de retraso en el tiempo.

A continuación, se muestra la tabla donde se reflejan todas las variaciones en el tiempo y en los costes a lo largo del proyecto. Se puede ver cómo evoluciona esta parte del proyecto.

| Compras Mecánico           | SV(%)=SV / PV        | Evolución SV | CV(%)=CV / EV        | Evolución CV  |
|----------------------------|----------------------|--------------|----------------------|---------------|
|                            | Valor relativo de SV |              | Valor relativo de CV |               |
| Etapa 1. Inicio            |                      | -            |                      | -             |
| Etapa 2. A los 7 meses     | -11,94%              | retrasado    | -2,48%               | más económico |
| Etapa 3. A los 14 meses    | -0,81%               | retrasado    | 15,01%               | más caro      |
| Etapa 4. A la finalización | 0,21%                | adelantado   | 15,38%               | más caro      |

Tabla 21: Valores relativos de Variación de Tiempo y Variación de Costes a lo largo del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Calculemos ahora el índice de rendimiento del trabajo por completar y el índice de rendimiento del tiempo por completar.

El índice de rendimiento del trabajo por completar, TCPI, da una idea de cómo debe avanzar para recuperarse de la situación final respecto lo planificado. En la tercera etapa del proyecto presenta estos valores:

$$TCPI = \frac{BAC - EV}{BAC - AC} = \frac{47.924.080,45 \$ - 44.339.881,67 \$}{47.924.080,45 \$ - 50.997.117,66 \$} = -1,17$$

BAC\* con la corrección inicial de la diferencia entre el presupuesto contratado y el presupuesto a realizar.

Este índice nos revela que es -117% más eficiente que lo que el proyecto había planificado. Este es un valor que tenemos que tener en cuenta en el proyecto, ya que si el BAC no se le hubiese aplicado la corrección al ser una partida para la que tenemos asumidas unas pérdidas, este valor sería otro. El resto del proyecto tiene margen para posibles desviaciones, pudiendo tener posibles excesos

Podemos ver en la siguiente tabla como este índice se muestra en decrecimiento a lo largo de las etapas.

| Compras Mecánico           | TCPI<br>Índice de rendimiento del trabajo por completar (en costes) |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Etapa 1. Inicio            | 100%                                                                |
| Etapa 2. A los 7 meses     | 98%                                                                 |
| Etapa 3. A los 14 meses    | -117%                                                               |
| Etapa 4. A la finalización |                                                                     |

Tabla 22: Evolución del Índice de rendimiento del trabajo por completar respecto a los costes a lo largo del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

El índice de rendimiento del trabajo por completar, TSPI, da una idea de cómo debe avanzar para recuperarse de la situación final respecto el tiempo.

$$TSPI = \frac{BAC - EV}{BAC - PV} = \frac{47.924.080,45 \$ - 44.339.881,67 \$}{47.924.080,45 \$ - 44.702.614,81 \$} = 1,11$$

BAC\* con la corrección inicial de la diferencia entre el presupuesto contratado y el presupuesto a realizar.

Este valor de 1,11 para este índice nos quiere decir que se debe ser un 111% más eficiente de lo que lo estamos siendo actualmente con respecto a la gestión del tiempo disponible para la realización del proyecto, es decir, para conseguir acabar el proyecto según lo planificado inicialmente en el tiempo.

Podemos ver en la siguiente tabla como este índice se muestra en crecimiento a lo largo de las etapas.

| Compras Mecánico           | TSPI                                                        |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                            | Índice de rendimiento del trabajo por completar (en tiempo) |
| Etapa 1. Inicio            | 102%                                                        |
| Etapa 2. A los 7 meses     | 111%                                                        |
| Etapa 3. A los 14 meses    | 111%                                                        |
| Etapa 4. A la finalización |                                                             |

Tabla 23: Evolución del Índice de rendimiento del trabajo por completar respecto al tiempo a lo largo del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar el estudio de la partida de compras mecánicas, vamos a realizar el cálculo de las proyecciones del coste total en el que se incurre hasta la conclusión del proyecto, o en inglés Estimate to Complete, ETC, y el coste restante hasta la conclusión del proyecto, Estimate at Completion. También vamos a calcular el VAC, Variance at Complete. Como ya hemos comentado, existen diversos métodos para calcular estas estimaciones.

- Proyección de coste según el presupuesto inicial:

$$EAC = AC + BAC - EV$$

$$ETC = EAC - AC$$

$$VAC = BAC - EAC$$

BAC\* con la corrección inicial.

Realizamos todos los cálculos para las 4 etapas del proyecto. Estas estimaciones se recogerán en la tabla siguiente:

| Compras Mecánico        | EAC                                      | ETC                                                        | VAC                                         |
|-------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|                         | Estimate at complete.<br>Cierre estimado | Estimate to complete.<br>Coste estimado para lo que queda. | Variance to complete.<br>Variación al final |
| Etapa 1. Inicio         | \$ 46.956.305,70                         | \$ 46.956.305,70                                           | \$ -                                        |
| Etapa 2. A los 7 meses  | \$ 47.287.923,94                         | \$ 27.964.436,83                                           | \$ 492.154,15                               |
| Etapa 3. A los 14 meses | \$ 54.581.316,44                         | \$ 3.584.198,78                                            | \$ -6.657.235,99                            |

Tabla 24: Estimación de la proyección según presupuesto inicial.

Fuente: Elaboración propia.



En esta estimación independientemente de si estamos por encima o por debajo del presupuesto, gastando más o menos de lo planificado y sin tener en cuenta como de eficiente somos en la gestión de los costes, el trabajo restante se realizará según los costes que se habían planificado en un principio.

- Proyección de coste según CPI:

$$EAC = AC + \frac{BAC - EV}{CPI}$$

$$ETC = EAC - AC$$

$$VAC = BAC - EAC$$

BAC\* con la corrección inicial.

En la siguiente tabla se recogerá el cálculo durante las etapas.

| Compras Mecánico        | EAC<br>Estimate at complete.<br>Cierre estimado | ETC<br>Estimate to complete.<br>Coste estimado para lo que queda. | VAC<br>Variance to complete.<br>Variación al final |
|-------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Etapa 1. Inicio         | \$ -                                            | \$ -                                                              | \$ 46.956.305,70                                   |
| Etapa 2. A los 7 meses  | \$ 46.593.381,01                                | \$ 27.269.893,90                                                  | \$ 1.186.697,08                                    |
| Etapa 3. A los 14 meses | \$ 55.119.451,78                                | \$ 4.122.334,12                                                   | \$ -7.195.371,33                                   |

Tabla 25: Estimación de la proyección de coste según el Índice de Desempeño de Coste.

Fuente: Elaboración propia.

En esta estimación de los costes restantes, se realiza teniendo en cuenta la eficiencia en los costes del trabajo que llevamos realizado. Por ello, se utiliza el CPI de la fecha de control.

Recordemos que este índice era menor a la unidad, y por tanto esta estimación del presupuesto es mayor que la estimación anterior, que se realizó según el presupuesto inicial, es decir, como si hubiésemos tomado un CPI igual a la unidad.

- Proyección de coste según índice CPI Y SPI:

$$EAC = AC + \frac{BAC - EV}{CPI \times SPI}$$

$$ETC = EAC - AC$$

$$VAC = BAC - EAC$$

BAC\* con la corrección inicial.

A continuación, se muestran los valores obtenidos en la tabla:

| Compras Mecánico        | EAC<br>Estimate at complete.<br>Cierre estimado | ETC<br>Estimate to complete.<br>Coste estimado para lo que<br>queda. | VAC<br>Variance to complete.<br>Variación al final |
|-------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Etapa 1. Inicio         | \$ -                                            | \$ -                                                                 | \$ 46.956.305,70                                   |
| Etapa 2. A los 7 meses  | \$ 50.289.932,67                                | \$ 30.966.445,56                                                     | \$ -2.509.854,58                                   |
| Etapa 3. A los 14 meses | \$ 55.153.175,53                                | \$ 4.156.057,87                                                      | \$ -7.229.095,08                                   |

Tabla 26: Estimación de la proyección de coste según los Índices de Desempeño en Coste y Tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

Para esta estimación, se tienen en cuenta tanto el CPI como el SPI, es decir se tiene en cuenta tanto la eficiencia en los costes como en la gestión del tiempo.

Podríamos decir que lo que realmente se hace es traducir la ineficiencia en la gestión del tiempo, en un sobrecoste. Esta interpretación se puede defender desde la postura de que el director del proyecto decida que va a invertir recursos, que incurrirán en un mayor coste, para contrarrestar este retraso en el tiempo.

Una vez recogido todos los datos para la partida de compras mecánicas podemos llegar a la conclusión de que los resultados obtenidos no han sido favorables para el proyecto. El principal problema comienza cuando al final de la primera etapa se realiza todo este análisis comentado anteriormente y se ve como presenta un retraso en el trabajo ya considerable para solo llevar 7 meses del proyecto.

A partir del primer momento en el que se visualiza a través del análisis del valor ganado que el proyecto va retrasado, se toma la decisión de corregir el problema. Para ello se contrata más personal y se agiliza la compra del material.

Esto se ve reflejado como el coste adjudicado en la segunda etapa ya está para todo el material mecánico necesario en obra. A partir de esta etapa se observa que el coste que empezamos a presentar es mayor que el planificado, por tanto, estamos presentando pérdidas en el proyecto. Aun así, el proyecto sigue dando unos índices de retraso en la planificación. Es un problema serio para el proyecto ya que no pueden corregir ese retraso con lo que vuelven a tomar otra decisión, como es, la de contratar el material a otro proveedor con una fecha de entrega del material antes del proveedor contratado. Esto va a suponer un gran coste para el proyecto.

Como se espera en la tercera etapa los costes han superado en gran medida a los esperados y esto es causa de esa decisión y del coste del personal contratado para la recuperación del retraso. A partir de la etapa 3 el proyecto en su análisis ya presenta una variación en el tiempo positivo, y por tanto ya no va retrasado en su planificación en el tiempo. Pero esto hace que el coste del proyecto se eleve a gran cantidad según el coste presupuestado.

El análisis termina con la conclusión de que las decisiones tomadas, según los valores que iban reflejando cada etapa, ha sido correcta para cumplir los plazos en tiempo, pero no ha sido suficiente para los costes (conociendo que asumíamos unas pérdidas desde el origen).



## 5 CONCLUSIONES

---

Como conclusión del trabajo se expone un análisis general del proyecto de una planta desaladora evaluado con la metodología de EVM (Análisis del Valor Ganado), un resumen de las valoraciones obtenidas y las propuestas a tener en cuenta en futuros proyectos para mejorar los principales puntos problemáticos encontrados.

El análisis del valor ganado (EVM) sirve al director del proyecto y a todo su equipo para evaluar y medir el rendimiento y avance del proyecto. Además, les permite contrastar los resultados obtenidos en cada medición realizada con la planificación que se había realizado.

En este proyecto se ha podido comprobar como la planificación no se ha cumplido correctamente y esto tiene como consecuencia un sobre coste económico en importantes bloques que forman parte del proyecto como la construcción y las compras.

La forma de solucionar los desvíos de esta planificación ha sido posible gracias al empleo de la metodología EVM. Desde la primera etapa se ha recogido medidas que posteriormente se han tenido que ir implementando en las otras etapas para poder corregir los problemas encontrados. Estas desviaciones son puestas de manifiesto por la metodología del análisis del valor ganado EVM. Sin estos valores encontrados o calculados hubiese continuado la ejecución de la obra en la dirección incorrecta, suponiendo un elevado coste y un retraso en la fecha de finalización de la desaladora.

Los grandes problemas encontrados del proyecto se pueden agrupar en 3 puntos o fases. En el primer punto analizado se encuentra una de las primeras fases de la obra: la compra de material. Este material iba a ser comprado según las cantidades que la oferta suponía, pero que finalmente ha resultado ser cantidades más del doble de lo previsto. Principalmente destaca la compra del HVAC, en inglés se llama Heating,

Ventilating and Air Conditioning, en la que su oferta inicial fue la mitad del presupuesto final. La estimación de la compra de la climatización para toda la urbanización era aproximadamente de los 3 millones de dólares y acabó siendo casi 7 millones.

Otro punto o fase cuyo desarrollo ha resultado ser perjudicial para los objetivos del proyecto es el bloque de construcción. Es el bloque que más sobre coste ha tenido en el conjunto del proyecto, y por lo tanto suponía la pérdida de gran parte del beneficio de la obra. La construcción no cumplió con la planificación inicial y para poder alcanzar dichas fechas previstas se ha tenido que ampliar el personal y el número de las empresas subcontratistas para finalizar las tareas.

Por último, el tercer gran problema del proyecto es el coste indirecto. El proyecto como se ha puesto de manifiesto en el análisis detallado la figura SPI ha ido con retraso en la planificación y como consecuencia ha sido necesario utilizar más personal no incluidos en los costes directos de ejecución de las unidades de obra del proyecto. Esto implica que el bloque de costes indirectos haya sufrido un aumento del coste que no había sido repercutido al coste total al comienzo del proyecto.

Estos tres puntos, desvíos en compra de material, retrasos en la construcción e incrementos de costes indirectos, son los problemas más importantes que ha tenido el director del proyecto y por los que el proyecto ha obtenido unos resultados parciales económicos desfavorables que no se podían seguir manteniendo hasta el final.

Para la mejora de estos desvíos o problemas de estos tres puntos, después del análisis que resulta de aplicar la metodología EVM se puede valorar tener en cuenta los siguientes cambios de condiciones. Es muy importante a la hora de comenzar el proyecto afinar mucho más la oferta, realizar un estudio más exhaustivo de la oferta que se realiza sobre el proyecto desde el punto de vista técnico y económico. Aunque la gran pérdida del beneficio económico de un bloque sea por el elevado coste de la compra de un determinado material, este problema se repite en muchas más compras y, por tanto, produce un sobre coste total mayor. Sobre este asunto el director del proyecto debe actualizar sus precios unitarios de materiales antes de cerrar la oferta del proyecto o de realizar las compras, con precios más ajustados a la realidad.

Otro punto importante de mejora que se puede llevar a cabo es sobre la planificación del proyecto. No se ha cumplido la planificación prevista desde la segunda etapa y después del estudio se puede concluir que una replanificación se debería de haber realizado antes para obtener un mejor resultado en el seguimiento del proyecto. La causa de este incumplimiento de la planificación se debe a los tiempos asignados a la realización para las tareas. Se planifica unos tiempos con una duración determinada para la ejecución de las tareas y no se consigue finalizar en las fechas previstas. Como consecuencia se producen retrasos en las demás actividades. El director del proyecto tomó una medida importante al finalizar el estudio de la primera etapa y a partir de ahí esta planificación fue mejorando en todos los bloques de las siguientes etapas, hasta conseguir cumplir la fecha prevista. Pero todo esto se pudo llevar a cabo contratando de forma adicional material y personas que no estaban previstas en el presupuesto inicialmente.

En el estudio realizado en el presente trabajo se puede observar en los cálculos y las gráficas recogidos que desde el inicio del proyecto hay sobrecostos por trabajos no realizados en su planificación y por fallos en la oferta realizada del proyecto en la fase de licitación.

Una vez finalizado el proyecto, este análisis realizado se propone para que se tome en consideración su aplicación desde el inicio en futuros proyectos de desaladoras. Así se evitará no cometer los mismos errores y poder obtener mayores beneficios desde el punto de vista económico y de cumplimiento de plazo.





## REFERENCIAS

---

- Alsina, J. (s.f.). *Gestión de Valor Ganado “EVM” para Control de Proyectos*. Obtenido de Líder de proyecto: [http://www.liderdeproyecto.com/evm/4\\_tecnica\\_EVM\\_tres\\_variables\\_EVM.html](http://www.liderdeproyecto.com/evm/4_tecnica_EVM_tres_variables_EVM.html)
- Aston, B. (01 de 11 de 2019). *The digital project manager*. Recuperado el 2020, de <https://thedigitalprojectmanager.com/es/ciclo-de-vida-gestion-proyectos/>
- Berigüete de León, A. (2011). *Escuela de Organización Industrial*. Recuperado el 2020, de <https://www.eoi.es/blogs/awildacarolinaberiguete/2011/12/16/actividades-de-la-gestion-de-proyectos-iniciacion-planificacion-ejecucion-control-y-cierre/>
- Fleming, Q. W., & Koppelman, J. M. (2016). *Earned value project management*. Project Management Institute. Project Management Institute.
- Gerens Escuela de Portgrado. (02 de 08 de 2018). *Gerens*. Recuperado el 2020, de <https://gerens.pe/blog/fases-ciclo-vida-gestion-proyectos/>
- Henderson, K. &. (2006). *Earned schedule: An emerging enhancement to earned value management*. *Crosstalk, Journal of defense software engineering*, p26- 30.
- Henderson, K. (2004). Further developments in earned schedule. *The measurable news*, 15-22.
- Henderson, K., & Lipke, W. (2006). *Earned schedule: An emerging enhancement to earned value management*.
- ICEX, I. (2007). *La desalinización en España*. Recuperado el 1 de 2007, de <https://www.acuamed.es/media/publicaciones/desalinizacion-en-espana.pdf>
- Koch, L. D. (junio de 2013). *Escuela de Organización Industrial*. Recuperado el octubre de 2020, de <https://www.eoi.es/blogs/meerron/2013/06/10/algunos-aspectos-sobre-metodo-evm-gestion-del-valor-ganado/>
- Lipke, W. (2003). Schedule is different. *The Measurable News*, 31-34.
- Lipke, W. (2004). Connecting earned value to the schedule. *The Measurable News*, 6-16.
- Lipke, W. (2006). *Applying earned schedule to critical path analysis and more*. *The Measurable News*, (4), 1-8.
- Lipke, W. (2008). Schedule adherence: A useful measure for project management. *CrossTalk*, 14-18.
- Lipke, W. (2011). Earned schedule application to small projects. *PM World Today*, 1-12.
- Lipke, W. (2012). *Earned Schedule Contribution to Project Management*.
- Lipke, W. (2013). Earned schedule-ten years after. *The Measurable News*, 15-21.

- Lipke, W., Zwikael, O., Henderson, K., & Anbari, F. T. (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.
- López Márquez, C. (2016). *Trabajo Fin de Grado. Aplicación del Análisis del Valor Ganado en distintos escenarios*. Sevilla: Universidad de Sevilla. Recuperado el 2016, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90805/fichero/Carlos+L%C3%B3pez+M%C3%A1rquez+TFG1.pdf>
- Project Management Institute. (2005). *Practice Standard for Earned Value Management*.
- Project Management Institute. (2017). *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*.
- Vandevoorde, S., & Vanhoucke, M. (2006). A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics. *International Journal of Project Management*, 24(4), 289-302. *International Journal of Project Management. Vol 24. Issue 4, 289-302.*

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

---

AC = ACWP: Actual Cost of Work Performed (Coste Real del Trabajo Realizado)

AEPnet: Producción de Energía neta Anual

AT: Actual Time (Tiempo real)

BAC = CPF: Coste Presupuestado al Finalizar

BPE: Boiling Point Elevation (Ascenso ebulloscópico)

C/SCSC: Cost/Schedule Control Systems Criteria

CAdj: Coste Adjudicado

CIEMAT: Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas

CPI = IRC: Índice de Desempeño del Tiempo de Costes

CV = VC: Variación del Coste

DoD: Departamento de Defensa

EAC = CEF: Estimate at complete (Coste Estimado al Finalizar)

ED: Electrodialysis (Electrodialísis)

ES: Earned Schedule (Programación Ganada)

ETC: Estimate to complete (Coste estimado para lo que queda)

EV = BCWP: Budget Cost of Work Performed (Coste Presupuestado del Trabajo Realizado)

EVj: Valor ganado en tiempo actual

EVM: Earned Value Management (Gestión del Valor Ganado)

FO: Forward osmosis (Ósmosis forzada)

HVAC: Heating, Ventilating and Air Conditioning

ICC: Installed Capital Cost (Coste de capital instalado)

IEAC: Instituto de Estadística Aplicada y Computación

LCOE: Levelized Costo of Electricity (Coste de generación de electricidad)

LMTD: Diferencia de Temperaturas Media Logarítmica

MCV: Compresión mecánica de vapor

MED: Multi Effect Distillation (Destilación por múltiple efecto)

MSF: Multi Stage Flash Distillation (Destilación por expansión múltiples)

MVC: Mechanical Vapor Compression (Compresión mecánica de vapor)

O&M: Coste de Operación y Mantenimiento

OI: Ósmosis inversa

OMS: Organización mundial de la salud

PMBOK: Project Management Body of Knowledge

PMI: Project Management Institute

PV = BCWS: Budget Cost of Work Scheduled (Coste Presupuestado del Trabajo Planificado)

PV: Photovoltaic (Fotovoltaica)

PVj: Valor planificado para las tareas asociadas con la programación ganada

RO: Reverse osmosis (ósmosis inversa)

SBS: Bisulfito de sodio

SDI: Silt Density Index (Índice de densidad de sedimentos)

SPI = IRP: Índice de Desempeño del Tiempo de Plazo

SV = VP: Variación de la Programación

TCPI = IRPC: Índice de Desempeño del Tiempo para Completar

TCV: Compresión térmica de vapor

TSD: Total de sólidos disueltos

TSPI: Índice de rendimiento del trabajo por completar (en tiempo)

TVC: Thermal Vapor Compression (Compresión térmica de vapor)

VAC: Variance to complete (Variación a la finalización)

WBS: Work Breakdown Structure (EDT Estructura de Descomposición del Trabajo)