

Contenido

GLOSARIO	5
ÍNDICE DE IMÁGENES	7
ÍNDICE DE GRÁFICAS	9
ÍNDICE DE TABLAS	10
1. RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	13
2. MARCO REFERENCIAL	17
2.1. MARCO TEÓRICO	17
2.1.2. Calendario de Ejecución (PMS)	12
2.1.3. Costo presupuestado del trabajo planificado (BCWS) o valor planificado (PV)	12
2.1.4. Costo presupuestado del trabajo realizado (BCWP) o valor ganado (EV)	12
2.1.5. Valor Planificado (PV)	13
2.1.6. Costo Real (AC)	13
2.1.7. Valor Ganado (EV)	13
2.1.8. Variación del cronograma (SV)	14
2.1.9. Variación del costo (CV)	15
2.1.10. Índice de desempeño del cronograma (SPI)	16
2.1.11. Índice de desempeño del costo (CPI)	17
2.1.12. Programación Ganada (ES)	19
2.1.13. Duración Ganada (ED)	21
2.2. ESTADO DEL ARTE	27
2.3. ANTECEDENTES	30
3. OBJETIVOS	31

3.1.	OBJETIVO GENERAL	31
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
4.	ALCANCE	32
5.	METODOLOGÍA	34
5.1.	TIPOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y DATOS	34
5.2.	TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA	34
5.3.	TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN PRIMARIA	35
5.4.	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS	37
6.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	41
6.1.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO	41
6.2.	PROTOCOLO DE RECOLECCION DE LA INFORMACION	45
6.3.	PROGRESO DEL PROYECTO Y OBSERVACIONES	49
7.	CONCLUSIONES	87
8.	RECOMENDACIONES	89
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

GLOSARIO

- **Actual Value o Costo Real (AC):** Costo incurrido por el trabajo llevado a cabo en una actividad durante un período de tiempo específico.
- **Actual Duration o Duración Real (AD):** Es el tiempo real en el que se termina una tarea o actividad, se aplica para ED.
- **Actual Time o Tiempo Real (AT):** Es el tiempo real en el que se termina una tarea o actividad, se aplica para EVM y ES.
- **Duration Performance Index o Índice de Desempeño de la Duración (DPI):** Definido como una medida de eficiencia de la duración que se expresa como la razón entre la Duración Ganada (ED) y la Duración Real (AD).
- **Earned Duration o Duración Ganada (ED):** El concepto de duración ganada se creó para abordar las deficiencias de ES debido al uso de datos basados en los costos como aproximaciones para evaluar el rendimiento del cronograma de los proyectos. Su fundamento radica en el uso exclusivo de los datos basados en el tiempo para la generación de indicadores de progreso físico.
- **Earned Schedule o Programación Ganada (ES):** La idea de la Programación Ganada es análoga a la del valor ganado. Sin embargo, en lugar de utilizar el costo para medir el desempeño en el cronograma, se usa el tiempo.
- **Earned Value o Valor Ganado (EV):** Es el presupuesto asociado con el trabajo autorizado que se ha completado. El EV medido debe corresponderse con el de la Línea Base y no puede ser mayor que el presupuesto aprobado del PV para un componente.
- **Planned Value o Valor Planeado (PV):** Es el valor total presupuestado por actividad, por unidad de tiempo o por proyecto.
- **Schedule Performance Index o Índice de Desempeño del Cronograma (SPI):** Es una medida de eficiencia del cronograma que se expresa como la razón entre el valor ganado y el valor planificado, el SPI refleja la medida de la eficiencia con que el equipo del proyecto está utilizando su tiempo.
- **Schedule Performance Index for Earned Schedule o Índice de Desempeño del**

Cronograma para Programación Ganada ($SPI_{(t)}$): Es una medida de eficiencia del cronograma que se expresa como la razón entre la Programación Ganada y el Tiempo Real (AT), el $SPI(t)$ refleja la medida de la eficiencia con que el equipo del proyecto está utilizando su tiempo.

ÍNDICE DE IMÁGENES

- Imagen 1. Parámetros de la Gerencia de Proyectos. <http://hablemosobregestiondeproyectos.blogspot.com.co/2015/10/las-7-restricciones-de-la-gestion-de.html>
- Imagen 2. Estructura de Desglose del Trabajo. Recuperado de: <https://formulaproyectosurbanospmipe.wordpress.com/2012/05/09/tema-n-5-la-estructura-de-desglose-del-trabajo-edt-segun-la-guia-del-pmbok-30-04-2012-sesion-10-segunda-parte/>
- Imagen 3. Calendario de Ejecución. Autores
- Imagen 4. Localización del caso de estudio. Google Maps
- Imagen 5. Tabla usada en el EVM como herramienta de aplicación de esta teoría
- Imagen 6. Tabla usada para recopilar la planeación del proyecto. Fuente: Autores
- Imagen 7. Hoja de cálculo para las variables de EV y ES. Fuente: Autores
- Imagen 8. Tabla usada para el cálculo de las variables de ED. Fuente: Autores
- Imagen 9. Proceso de retraso de un proyecto. Autores
- Imagen 10. Fotos de la obra en ejecución "La Milagrosa". Fuente: Firma Edgard Marín
- Imagen 11. Plano - planta de la bodega "Refugio la Milagrosa" (modelo CAD). Fuente: Firma Edgard Marín
- Imagen 12. Bitácora de Obra "Refugio la Milagrosa" días 30 de septiembre y 1 de octubre
- Imagen 13. Una parte del cronograma de actividades planeadas, anteriormente mencionado en la tabla 5
- Imagen 14. Ilustración de formato de presupuestos entregado por la firma Edgard Marín al grupo investigador
- Imagen 15. cantidades de obra alcanzadas cada día para cada actividad. Proyecto "Refugio La Milagrosa". Fuente: Autores

- Imagen 16. Representación de la tabla usada para la aplicación de la teoría ED, proyecto La Milagrosa. Fuente: Autores
- Imagen 17. Valores calculados de ES a través de un ejemplo. Fuente: Autores
- Imagen 18. Sección de la tabla mencionada, para las semanas 12, 13, 14 y 15. Fuente: Autores
- Imagen 19. Formato de recolección de duración ganada, usada como ejemplo. Fuente: Autores
- Imagen 20. Valores relacionados de SPI, SPI(t) y DPI para el proyecto La Milagrosa. Fuente: Autores

ÍNDICE DE GRÁFICAS

- Gráfica 1. Valor Presupuestado, Valor Real y Valor Ganado.
<http://vehrka.github.io/pmi-vc-curso-pm-ong/img/evm.svg>
- Gráfica 2. Variación de los Costos.
<http://www.ducatiperformanceparts.net/photographyzym/earned-value-management>
- Gráfica 3. Variaciones del tiempo (SV) y del costo (CV) – Nota: La terminación de este proyecto fue programada para el 2 de enero, pero fue completado el 2 de abril. Schedule is Different.
- Gráfica 4. Índices de desempeño del costo (CPI) y el tiempo (SPI). Schedule is Different.
- Gráfica 5. Programación Ganada. Schedule Is Different.
- Gráfico 6. Métricas de EVM/ES del proyecto ejemplo. Introduction to Earned Duration.
- Gráfica 7. Semejanza de cálculo entre el ES y el ED. Introduction to Earned Duration.
- Gráfica 8. Ejemplo ilustrativo de la gráfica anteriormente mencionada. Autores.
- Gráfica 9. Ejemplo de posibles puntos donde se presentan cambios negativos. Autores.
- Gráfica 10. progreso total planeado y real del proyecto “Refugio la Milagrosa”. Fuente: Autores
- Gráfica 11. Costos del proyecto "Refugio la Milagrosa", planeados y reales. Fuente: Autores
- Gráfica 12. Valores acumulados de APV, AC y EV como imagen del desarrollo del proyecto. Fuente: Autores
- Gráfica 13. Valores de SPI en funciones de las semanas recorridas. Fuente: Autores
- Gráfica 14. Valores de SPI(t) en función del tiempo. Fuente: Autores
- Gráfica 15. Duraciones acumuladas para PD, ED y AD en relación a días de ejecución totales. Fuente: Autores
- Gráfica 16. Valores de DPI en relación a los días ejecutados del proyecto. Fuente: Autores

- Grafica 17. Valores de EDI en relación a los días ejecutados del proyecto. Fuente: Autores

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Métricas del EVM de un proyecto ejemplo. Introduction to Earned Duration
- Tabla 2. Diagrama de Gantt del proyecto ejemplo. Introduction to Earned Duration
- Tabla 3. Métricas EDM para un proyecto ejemplo. Introduction to Earned Duration.
- Tabla 4. Equivalencia de índices entre teorías. Introduction to Earned Duration
- Tabla 5. Actividades planeadas del proyecto. Fuente: Cronograma suministrado por el director de la obra
- Tabla 6. Progreso general de las actividades del proyecto “Refugio La Milagrosa”. Fuente: Autores
- Tabla 7. Progreso de los costos semanales, planificado y real, acumulados.
- Tabla 8. Valor ganado de cada semana y su valor acumulado, proyecto La Milagrosa. Fuente: Autores
- Tabla 9. Índices de desempeño CPI y SPI, proyecto "La Milagrosa". Fuente: Autores
- Tabla 10. Programación ganada de cada semana y su valor acumulado, proyecto La Milagrosa. Fuente: Autores
- Tabla 11. Valores de $SV(t)$ y $SPI(t)$, proyecto La Milagrosa. Fuente: Autores
- Tabla 12. Valores de PD, ED y AD, en cada semana, del proyecto La Milagrosa. Fuente: Autores

1. RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo la aplicación de las teorías de Earned Value Management (EVM), Earned Schedule (ES) y Earned Duration (ED) y el análisis de sus variables e índices de desempeño del tiempo, en el proyecto Refugio La Milagrosa como caso de estudio en la ciudad de Cartagena. La manera como se logró cumplir con este objetivo fue a través de una recopilación organizada de la información relevante del proyecto La Milagrosa, suministrada por el equipo constructor de la empresa EDGARD MARÍN TÁMARA. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN, el uso de hojas de cálculo para obtener los valores de estas variables e índices, la construcción de graficas que ilustraron su comportamiento, y la generación de preguntas en relación a los índices Schedule Perfomance Index, (SPI), Schedule Perfomance Index (para ES) [SPI(t)] y Duration Perfomance Index (DPI) y las variables de las que estos dependen. Una actividad adicional fue la de encontrar qué factores a lo largo del desarrollo del proyecto fueron claves para la generación de retrasos, en relación al cronograma de 9 semanas inicialmente planeado. Como resultado de la investigación, se evidenció una alta dependencia entre los índices SPI y SPI(t) con los valores de la variable EV junto con los de la variable Accumulated Planned Value (APV), y respecto a la posibilidad del índice Earned Duration Index (EDI) de predecir el retraso final en duraciones, EDI resultó ser mejor para la generación de indicios de retraso que el índice DPI. La conclusión central de la aplicación de las teorías EV, ES Y ED, fue que, al mejorar sustancialmente, tanto la planeación de las duraciones de las actividades como el progreso alcanzado cada semana, y restringiendo el uso del presupuesto planificado, es posible mejorar de manera general todos los índices de desempeño del tiempo.

ABSTRACT

The objective of this research was to apply the Earned Value Management (EVM), Earned Schedule (ES) and Earned Duration (ED) theories and the analysis of its variables and time performance indices, in the La Milagrosa Refuge project as a case of study in the city of Cartagena. The way they managed to meet this objective was through an organized compilation of the relevant information of the La Milagrosa project, provided by the construction team of the company EDGARD MARÍN TÁMARA. DESIGN AND CONSTRUCTION, the use of Excel spreadsheets to obtain the values of these variables and indices, the construction of graphs that illustrated their behavior, and the generation of questions in relation to the Schedule Performance Index, (SPI), Schedule Performance Index (for ES) [SPI (t)] and Duration Performance Index (DPI) and the variables on which they depend. An additional activity was to find what factors throughout the development of the project were key to the generation of delays, in relation to the initially planned 9-week schedule. As a result of the research, there was a high dependence between the SPI and SPI (t) indices with the values of the EV variable together with those of the Accumulated Planned Value (APV) variable, and regarding the possibility of the Earned Duration Index (EDI) to predict the final delay in durations, EDI turned out to be better for the generation of indications of delay than the DPI index. The main conclusion of the application of the theories EV, ES and ED, was that, by substantially improving both the planning of the durations of the activities and the progress made each week, and restricting the use of the planned budget; it is possible to improve in a general all time performance indices.

INTRODUCCIÓN

Los lineamientos del Compendio del Saber de la Gestión de Proyectos (en adelante, PMBOK, por sus siglas en inglés) establecen una serie de estándares, pautas y normas definidas por el Project Management Institute (PMI, en adelante) para la gestión de proyectos. En obras de construcción civil, la Gestión del Valor Ganado (EVM, en adelante) permite hacer seguimiento al presupuesto y a la ejecución del cronograma; pero, ambos se basan sólo en los costos, lo cual no proporciona una estimación exacta del desempeño de la duración de un proyecto (Fannon, 2010).

Teniendo conocimiento de las falencias en la EVM con respecto a los índices de desempeño de tiempo, se han desarrollado y publicado nuevas técnicas que buscan refinar y dar solución a la problemática mencionada, entre las cuales se destacan la Programación Ganada (ES, en adelante) (Lipke, 2005), que brinda una mejora al proceso de estimación del tiempo; y la Duración Ganada (EDM) (Vanhoucke, 2015), que redefine los índices de desempeño de las duraciones en un proyecto.

A nivel local, en el año 2016 se realizó un análisis comparativo teórico entre la EVM, ES y EDM (Buelvas, 2016), obteniendo como resultado diferencias en el cálculo de la ruta crítica, lo cual representa potenciales retrasos en la ejecución de proyectos que utilicen EVM frente a las otras técnicas. Para lograr el éxito en un proyecto, es fundamental que el director del mismo tenga la capacidad de tomar decisiones correctas en el momento pertinente y para conseguirlo debe contar con información clara, confiable y actualizada sobre el progreso o avance del proyecto. De igual forma, es importante proporcionar información precisa a los interesados en el proyecto. En la ejecución de proyectos de construcción, es necesario realizar un control riguroso sobre la misma en cuanto a lo que se refiere a estos puntos.

La importancia de la implementación de la Metodología del Valor Ganado, responde a una necesidad en la consolidación de criterios, evitando la toma de decisiones de forma sesgada o independiente en cuanto a lo que se refiere al tiempo y costo. (Morales, 2016).

La gestión del valor ganado es una metodología que permite medir el rendimiento del proyecto, haciendo un análisis de variación y de tendencia de ciertos índices que pueden evidenciar sobrecostos o retrasos en su programación, monitoreando las dimensiones principales para cada actividad, paquete de trabajo o fase; ya que sus resultados indican cuál es la desviación potencial del proyecto de las líneas de base del cronograma y de los costos.

Los principios del EVM son aplicables a todos los proyectos, en cualquier industria. (Olarte, 2014). Para proyectos de construcción, específicamente, estas teorías constituyen un valor agregado valioso, ya que ofrecen un resultado práctico, en materia de generación indicios prematuros de cualquier retraso que se estuviese presentando, con lo cual se permite un análisis de su desempeño durante su desarrollo.

La teoría EVM constituye una técnica de análisis que interrelaciona lo planeado, el trabajo efectivamente realizado (ganado) y los costos reales del proyecto, comparando la cantidad de trabajo en un momento dado con una estimación previamente realizada, obteniendo así las variaciones en el presupuesto y el cronograma.

EVM, es el estándar para medir el desempeño del cronograma y del costo en un proyecto. Un refinamiento de esta técnica básica se enfoca en el trabajo en curso (WIP, Work In Progress), que ayuda a los directores de proyecto a entender mejor el desempeño del cronograma. EVM, usa un acumulado del valor (monetario) del trabajo realizado para medir el desempeño del cronograma respecto del plan original (o la línea base). Usando las actividades del trabajo en curso, EVM se enfoca mucho más en lo que está ocurriendo actualmente en relación al desempeño del cronograma del proyecto. (Fannon, 2010).

Sabiendo que la teoría EVM plantea un sistema único de seguimiento al presupuesto y cronograma en función de los costos del proyecto, se ha evidenciado cierta falencia que hace parecer que todos los proyectos, sin excepción, son completados a tiempo (sin retrasos, tal como se planeó) (Lipke, 2005).

A raíz de este inconveniente, dos nuevos postulados -la *Gestión de Programación Ganada*

(Earned Schedule Management, ES) (Lipke, 2005) y la *Gestión de Duración Ganada* (Earned Duration Management, EDM) (Vanhoucke, 2015), fueron presentados con el propósito de realizar una correcta empleabilidad de la variable tiempo en el cronograma de un proyecto y complementar la tan utilizada teoría EVM.

Muy a pesar de las mejoras presentes en los planteamientos de las teorías ES y EDM respecto a la gestión del tiempo, hasta el momento no se ha considerado su aplicación en obras de construcción e ingeniería civil, lo que puede deberse a una falta de familiaridad generalizada de su uso para este tipo de proyectos. Por esta razón se hace necesario preguntarse: ¿Que comportamiento presentan estos índices de desempeño del tiempo al ser aplicados en un proyecto de construcción y qué factores (técnicos, gerenciales o climáticos) afectan negativamente su comportamiento, en función de posibles retrasos?

La respuesta a esta pregunta tiene la capacidad de construir una base investigativa, la cual es un fundamento esencial para la generación confianza y familiaridad en los gerentes de proyectos de construcción respecto a la aplicación de estas teorías. Es por esto que, en la búsqueda por participación en el cumplimiento de este objetivo, la presente investigación seleccionó el proyecto “Refugio La Milagrosa, ubicado en el barrio Zaragocilla de la ciudad de Cartagena, como un caso de estudio, a través del cual fue posible analizar los índices de desempeño para la gestión del tiempo de las teorías ES y EDM frente al modelo EVM.

Esta investigación se encuentra clasificada como tipo mixta, ya que tiene elementos tanto de revisión bibliográfica, como de trabajo de campo. La fase de revisión bibliográfica se evidencia al hacer una recolección de la teoría sobre las teorías EVM, ES y EDM; por otro lado, el elemento de campo se reconoce en el seguimiento diario en tiempo real por parte de uno de los investigadores.

El trabajo de campo, presente en esta investigación, es un elemento de verificación de la literatura actual, como es para el caso de la afirmación del resultado común del índice de desempeño SPI y a su vez, un elemento de ampliación al análisis comparativo llevado a cabo por el gerente de proyectos Javier Buelvas, egresado de la Universidad de Cartagena, el cual no contaba con este elemento de campo.

Las preguntas y respuestas generadas en el análisis de esta investigación, además de las recomendaciones hechas por los autores, pueden ser aplicadas de forma gratuita en otros proyectos de construcción, para los cuales se desee aplicar estas teorías, con el propósito de servir de apoyo y guía durante la recopilación y análisis de los resultados.

Esta investigación pertenece a la línea de investigación Gerencia de Proyectos, que hace parte del grupo de investigación Estructuras, Construcción y Patrimonio (ESCONPAT), de la Universidad de Cartagena.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO

Como primera instancia, para la construcción de un marco teórico que explique las tres teorías objeto de estudio, esto es, la teoría del Valor Ganado, la Programación Ganada y la teoría de la Duración Ganada, es necesario comenzar por establecer un fundamento conceptual que permita una mejor comprensión de estas tres teorías. Siendo estas el resultado de un esfuerzo por mejorar el desempeño en la gerencia de proyectos, vale la pena comenzar definiendo qué es la gerencia de proyectos.

El concepto de “gerencia de proyectos” está compuesto por dos elementos muy importantes, los cuales se mencionarán de forma repetitiva a lo largo de esta propuesta; para definir de forma correcta esta noción se hará un análisis de varios conceptos relacionados, para poder así construir un entendimiento holístico de su significado. Se inicia, pues con la palabra proyecto. ¿Qué es un proyecto?

Según Buchanan y Boddy (1992) “Un proyecto es una empresa o propósito único con un comienzo y un final, dirigido por personas con el fin de alcanzar objetivos establecidos dentro de parámetros de costo, tiempo y calidad”

Según el PMI, Un proyecto es: “un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único” (PMBOK, 2013). La naturaleza temporal de los proyectos implica que tienen un principio y un final definidos. El final se alcanza cuando se logran los objetivos del proyecto, cuando se termina este porque sus objetivos no se cumplirán o no pueden ser cumplidos, o cuando ya no existe la necesidad que dio origen al proyecto. Asimismo, se puede poner fin a un proyecto si el cliente (cliente, patrocinador o líder) desea terminarlo. Que sea temporal no significa necesariamente que la duración del proyecto haya de ser corta. Se refiere a los compromisos del proyecto y a su longevidad. En general, esta cualidad de temporalidad no se aplica al producto, servicio o resultado creado por el proyecto; la mayor parte de los proyectos se emprenden para crear un resultado

duradero.

Con el fin de llevar el proyecto a realizar de la mejor manera posible, se acude a la Gerencia de Proyectos.

Antes de exponer una definición, vale la pena resaltar que la palabra gerencia puede ser usada como sinónimo de la palabra administración, y que de ahora en adelante se usarán ambas palabras de forma intercambiable. De acuerdo a Henri Fayol (1949): “Administrar es pronosticar y planear, organizar y dirigir, coordinar y controlar”. Como se puede ver, la gerencia se compone de un grupo de acciones, las cuales definen su importancia y alcance.

De igual forma, para el PMI, la Gerencia de Proyectos es: “la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo”. Esta se logra mediante la aplicación e integración adecuadas de los 47 procesos de la dirección de proyectos, agrupados de manera lógica, categorizados en cinco Grupos de Procesos. Estos cinco Grupos de Procesos son:

- Inicio
- Planificación
- Ejecución
- Monitoreo y Control
-

Cierre

Estas acciones forman un conjunto de disciplinas, las cuales son fundamentales para una correcta administración, revelan las distintas cualidades necesarias en un gerente y definen el rango de responsabilidades que deben ser asumidas por éste en su labor para un correcto desempeño en su organización.

Esta investigación se centrará en dos elementos sin los cuales es imposible la gerencia: la planeación y el control (estos son los aspectos con los que se relacionan las teorías EVM, ES y EDM). Así, se asumirá que la planeación y la organización en los proyectos de construcción son inevitables para una correcta aplicación de la teoría del valor ganado.

La planeación y el control hacen parte integral de todas las operaciones y procesos en los proyectos, manifestadas en la actualidad, concernientes a una correcta gestión de estos en general. Los gerentes de proyectos necesitan un conjunto de herramientas que les permitan realizar su trabajo de forma eficiente y brindar un producto de calidad, lo cual no sería posible sin ellas. Lo que se busca es ofrecer una ventaja al administrador, que le permita planear y hacer seguimiento a su proyecto de forma completa, pero a la vez simplificada, para que pueda ejercer un mejor control sobre este. Las herramientas que se han desarrollado son de carácter tanto cualitativo como cuantitativo. Una de estas recibe el nombre de Gestión del Valor ganado. ¿Qué es la gestión valor ganado?

Los parámetros en los que se debe enfocar la gestión obedecen a las restricciones que existen para estos. Anteriormente, se decía que los proyectos básicamente tenían tres restricciones llamadas la "Triple restricción":

1. Alcance
2. Tiempo.
3. Costo

El PMI actualmente considera que un proyecto tiene 7 restricciones:

1. Alcance.
2. Tiempo.
3. Costo.
4. Calidad.
5. Recursos.
6. Riesgos.
7. Satisfacción al cliente.

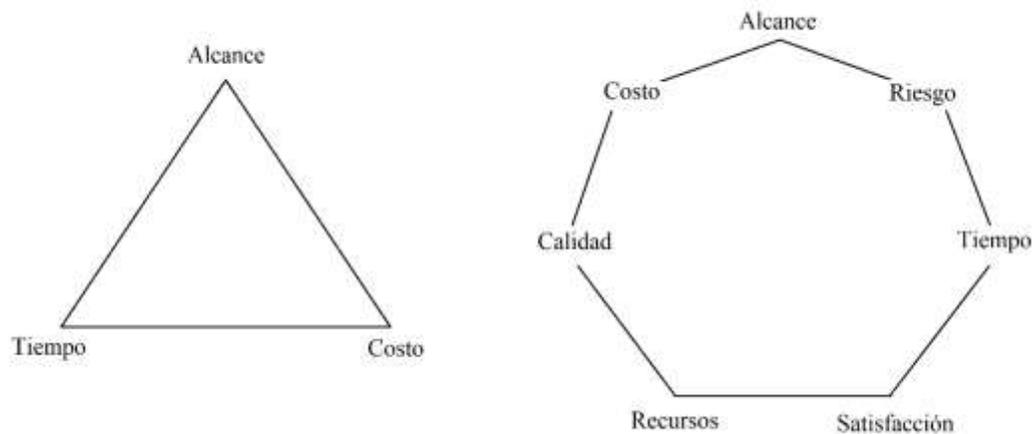


Imagen 1. Parámetros de la Gerencia de Proyectos. Fuente:

<http://hablemosobregestiondeproyectos.blogspot.com.co/2015/10/las-7-restricciones-de-la-gestion-de.html>

Este triángulo es de suma importancia para un gerente de proyecto, debido a que representa las relaciones de dependencia que existen entre los tres parámetros mencionados. Esto significa que, estos elementos interactúan como una estructura, en la cual, ninguno de estos funciona de forma aislada al otro. Tanto el tiempo y el alcance dependen del costo, a su vez que el costo y el enfoque dependen del tiempo.

La Gestión del valor ganado, para el PMI, es: “una técnica que permite medir el desempeño de un proyecto en función de variables que dependen de los costos”. En otras palabras, el valor ganado es una técnica que promueve el control eficiente de recursos en un proyecto.

El concepto de valor ganado no es nuevo. Se ha usado en fábricas e industrias desde hace años, y ya en 1967 el departamento de defensa lo había incluido en sus sistemas de control. En 1997, este mismo departamento aprobó este conjunto de criterios conocido hoy como administración del valor ganado.

La EVM es probablemente uno de los sistemas más importantes, y al mismo tiempo menos comprendidos de la Dirección de Proyectos. Es importante, porque ha demostrado ser una técnica fundamental de seguimiento y control que no ha podido ser reemplazada con éxito por otra metodología similar, (Olarte, 2014). El enfoque de la Gestión del Valor Ganado

radica en el análisis global de las variaciones del costo y cronograma previstos utilizando índices de cumplimiento, (Morales, 2016).

Antes de definir todos los conceptos que hacen parte del Valor ganado, se debe sentar una base de organización y planificación, relacionada con la función del gerente, sin la cual, no sería posible su implementación. Un gerente de proyecto debe conocer o haber elaborado lo siguiente:

2.1.1. La estructura de desglose del trabajo (EDT o WBS)

Según La Guía del PMBOK®, “[...] la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) es una descomposición jerárquica, orientada al producto entregable del trabajo que será ejecutado por el equipo del proyecto, para lograr los objetivos del proyecto y crear los productos entregables requeridos [...]” (PMBOK, 2013).

La EDT es una representación del proyecto, en forma gráfica descriptiva, que subdivide las actividades en varios niveles llegando al grado de detalle necesario para un planeamiento y control adecuado.

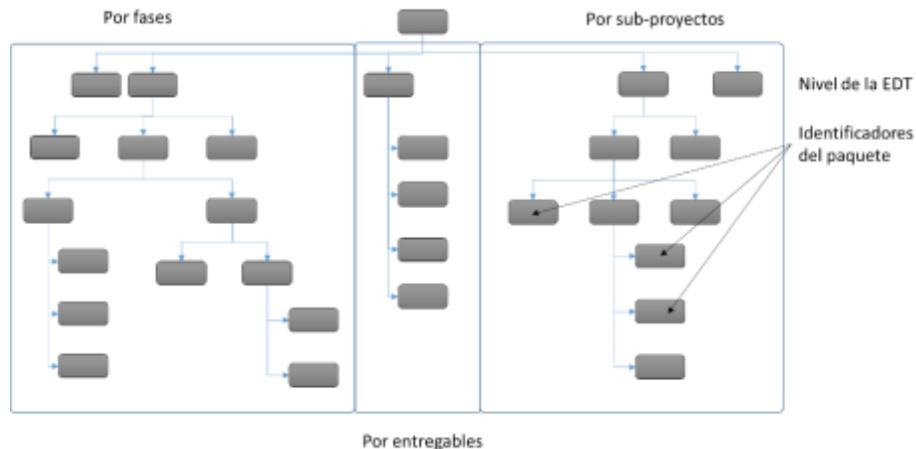
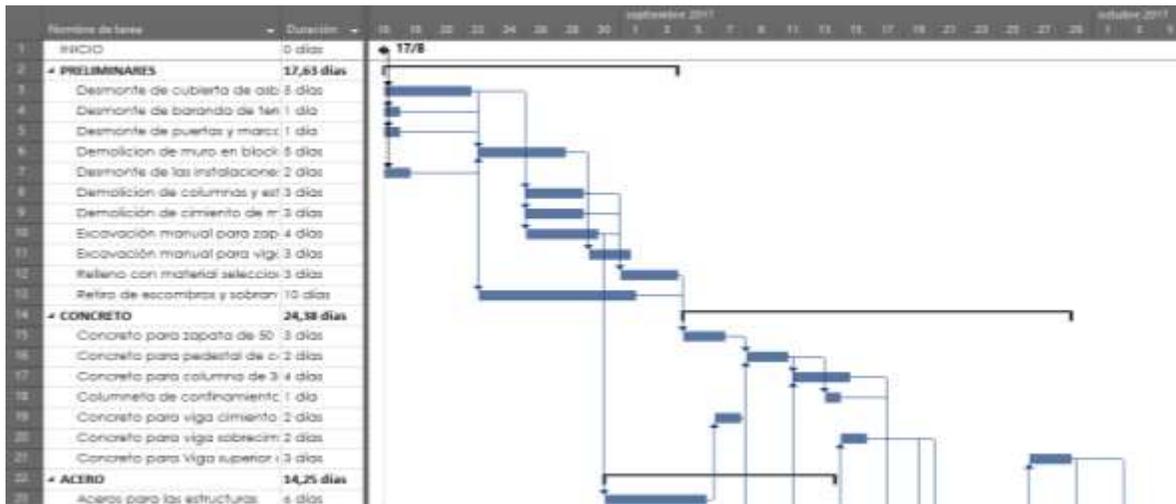


Imagen 2. Estructura de Desglose del Trabajo. Fuente:

<https://formulaproyectosurbanospmipe.wordpress.com/2012/05/09/tema-n-5-la-estructura-de-desglose-del-trabajo-edt-segun-la-guia-del-pmbok-30-04-2012-sesion-10-segunda-parte/>

2.1.2. Calendario de Ejecución (PMS)

Es un Diagrama de Gantt con el orden en el que se desarrollarán las tareas de proyecto. La siguiente imagen representa, de forma incompleta debido a su tamaño, este tipo de



diagramas:

Imagen 3. Calendario de Ejecución. (Autores)

2.1.3. Costo presupuestado del trabajo planificado (BCWS) o valor planificado (PV)

Es el costo de las tareas que se había planificado terminar en esa unidad de tiempo; “cuánto trabajo debería estar terminado”.

2.1.4. Costo presupuestado del trabajo realizado (BCWP) o valor ganado (EV)

Es el costo presupuestado de las tareas que realmente se han avanzado o terminado para cada periodo; “cuánto trabajo está realmente terminado”.

El EVM como sistema de monitoreo y control ofrece indicadores que, como se mostró anteriormente, son útiles para la administración de proyectos. Tiene como fin el ayudar a

que el director de proyecto logre identificar los posibles retrasos y así lograr culminar con éxito el proyecto ejecutado (Lipke, 2003).

Entre otros conceptos necesarios para esta técnica se encuentran los siguientes:

2.1.5. Valor Planificado (PV)

Definido por el PMI como: “el presupuesto autorizado que se ha asignado al trabajo programado”, el PV es el presupuesto con el que debe ejecutarse una actividad o un componente de la estructura de desglose del trabajo para completarla, sin contar con la reserva de gestión. Este presupuesto se adjudica por fases a lo largo del proyecto, pero para un momento determinado, el valor planificado establece el trabajo físico que se debería haber llevado a cabo hasta ese momento. El PV total se conoce en ocasiones como la línea base para la medición del desempeño (PMB). El valor planificado total para el proyecto también se conoce como presupuesto hasta la conclusión (BAC) (Project Management Institute, 2013).

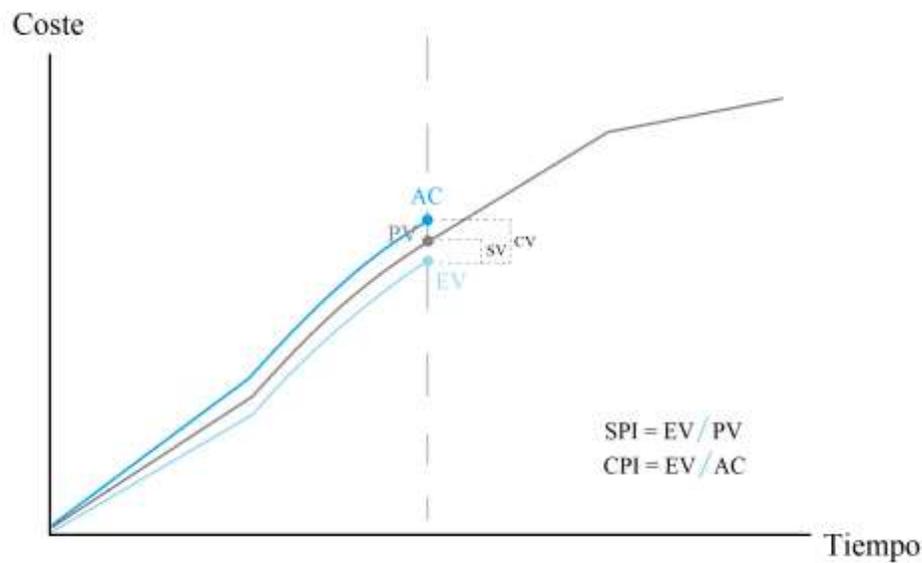
2.1.6. Costo Real (AC)

Definido por el PMI como: “[...] costo incurrido por el trabajo llevado a cabo en una actividad durante un período de tiempo específico [...]”; es el costo total en el que se ha incurrido para llevar a cabo el trabajo medido por el EV. El AC debe corresponderse, en cuanto a definición, con lo que haya sido presupuestado para el PV y medido por el EV. El AC no tiene límite superior; se medirán todos los costos en los que se incurra para obtener el EV. (Project Management Institute, 2013)

2.1.7. Valor Ganado (EV)

Definido por el PMI como: “[...] la medida del trabajo realizado en términos de presupuesto autorizado para dicho trabajo [...]”. Es el presupuesto asociado con el trabajo autorizado que se ha completado. El EV medido debe corresponderse con la PMB y no

puede ser mayor que el presupuesto aprobado del PV para un componente. El EV se utiliza a menudo para calcular el porcentaje completado de un proyecto. Los directores de proyecto monitorean el EV, tanto sus incrementos para determinar el estado actual, como el total acumulado, para establecer las tendencias de desempeño a largo plazo. (Project Management Institute, 2013)



Gráfica 1. Valor Presupuestado, Valor Real y Valor Ganado. Fuente: <http://vehrka.github.io/pmi-vc-curso-pm-ong/img/evm.svg>

Esta gráfica representa la relación existente entre los distintos conceptos anteriormente definidos, en un plano formado por la variable tiempo (semanas) y la variable costo (**pesos colombianos**).

2.1.8. Variación del cronograma (SV)

Definido por el PMI como una medida de desempeño del cronograma que se expresa como la diferencia entre el valor ganado y el valor planificado, el SV determina en qué medida el proyecto está adelantado o retrasado con relación a la fecha de entrega, en un momento

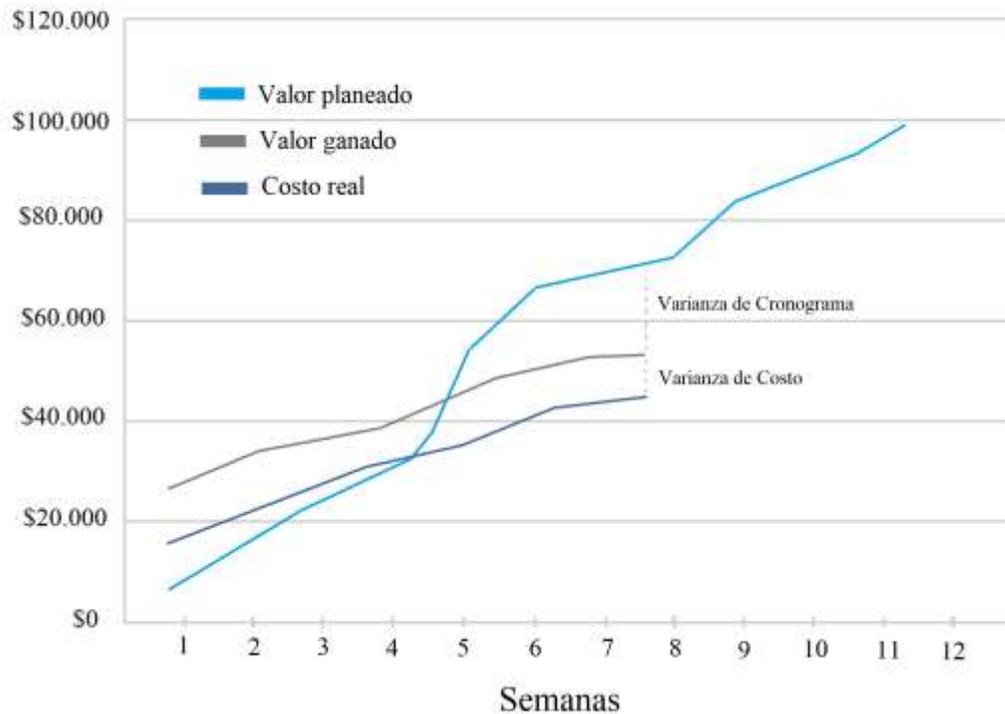
determinado. Es una medida del desempeño del cronograma en un proyecto. Es igual al valor ganado (EV) menos el valor planificado (PV)¹. En el EVM, la variación del cronograma es una métrica útil, ya que puede indicar un retraso del proyecto con respecto a la línea base del cronograma. La variación del cronograma en el EVM, en última instancia, será igual a cero cuando se complete el proyecto, porque ya se habrán devengado todos los valores planificados. Es recomendable utilizar la variación del cronograma en conjunto con la metodología de programación de la ruta crítica (CPM) y la gestión de riesgos. (Project Management Institute, 2013)

2.1.9. Variación del costo (CV)

Según al PMI corresponde al monto del déficit o superávit presupuestario en un momento dado, expresado como la diferencia entre el valor ganado y el costo real. Es una medida del desempeño del costo en un proyecto. Es igual al valor ganado (EV) menos el costo real (AC)². La variación del costo al final del proyecto será la diferencia entre el presupuesto hasta la conclusión (BAC) y la cantidad realmente gastada. La CV es particularmente crítica porque indica la relación entre el desempeño real y los costos incurridos. Una CV negativa es a menudo difícil de recuperar para el proyecto (Project Management Institute, 2013).

¹ Fórmula: $SV = EV - PV$.

² Fórmula: $CV = EV - AC$



Gráfica 2. Variación de los Costos. Fuente: <http://www.ducatiperformanceparts.net/photographyzym/earned-value-management>

Como se puede observar en la gráfica, la variación en el calendario (Schedule variance) corresponde a la diferencia en los valores del Valor planeado (Planned value) y el Valor ganado (Earned value) en un tiempo determinado, que para este ejemplo sería la octava semana del proyecto. Del mismo modo, la variación del costo (Cost variance) corresponde a la diferencia en el valor del Valor ganado y el Costo real (Actual cost).

2.1.10. Índice de desempeño del cronograma (SPI)

Definido por el PMI como una medida de eficiencia del cronograma que se expresa como

la razón entre el valor ganado y el valor planificado, el SPI³ refleja la medida de la eficiencia con que el equipo del proyecto está utilizando su tiempo. En ocasiones se utiliza en combinación con el índice de desempeño del costo (CPI) para proyectar las estimaciones finales a la conclusión del proyecto. Un valor de SPI inferior a 1,0 indica que la cantidad de trabajo llevada a cabo es menor que la prevista. Un valor de SPI superior a 1,0 indica que la cantidad de trabajo efectuada es mayor a la prevista. Puesto que el SPI mide todo el trabajo del proyecto, se debe analizar asimismo el desempeño en la ruta crítica, para así determinar si el proyecto terminará antes o después de la fecha de finalización programada. El SPI es igual a la razón entre el EV y el PV (Project Management Institute, 2013).

2.1.11. Índice de desempeño del costo (CPI)

Definido por el PMI como —una medida de eficiencia del costo de los recursos presupuestados, es la razón entre el valor ganado y el costo real. Se considera la métrica más crítica del EVM y mide la eficiencia del costo para el trabajo completado. Un valor de CPI inferior a 1,0 indica un costo superior al planificado con respecto al trabajo completado. Un valor de CPI superior a 1,0 indica un costo inferior con respecto al desempeño hasta la fecha. El CPI es igual a la razón entre el EV y el AC⁴.

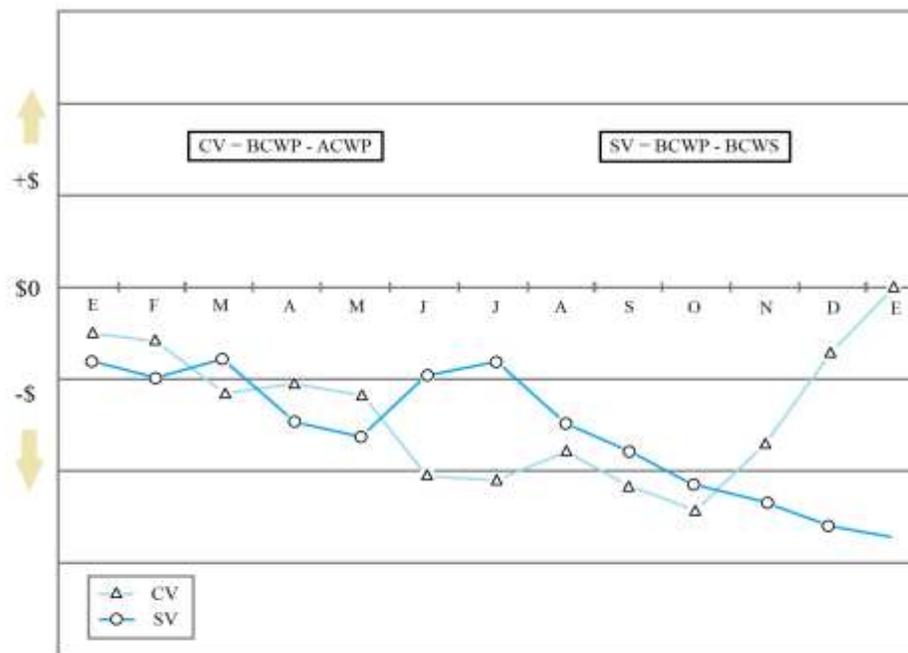
Los índices son útiles para determinar el estado de un proyecto y proporcionar una base para la estimación del costo y del cronograma al final del proyecto (Project Management Institute, 2013). Es necesario tener la facilidad de identificarlos de forma clara ya que estos son el cimiento sobre los cuales se construyen los conceptos de Programación Ganada y la Duración ganada. Ahora encaminaremos este marco hacia la existencia de un problema en la teoría del Valor ganado, el cual hace necesaria la implementación de nuevos conceptos.

Desde el tiempo del desarrollo de los indicadores de la técnica del valor ganado, se ha

³ Fórmula: $SPI = EV/PV$

⁴ Fórmula: $CPI = EV/AC$

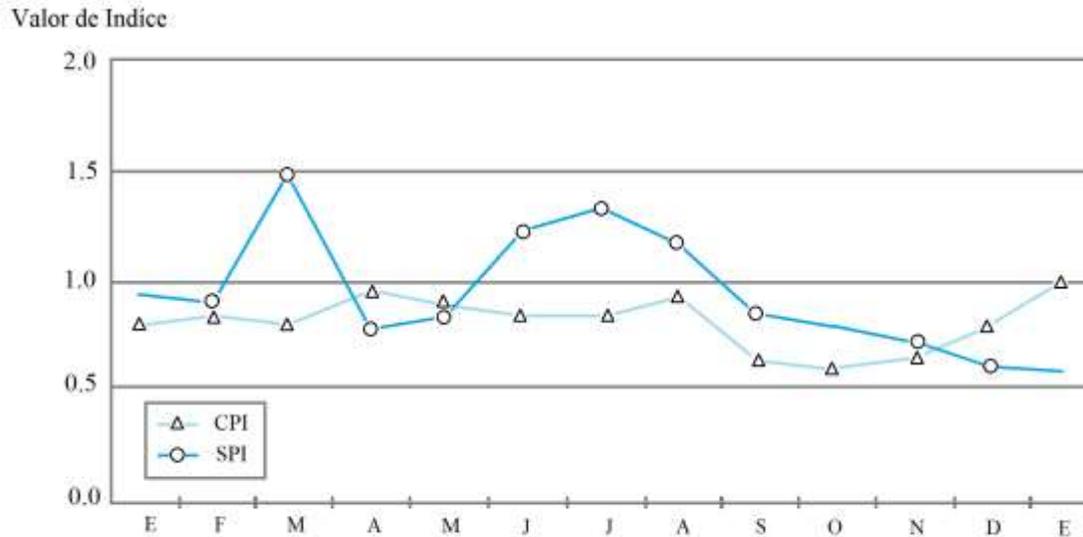
conocido que cuando el desempeño de un proyecto es pobre, los indicadores del calendario son defectuosos y demuestran un comportamiento extraño sobre el tercio final del proyecto. Sea que el proyecto este a tiempo o que termine en retraso, los indicadores SV y SPI convergen a 0.0 y 1.0 respectivamente, independientemente del desempeño real del proyecto. Este comportamiento extraño ocurre sin falta en todas las fases de finalización, sea cual sea el proyecto. Para probar esta afirmación, haremos uso de las siguientes dos imágenes. (Lipke, 2003).



Gráfica 3. Variaciones del tiempo (SV) y del costo (CV) – Nota: La terminación de este proyecto fue programada para el 2 de enero, pero fue completado el 2 de abril. Fuente: Schedule is Different.

El indicador de costo hace referencia al costo real (AC) y el indicador de tiempo al valor planificado (PV o BCWS). En esta referencia al valor planificado, lo que causa problemas es el indicador del tiempo. El punto final del valor planificado es el costo planificado para el proyecto o Presupuesto hasta la conclusión (BAC). El punto final del valor ganado (EV o BCWP) también es BAC. Así que, cuando el valor ganado se acerca a la terminación del

proyecto, éste converge en el costo planificado. En el caso de un proyecto retrasado, el BCWS es igual al BAC, mientras que el BCWP alcanza su valor gradualmente. Después de esta explicación, es fácil entender el comportamiento del proyecto plasmado en las ilustraciones 6 y 7. La varianza del cronograma debe converger en 0.0 para la terminación del proyecto, mientras que el SPI converge en 1.0. (Lipke, 2003).



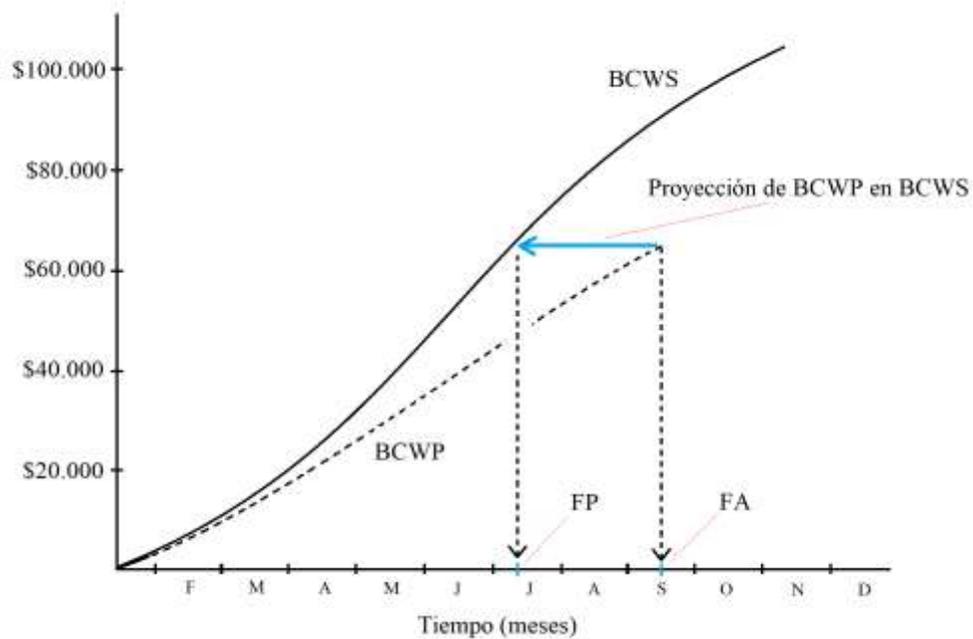
Gráfica 4. Índices de desempeño del costo (CPI) y el tiempo (SPI). Fuente: Schedule is Different.

El comportamiento irregular de los indicadores del cronograma causa a los gerentes de proyectos problemas adicionales. En algún punto se hace obvio cuándo los indicadores SV y el SPI han perdido su valor administrativo. Pero, si el gerente no está seguro sobre la viabilidad, debe actuar con base en estos indicadores. Desde este tiempo de incertidumbre hasta la terminación del proyecto, el gerente no puede confiar en la porción de los indicadores de cronograma del EVM. (Lipke, 2003).

2.1.12. Programación Ganada (ES)

Para resolver este inconveniente, y como resultado del trabajo de Walt Lipke, se pensó en la creación de un concepto llamado “Programación Ganada”. La idea de la Programación

Ganada es análoga a la del valor ganado. Sin embargo, en lugar de utilizar el costo para medir el desempeño en el cronograma, se usa el tiempo. La Programación Ganada se



mulado con la línea base de desempeño o PV (BCWS). En el tiempo asociado con BCWP, la Programación Ganada, se halla a través de la curva del BCWS (Gráfica 5).

Gráfica 5. Programación Ganada. Fuente: Schedule Is Different.

Esta idea de proyectar el BCWP en la curva base del BCWS no es realmente nueva. La importancia de usar el concepto de Programación Ganada radica en que los indicadores de cronograma asociados se comportan apropiadamente a lo largo de todo el desempeño cuantificado del proyecto.

Más explícitamente, la Programación Ganada se computa de tal modo que el valor en moneda de BCWP se proyecta en BCWS, de tal modo que se define la fecha FP (Fecha proyectada) para la cual se calcula ES. La siguiente operación muestra cómo se computa ES para el ejemplo de la gráfica 5:

$ES = \text{Meses hasta Junio} + \text{Porción de Julio}$

$$ES = 6 \text{ meses} + \frac{BCWP_{(\text{Proyección})} - BCWS_{(\text{Hasta junio})}}{BCWS_{(\text{Hasta julio})} - BCWS_{(\text{Hasta junio})}} \quad (1)$$

La fecha actual (FA) para este ejemplo sería igual a 9,5 meses. El valor acumulado de ES (ES total) se calcula usando el BCWP para identificar cuánto ha incrementado el BCWS. Este incremento correspondería a una fracción del mes donde se encuentra la proyección del BCWP. En la gráfica 5 el ES total sería todo el calendario hasta el mes de Mayo + una porción de junio.

El intervalo de tiempo que corresponde a ES_{i-1} sería el valor del calendario “ganado” si evaluamos este proyecto para el mes (i), este valor será llamado N. Faltaría pues encontrar el valor de $ES_{(i)}$. Para esto, se hace uso de la siguiente relación, considerando que ($i - 1$) corresponde entonces al mes anterior al mes considerado.

$$ES = ES_{i-1} + ES_i = N + \frac{BCWP_i - BCWP_{i-1}}{BCWS_i - BCWS_{i-1}} \quad (2)$$

De esta forma, teniendo los valores de BCWS y BCWP de un proyecto, es posible tabular sus valores e insertar esta ecuación para poder hallar el valor de ES para cada mes.

Un punto importante a considerar del método de la Programación Ganada es que para el cálculo del $ES_{(i)}$ se utilizan los valores del costo o presupuesto. Por lo tanto, aunque la Programación Ganada nació de la necesidad de obviar este enfoque a lo presupuestal, esta sigue usando valores como el BCWS y el BCWP para la definición de sus indicadores de tiempo como el $SV_{(t)}$ y el $SPI_{(t)}$

2.1.13. Duración Ganada (ED)

Una de las críticas a la Programación ganada es que todavía utiliza valores de costo (PV, EV, BAC) como fundamentos para los valores de tiempo. Este aspecto podría haber creado dificultades en la comprensión del concepto y ha dificultado la difusión del uso del ES en

muchos proyectos. Sin embargo, la crítica está justificada, ya que los resultados del ES dependen efectivamente de los valores de costos de la planificación del proyecto. Además, los proyectos con interrupciones planificadas (por ejemplo, vacaciones, tiempo de espera planificado, tiempo de curado del concreto) pueden producir valores e indicadores ES que están claramente fuera de contexto.

Días de trabajo		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Actividad #1	PV	0	10	20	30	40	50																	
	EV	0	10	20	30	40	50																	
Actividad #2	PV	0					40	80	120	160	200	240	280	320	360	400								
	EV	0					40	80	120	160	200	240	280	320	360	400								
Actividad #3	PV	0					5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60						
	EV	0																						
Actividad #4	PV	0																	10	20	30	40	50	
	EV	0																						
Proyecto	PV	0	10	30	60	100	150	195	285	420	600	825	1095	1410	1770	2175	2625	2680	2740	2750	2770	2800	2840	2890
	EV	0	10	30	60	100	150	190	270	390	550	750	990	1270	1590	1950	2350							

Tabla 1. Métricas del EVM de un proyecto ejemplo. Fuente: Introduction to Earned Duration.

Una demostración del problema que puede surgir del uso de ES en proyectos que no son adecuados para ser analizados con esta técnica es plasmada en el siguiente ejemplo; la tabla 1 muestra el calendario de un proyecto teórico con cuatro actividades. Las dos primeras actividades fueron ejecutadas según el plan; La tercera actividad, que está en la ruta crítica, aún no se inició en la fecha de estado (es decir, el 13 de marzo de 2015, representada por la línea vertical discontinua roja) (Vanhoucke, 2015).

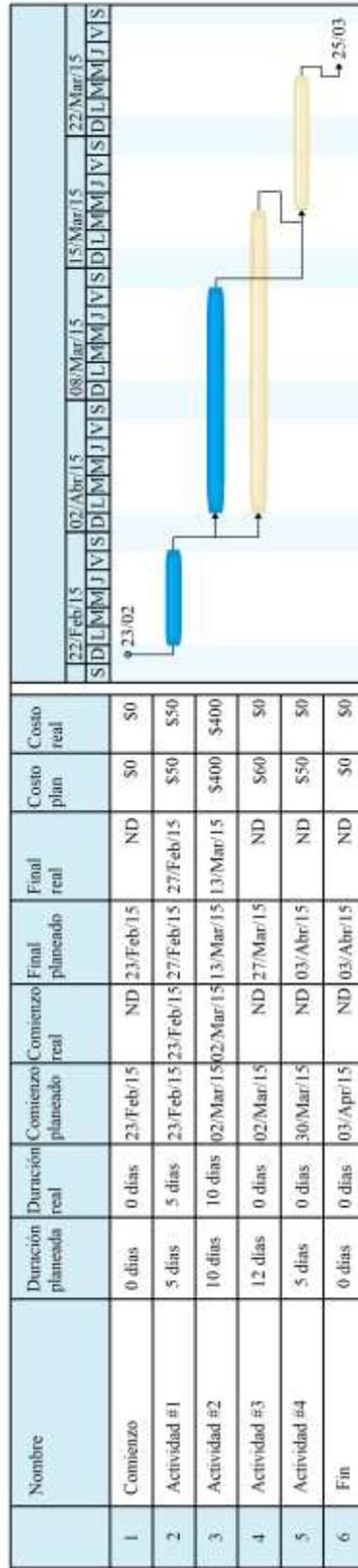


Tabla 2. Diagrama de Gantt del proyecto ejemplo. Fuente: Introduction to Earned

La Tabla 2 y la gráfica 6 se generaron basándose en los datos de la tabla 1, estos datos comprenden el PV y el EV para cada actividad y para todo el proyecto. Las curvas PV y EV se muestran en la gráfica 6, la figura también muestra los valores para ES (aproximado) y SPI (t) (calculado).

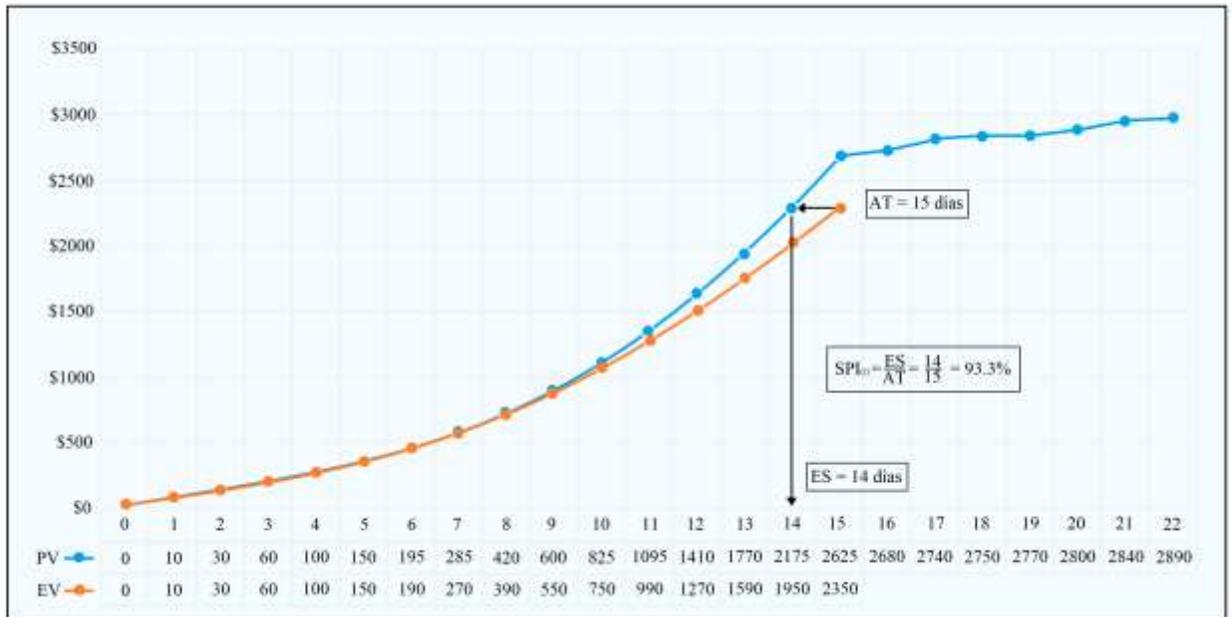


Gráfico 6. Métricas de EVM/ES del proyecto ejemplo. Fuente: Introduction to Earned Duration.

Aquí, un punto importante de preocupación es que las actividades #3 y #4, que se encuentran en la ruta crítica, ni siquiera han comenzado en la fecha de estado, mientras que la actividad #3 debería ser casi completada. Sin embargo, según el SPI (t), el rendimiento de la programación es de alrededor del 97%. Teniendo en cuenta las longitudes significativas de estas dos actividades críticas y el progreso actual de la actividad #3, este nivel de rendimiento no refleja con exactitud la realidad.

El concepto de duración ganada (ED) fue creado para abordar las deficiencias del ES debido al uso de datos basados en los costos, para evaluar el desempeño del programa de los proyectos (Khamooshi, 2014). Su fundamento radica en el uso exclusivo de datos basados en el tiempo para la generación de indicadores de progreso físico. Por lo tanto, los indicadores de desempeño del horario se liberan de cualquier dependencia de los valores de costos planeados y ya no son influenciados por ellos. Para la presentación de la metodología EDM, es importante llegar a una comprensión inicial de los conceptos de duración de la actividad, duración del proyecto y duración total bajo el nuevo paradigma. Estos conceptos se utilizaron para generar los números reales y ganados mostrados en la

		Días de trabajo												Duración	Razón diario
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Actividad 1	Planeado	1	1	1	1									4.00	
	Real		1	1	1	1	1	1	1	1				8.00	0.5
	Ganado		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50					
Actividad 2	Planeado			1	1	1	1							4.00	
	Real			1	1	1	1	1	1					6.00	0.67
	Ganado			0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67						
Actividad 3	Planeado			1	1	1	1	1	1	1	1			8.00	
	Real								1	1	1	1	1	5.00	1.60
	Ganado								1.60	1.60	1.60	1.60	1.60		
Duración total	Diario	1.00	1.00	3.00	3.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00		
	Acumula	1.00	2.00	5.00	8.00	10.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	16.00	16.00		
	Diario	0.00	0.50	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	2.77	2.10	1.60	1.60	1.60		
	Acumula	0.00	0.50	1.67	2.83	4.00	5.17	6.33	9.10	11.20	12.80	14.40	16.00		

Tabla 2 para un proyecto teórico que contiene tres actividades. (Vanhoucke, 2015).

Tabla 3. Métricas EDM para un proyecto ejemplo. Fuente: Introduction to Earned Duration.

De un examen detallado de la Tabla 3 se puede entender el proceso de "contabilidad" de duración para el progreso planeado y real de las actividades en cada día de trabajo. Los números planificados resultan de asignar una unidad de tiempo a cada día de cada actividad y sumar todos esos números para un determinado día de trabajo (columna) para alcanzar los

números de la Duración Total Planificada (TPD) (diaria y acumulativa) en la parte inferior. Por definición, cada día planificado de una actividad tiene un valor de uno, independientemente del esfuerzo, los recursos o los costos involucrados en su ejecución. Además, la Duración Real de una actividad i (AD_i) es el número de días laborables que realmente tomó para completarlo. Para calcular el valor de la ED diaria para cada actividad efectivamente realizada en un día de trabajo, se debe dividir la Duración Planeada de la actividad (PD_i) por su AD_i . Por ejemplo, la actividad 1 tenía un PD_i de 4 días laborables y se completó en 8 días ($AD_1 = 8$); esto significa que la actividad contribuye efectivamente a la ED del proyecto con $4/8 = 0,5$ días por cada día de su ejecución.

Para la actividad 2, que estaba prevista para durar 4 días ($PD_2 = 4$) y se realizó en 6 días ($AD_2 = 6$), cada día de la ejecución de esta actividad contribuye a la ED diaria total del proyecto con $4/6 = 0,67$ días laborables. Para la actividad 3, dicha contribución es de 1,60 días por día de su ejecución. La suma de los DE diarios de una determinada actividad i define la Duración Ganada de dicha actividad (ED_i). (Vanhoucke, 2015).

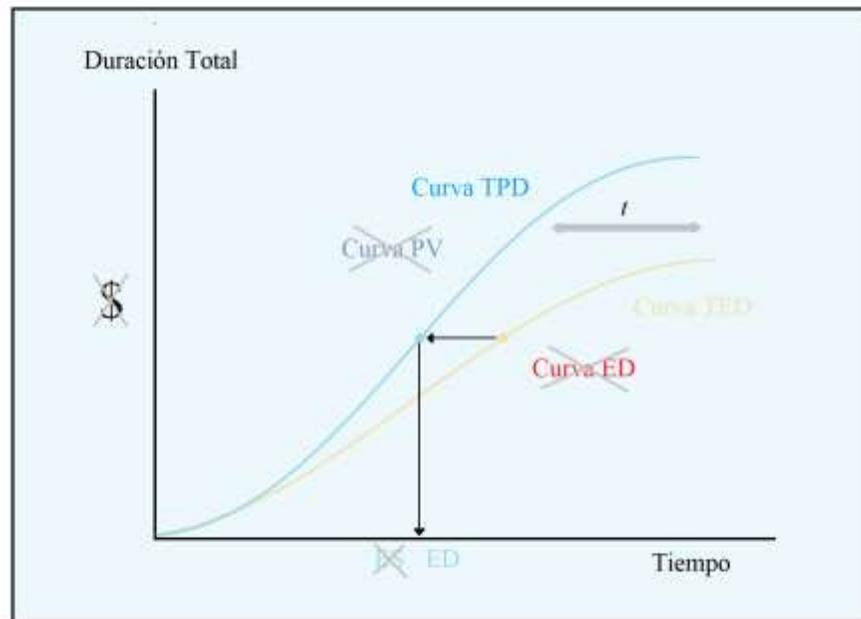


Gráfico 7. Semejanza de cálculo entre el ES y el ED. Fuente: Introduction to Earned Duration.

De la gráfica 7 la semejanza entre los gráficos ED y ES se hace evidente. La "Duración Total" (unidades de tiempo) reemplaza a "\$" (costos) en el eje vertical, mientras que la Sustitución Total de Ganancias (EVT) sustituye EV y Duración Total Planeada (TPD) hace lo mismo para PV. Debido a la semejanza mencionada entre los conceptos ED y ES, los principios de cálculo ES también pueden aplicarse para EDM, es decir, con los ajustes necesarios. La ecuación para el ED es:

$$ED = ED_{(i-1)} + ED_{(i)} = N + \frac{TED_{(i)} - TPD_{(i-1)}}{TPD_{(i)} - TPD_{(i-1)}} \quad (3)$$

Aquí, N tiene el mismo significado que en la ecuación ES, y todas las demás métricas se describen anteriormente.

2.2. ESTADO DEL ARTE

La introducción de técnicas de gerencia, como la EVM, la ES y la EDM, ha permitido tener un mayor control de los costos y los tiempos de ejecución de los proyectos, ya que aumentan la eficiencia de los procesos (St. Martin, 2010). Una forma rústica de la primera de estas técnicas se dio a conocer en el año de 1962, por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos como parte del sistema PERT/COST. En el año 2005, la técnica fue adoptada por el PMI (Project Management Institute, 2013).

La EVM se volvió una de las más utilizadas, pero no estaba exenta a mejorar, y eso era lo que buscaba Walter Lipke cuando, en 2003, publicó "Schedule is Different" en la revista The Measurable News, del PMI. En el artículo propone una solución, Earned Schedule o ES (Programación Ganada), para cierto problema que encontró al notar que todos sus proyectos, sin excepción, parecían terminar a tiempo al usar EVM, aunque fuera evidente que no concluían en los plazos estipulados.

Tal como en la anterior, se encontró que la ES poseía una falencia en los índices de desempeño de tiempo, ya que los determinaba a partir de valores de costos. Con esto en

mente, en el año 2015, Mario Vanhoucke y otros investigadores, desarrollaron la técnica de Gestión de Duración Ganada (EDM, por sus siglas en inglés). Este método redefine los índices ya mencionados, calculándolos desde datos de tiempo.

En el año 2003, Vargas, Ricardo Viana, publica “Earned Value Analysis in the Control of Projects: Success or Failure?” con el objetivo de definir las diferentes características de cada negocio y su contribución para el éxito o fracaso en la implementación del Análisis del Valor Ganado, a través del cual enfatizó la influencia que tiene un alcance claramente definido en la relación costo-beneficio en EVM.

En el año 2008, Valle, Jose Angelo and Soares, publican “The use of earned value analysis (EVA) in the cost management of construction projects”, en el cual exponen varios principios concernientes a la implementación del EVM en proyectos en general, de sus investigaciones encontraron que un problema importante, para la implementación del EVM, reside en la determinación de un sistema de contabilidad apropiado para hacer frente a los cambios de alcance, ya que, un cambio de alcance puede tener consecuencias de gran alcance para el proyecto total. Para hacer todo manejable Valle y Soares (2008) proponen aislar y controlar en detalle aquellas actividades con mayor potencial de impacto en el proyecto.

Un caso de estudio, El proyecto de tubería "Ardak-Mashad", en Irán (Shokri-Ghasabeh, 2009), demostró resultados positivos respecto a la utilidad de la herramienta ES, comentando que: da tiempo a los gerentes para diseñar un nuevo plan cuando el proyecto está sobre presupuesto o atrasado. Por lo tanto, los administradores pueden desarrollar el proyecto dentro del presupuesto y el cronograma en el momento en que son conscientes de las deficiencias o por lo menos evitar que el proyecto esté en una condición peor.

En el año 2010, Pieter Buyse & Tim Vandenbussche publican “Performance analysis of Earned Value Management in the construction industry”, como propuesta de Tesis de maestría, en la cual hacen frente al problema encontrado por Valle y Soares, considerando que una Estructura de Desglose de Trabajo adecuada junto con un plan contable adecuado

podría resolver este problema. En este estudio se examinaron cinco proyectos de construcción en detalle. Un resultado notable fueron las diferentes trayectorias que los indicadores SPI y SPI(t) mostraron. Además, encontraron que cuando se utiliza la metodología EVM al inicio del proyecto, los métodos de predicción de costos donde el factor de desempeño está determinado en su mayoría por el IPC, proporcionarán las mejores estimaciones para el costo real al finalizar.

En el año 2012, William Bruchey publica “A Comparison of Earned Value and Earned Schedule Duration Forecast Methods on Department of Defense Major Defense Acquisition Programs”, con la cual se midió la exactitud del valor ganado y los métodos de predicción de la duración final del cronograma ganado analizando cuatro programas de la Agencia de Materiales Químicos del Ejército de los Estados Unidos.

Además de estas dos alternativas de mejora a la EVM, se pueden encontrar otras, como las propuestas por Amir Najafi y Fatheme Azimi en su artículo “An extension of the earned value management to improve the accuracy of schedule analysis results”, publicado en el 2016 en el Iranian Journal of Management Studies; pero estas consisten en aproximaciones matemáticas a los resultados esperados.

La aplicación de la EVM a proyectos de construcción en Latinoamérica se ve evidenciada en el trabajo de Kyralina Olarte, Huber Sotomayor y César Valdivia que presenta una propuesta de mejora del control de costos aplicando el Método de Valor Ganado en un proyecto de infraestructura, en el 2014.

Un importante avance en relación al uso de la teoría ES, respecto a su capacidad para predecir la duración final de los proyectos, fue el llevado a cabo en España por los investigadores M.A Guerrero, M. M. Carbonell & A.Montoyo en el 2014, en el que se concluyó que, efectivamente, ES puede ofrecer resultados prácticos respecto a estas predicciones.

A nivel nacional, el concepto de Valor Ganado comenzó a tomar fuerza en el año 2015, después de su introducción al país por parte de los ingenieros industriales de la Universidad

Francisco José de Caldas, Pedro Rafael Flórez y Wilman Camilo Sánchez (Flórez, R. Sánchez, W. & Feizar, 2015). Luego, en el 2016, Liseth Morales nos presenta el caso de implementación de la metodología en el proyecto de vivienda Hacienda Madrid del Prado (Morales, 2016).

2.3. ANTECEDENTES

Ya en el plano local, se encontraron pocos antecedentes de la implementación de la EVM para el manejo de los costos y los tiempos de un proyecto de construcción, que hasta la fecha solo se había aplicado la técnica para control de costos.

En el artículo “Aplicación de la metodología del valor ganado para el control de costos y tiempos en proyectos de construcción”, realizado en 2016, se mostró la EVM como una herramienta para predecir el comportamiento de estas dos variables, además de las ventajas, desventajas y limitaciones de esta; y las acciones de mejoramiento necesarias para mejorar su aplicación. (Pérez, 2016). Este artículo hace parte del grupo de investigación ESCONPAT, de la línea de investigación de la Gerencia de proyectos

También en el año 2016, a través del artículo “Análisis comparativo de las metodologías de control de proyectos del valor ganado, programa ganado y duración ganada”, se halló un análisis comparativo entre las tres técnicas, EVM, ES y EDM, correspondiente a una tesis de maestría, en la universidad de Cartagena, para la gerencia de proyectos; teniendo así un fundamento y un estándar práctico para su implementación en proyectos. (Buelvas, 2016).

Además, como parte del desarrollo de la tesis de pregrado “Propuesta de diseño de una oficina de gerencia de proyectos (PMO) en la empresa JAV CONSTRUCCIONES Y PROYECTOS”, se consideró, entre los objetivos de ésta oficina de gerencia de proyectos (PMO), Implementar el método del valor ganado en cada uno de los proyectos que se ejecutan. Esto significa una aplicación directa de estas herramientas en el modelo de gerencia de proyectos, para una empresa de construcción. (Correa, 2016)

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Aplicar las teorías de valor ganado, programación ganada y duración ganada, en el proyecto de construcción “Refugio La Milagrosa” como caso de estudio, con el fin de brindar un análisis de sus índices de desempeño del tiempo e identificar los factores (técnicos, gerenciales o climáticos) que hayan afectado su comportamiento a lo largo del desarrollo del proyecto.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar un caso de estudio que permita la aplicación de las técnicas Valor Ganado (EVM), Programación Ganada (ES) y Duración Ganada (EDM).
- Calcular las variables específicas de cada teoría y los índices de desempeño de costos y del tiempo.
- Analizar el comportamiento de los índices de desempeño del tiempo, a través de preguntas generadas por los investigadores, usando gráficas en función del cronograma, considerando las variables de los que dependen y el desarrollo de las actividades a lo largo del tiempo.
- Identificar los factores (técnicos, gerenciales o climáticos) que conlleven a un comportamiento desfavorable de estos índices de desempeño del tiempo, a lo largo del desarrollo del caso de estudio.

4. ALCANCE

Esta investigación comparó distintos índices para la gestión del tiempo de las técnicas de valor ganado, programación ganada y duración ganada. Dicha comparación permitió analizar el comportamiento de estos índices de gestión bajo las condiciones de un proyecto de construcción, los factores que podrían afectar este comportamiento y generar recomendaciones respecto a su implementación.

Para ello se realizó un análisis comparativo de la aplicación de las técnicas de *Valor Ganado* (EVM), *Programación Ganada* (ES) y *Duración Ganada* (EDM), con sus respectivas variables de tiempo, específicamente en el caso de estudio “Refugio La Milagrosa”, proyecto realizado por EDGARD MARÍN TÁMARA. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN y su Gerente de Proyectos, el Arquitecto con el mismo nombre. El proyecto se llevó a cabo entre los meses de junio y diciembre del año 2017, periodo durante el cual se tomaron datos y se hicieron los cálculos para la aplicación de las tres técnicas.



Imagen 4. Localización del caso de estudio. Google Maps

Se realizó la aplicación de las técnicas EVM, ES y EDM. Después se realizó la

comparación de los índices de desempeño SPI, SPI(t) y DPI, respectivamente, para finalmente elaborar el informe correspondiente en las líneas de alcance, costo y tiempo, en los términos y lineamientos propuestos por el PMI.

Al término de este proyecto, los investigadores entregan un informe que incluye el análisis comparativo de los resultados obtenidos de la evaluación de los indicadores de gestión de tiempo de las teorías de gestión de proyectos mencionadas en este trabajo y las conclusiones y recomendaciones al respecto. Este análisis comparativo servirá de fundamento para futuras investigaciones en este campo.

5. METODOLOGÍA

5.1. TIPOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y DATOS

Esta investigación se encuentra clasificada como mixta, ya que tiene elementos tanto de revisión bibliográfica, como de trabajo de campo. La fase de revisión bibliográfica se evidencia al hacer una recolección de la teoría sobre las teorías EVM, ES y EDM, para su posterior aplicación; por otro lado, tenemos el elemento de campo que se reconoce en el seguimiento diario y la elección de un proyecto en tiempo real por parte de uno de los investigadores.

Los datos que se recolectaron para la realización de este proyecto fueron:

- Planos del proyecto (Arquitectónicos, estructurales, etc.)
- Presupuesto de obra (Discriminado por semanas)
- Registro de costos de obra (También discriminado por semanas)
- Bitácora del proyecto (Trabajo realizado por día y cantidad)

El presupuesto y el registro de costos de obra está expresado en pesos colombianos (cop) y la bitácora del proyecto se realizó por día y el trabajo se midió en las unidades específicas de cada actividad, como; metros lineales (ml), metros cuadrados (m^2), metros cúbicos (m^3), etc. Los índices de tiempo para estas técnicas son adimensionales.

Al calcular las variables y los índices de gestión de tiempo, correspondiente a cada una de las teorías, estos fueron plasmados en una gráfica llamada “índices de tiempo vs cronograma” cuya abscisa representa los días de ejecución del proyecto y su ordenada los valores numéricos de estos índices.

5.2. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA

Para la recolección de información secundaria se realizó con el apoyo y cooperación de una empresa de construcción a nivel local, llamada EDGARD MARÍN TÁMARA DISEÑO Y

CONSTRUCCIÓN, de la cual se tuvo acceso a planos de construcción, presupuesto y cronograma de actividades, de forma directa a través de su representante legal el Arq. Edgard Marín Támara, para hacer uso de esta como fundamento para un posterior análisis de la información primaria.

Esta información presupuestal se enfocó, específicamente, a la reconstrucción del “Refugio La Milagrosa”, proyecto ubicado en el barrio Zaragocilla Sector El Cairo en la ciudad de Cartagena.

5.3. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN PRIMARIA

El procedimiento aplicado se fundamenta en un sistema de recolección manual de información. Este consistió en un sistema de control de las actividades desarrolladas en una obra de construcción en relación a magnitudes establecidas en un cronograma.

Este sistema manual consistió en un formato donde se registró el avance en obra, una base diaria y semanal del desarrollo de actividades. Un ejemplo de este formato, para el caso de la Duración Ganada, es la Tabla 2 (Métricas EDM para un proyecto ejemplo), instrumento en el proceso de "contabilidad" de duración para el progreso planeado y real de las actividades en cada día de trabajo. Las variables que se obtuvieron, en ese caso, fueron *Duración Real*, *Duración Ganada* e *Índice Diario de Duración*.

Para una correcta aplicación de las teorías valor ganado, programación ganada y duración ganada, fue necesaria la creación de tablas las cuales se usaron para la recopilación de los datos clave (cantidades de obra, duraciones, costos) y para la generación de las variables específicas de cada teoría. Para el caso de Valor ganado, se creó una tabla como la mostrada en la Imagen 5, la cual recopila las actividades del proyecto, las cantidades de obra planificadas y alcanzadas y los días de ejecución reales para cada actividad.

Semana No.	Gasto Semanal (PV)	Acumulado (APV)	Costo Real (AC)	Acumulado (AC)	Progreso Planeado	Progreso Real	Semana No.	Valor Ganado (EV)	Acumulado (EV)	Variación de Costos (CV)	Variación de Tiempo (SV)	Desempeño de Costos (CPI)	Desempeño del Cronograma (SPI)	Semana No.	Progreso Ganado
1							1							1	
2							2							2	
3							3							3	
4							4							4	
5							5							5	
6							6							6	
7							7							7	
8							8							8	
9							9							9	
10							10							10	
11							11							11	
12							12							12	
13							13							13	
14							14							14	
15							15							15	
Total	\$0		\$0				Total	\$0							

Imagen 7. Hoja de cálculo para las variables de EV y ES. Fuente: Autores

El cálculo de los valores de las variables correspondientes a la teoría Duración Ganada, fueron hechos usando una tabla en formato Excel, que contiene las actividades, las duraciones planeadas, ganadas y reales, y los días recorridos, como se muestra en la imagen 8:

Ítem		SEPTIEMBRE																																						
		Semana 1					Semana 2					Semana 3					Semana 4					Semana 5					Semana 6					Semana 7								
		16	17	18	19	21	22	23	24	25	26	28	29	30	31	1	2	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	
1.1	Planeada	1	1	1	1	1																																		
	Real																																							
	Ganada																																							
1.2	Planeada																																							
	Real																																							
	Ganada																																							
1.3	Planeada																																							
	Real																																							
	Ganada																																							
1.4	Planeada																																							
	Real																																							
	Ganada																																							
1.5	Planeada																																							
	Real																																							
	Ganada																																							
1.6	Planeada																																							
	Real																																							
	Ganada																																							

Imagen 8. Tabla usada para el cálculo de las variables de ED. Fuente: Autores

5.4. TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS

Después de recopilar toda la información, primaria y secundaria, se hizo uso de Microsoft Excel 2016 para procesarlos y aplicar las técnicas de EVM, ES y EDM. Se elaboraron una serie de tablas que permitieron organizar los datos de presupuesto y seguimiento del tiempo para luego realizar los cálculos requeridos para analizar cada índice de tiempo. En la tabla 4 se muestra la relación de dependencia entre variables.

TEORIAS	INDICES DE DESEMPEÑO DE TIEMPO	VARIABLES DE LAS QUE DEPENDEN
VALOR GANADO	SPI , SV	EV, PV
PROGRAMACION GANADA	SPI(t) , SV(t)	EV, PV, ES
DURACION GANADA	EDI , DPI	PD, ED Y AD

Tabla 4. Equivalencia de índices entre teorías y dependencia a variables. Fuente: Introduction to Earned Duration

Conforme los valores de los índices de tiempo, plasmados en la tabla 4 cambiaron, y observando su dependencia a las demás variables, se generaron algunas preguntas como:

- ¿Por qué los valores de SPI no cambiaron considerablemente y los de DPI si lo hicieron, para ciertas semanas?
- ¿Cuál fue la causa de una discrepancia entre APV y EV a la terminación del proyecto?
- ¿Qué relación tiene el costo presupuestado APV con el valor final de SPI(t) en relación a las semanas de retraso total?

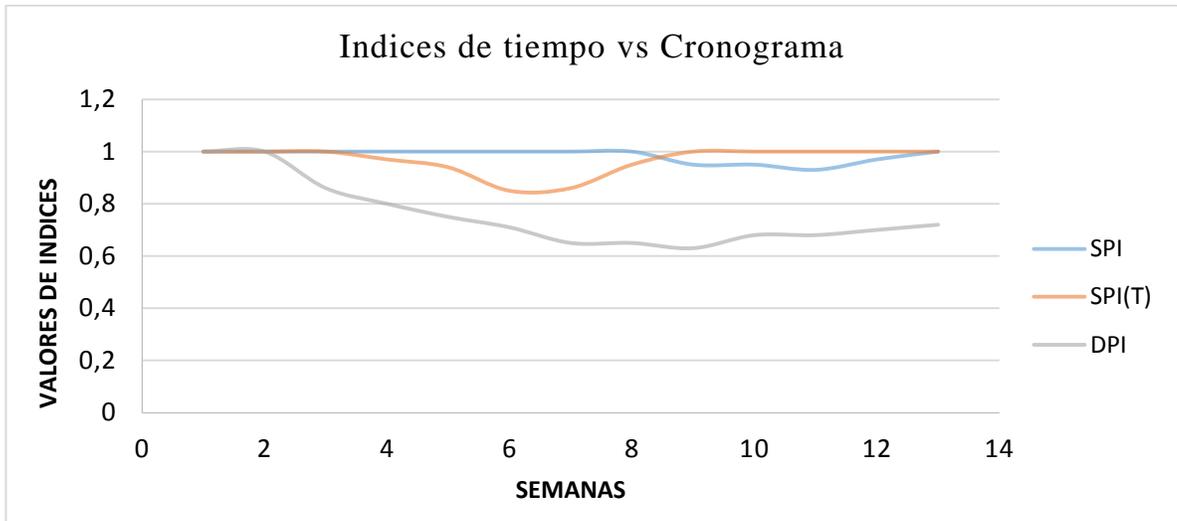


Gráfico 8. Ejemplo ilustrativo de la gráfica anteriormente mencionada. Autores

A través de la gráfica anteriormente mencionada, la cual incluye los días de ejecución y los valores numéricos para los índices de tiempo, y con la información obtenida y tabulada del desarrollo del proyecto, se analizaron cuáles de las actividades, habiendo sido ejecutadas, pudieron haber manifestado un retraso, en caso de haberse presentado. Todo esto se logró al considerar, en base a la gráfica, los puntos en los que se presentaban cambios negativos $\Delta(-)$.

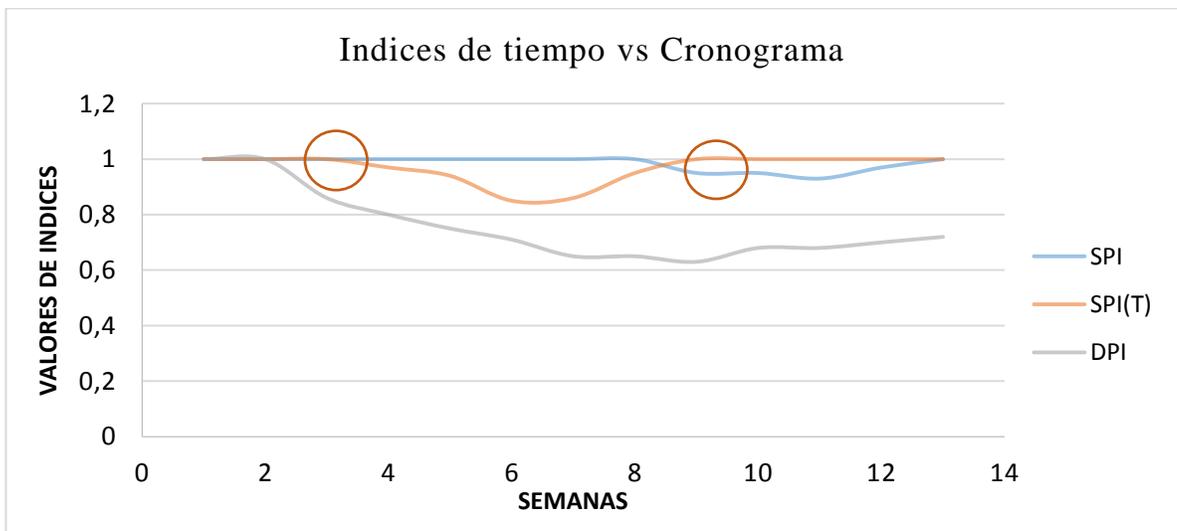


Gráfico 9. Ejemplo de posibles puntos donde se presentan cambios negativos. Autores

Un análisis del comportamiento de estos índices de gestión de tiempo se llevó a cabo al formular la pregunta: ¿Qué variables o factores pudieron haber afectado su comportamiento, a lo largo de la ejecución del proyecto?, a través del acompañamiento continuo con el equipo de construcción, obteniendo así la información técnica y administrativa necesaria. La imagen 9 ilustra de forma integral todo este proceso:

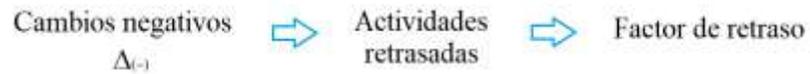


Imagen 9. Proceso de retraso de un proyecto. Autores

Al identificar estos factores, será posible, junto con el equipo constructor, cuáles pueden ser las recomendaciones, tanto técnicas, administrativas o financieras, que ayudaran a una implementación de estas teorías en futuros proyectos de construcción

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1. CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO

El proyecto “Refugio La Milagrosa”, llevado a cabo por la empresa EDGARD MARÍN TÁMARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN, consistió en la demolición y reconstrucción de una bodega de almacenamiento de ropa donada, ubicada en el barrio Zaragocilla, de la ciudad de Cartagena. El propósito de la demolición fue la manifestación de asentamientos diferenciales en el suelo de la edificación, los cuales provocaron un deterioro evidente de la estructura, lo que llevo a considerar la reconstrucción de la misma.



Imagen 10. Fotos de la obra en ejecución "La Milagrosa". Fuente: Firma Edgard Marín

La bodega tiene un área total de 182 m², y fue reconstruida con un sistema estructural de pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado junto con mampostería no estructural en bloques de concreto como se muestra en la imagen 11. Este proyecto fue planeado con una duración estimada de 9 semanas, comenzando el 17 de agosto con el desmonte de cubierta en cercha metálica y culminando el 13 de octubre con limpieza y pintura general en vinilo. Debido a un retraso general del proyecto, el cual será explicado y analizado en los siguientes títulos, éste realmente comenzó el 18 de agosto y culmino el 23 de noviembre, teniendo 6 semanas añadidas por retraso y modificación de los planos por parte de los propietarios de la obra.

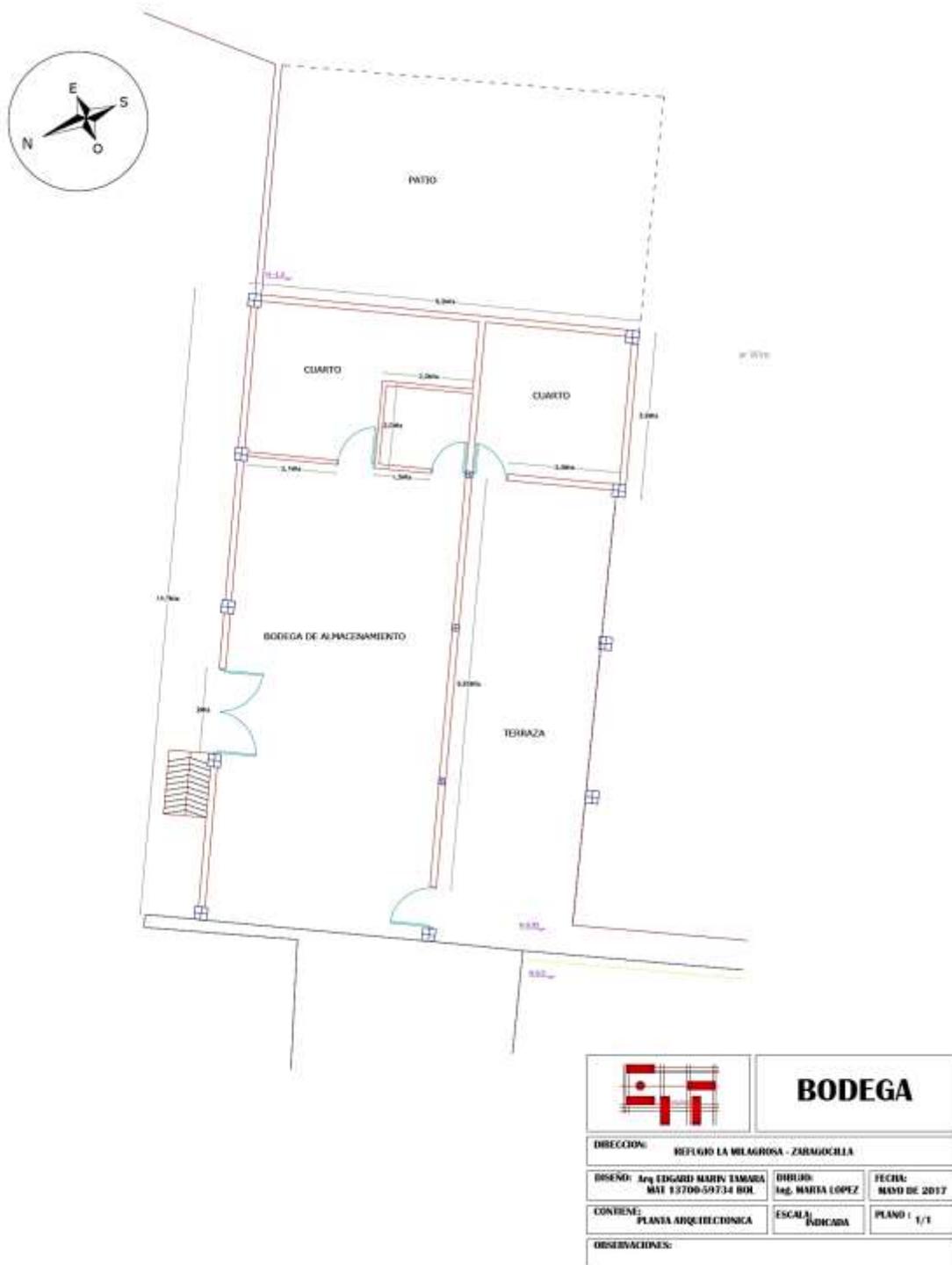


Imagen 11. Plano - planta de la bodega "Refugio la Milagrosa" (modelo CAD). Fuente: Firma Edgard Marín

Siguiendo con la descripción, en la tabla 5 se muestra el conjunto total de actividades que fueron desarrolladas en el proyecto, junto con la duración planeada en días para cada una de ellas e identificadas con un código numérico. Esta información es la misma mostrada en la gráfica del cronograma planeado el cual hace parte de los anexos del presente documento.

Código	Actividades	Duración
1.1	Desmante de cubierta de asbesto cemento y estructura en cercha metálica	5
1.2	Desmante de baranda de terraza	1
1.3	Desmante de puertas y marcos	1
1.4	Demolición de muro en block de arena-cemento No. 6	5
1.5	Desmante de las instalaciones eléctricas aéreas	2
1.6	Demolición de columnas y estructuras de soporte existentes	3
1.7	Demolición de cimiento de muro existente	3
1.8	Excavación manual para zapatas de columnas	4
1.9	Excavación manual para viga cimiento	3
1.10	Demolición de pisos y plantilla	-
1.11	Relleno en suelo cemento	-
1.12	Relleno con material seleccionado e=20 cm	3
1.13	Retiro de escombros y sobrantes	10
2.1	Concreto para zapata de 50 cm de espesor	3
2.2	Concreto para pedestal de columnas de 40x40x150cm	2
2.3	Concreto para columna de 30x30x4 mts	4
2.4	Columneta de confinamiento 15x15	1
2.5	Concreto para viga cimiento (.30X.40)	2
2.6	Concreto para viga sobre cimiento (.15X.20)	2
2.7	Concreto para Viga superior de amarre sobre muro 20 x20	3
3.1	Aceros para las estructuras	6
4.1	Acometida de luminarias	3
4.2	Salida de tomas a 110, en tubería empotrada en PVC.	3

4.3	Salida de luces a 110, en tubería EMT.	3
4.4	Salida de lámparas + roseta PVC	3
5.1	Suministro e instalación de cubierta en lámina termo acústica	3
5.2	Reinstalación de cubierta en lámina de asbesto cemento	-
5.3	Impermeabilización de redoblón con manto 3MM, pintado con alumol o aluminio bituminoso	1
5.4	Impermeabilización de cimientos con emulsión asfáltica	1
6.1	Levante en block Vibrado No. 6	4
6.2	Levante en block Vibrado No. 4	3
6.3	Redoblón de cubierta	1
6.4	Suministro e instalación de calados de ventilación sobre muros	2
6.5	Mojinetes calados para terraza	2
6.6	Sobre cimiento en block relleno No. 6 mortero 1:4	3
6.7	Mojinete de cubierta en block Vibrado No 4	3
7.1	Plantilla de refuerzo e=0,07m con rampa	2
7.2	Plantilla de refuerzo e=0,07m pulido con helicóptero	-
7.3	Piso en tablón 30x30	2
7.4	Guarda escobas en tablón	2
8.1	Pintura general en vinilo tipo 1 a dos manos, incluye los muros de bodega no intervenidos en la reparación.	5
9.1	Reinstalación de correas para cubierta en perlín de acero galvanizado de 150 x 50, pintado con anticorrosivo incluye tensores para su instalación	2
9.2	Instalación de correas para cubierta en perlín de acero galvanizado de 150 x 50, pintado con anticorrosivo incluye tensores para su instalación	1
9.3	Reinstalación en instalación de baranda de protección para terraza	1
9.4	Reinstalación de reja de seguridad	1
9.5	Reinstalación de puertas tipo 3	1
9.6	Suministro e instalación de puerta de acceso al almacén	-
9.7	Reinstalación de puerta en triplex tipo 2	1
10.1	Limpieza general de obra	9

10.2	Suministro e instalación de lavadero sencillo, incluye instalación hidráulico-sanitaria	-
-------------	---	---

Tabla 5. Actividades planeadas del proyecto. Fuente: Cronograma suministrado por el director de la obra

Aquellas actividades sin días planeados corresponden a actividades las cuales fueron añadidas a lo largo del desarrollo de la obra, las cuales son en total 5. El total de actividades planeadas fue de 45. El total de actividades ejecutadas fue de 50.

6.2. PROTOCOLO DE RECOLECCION DE LA INFORMACION

El protocolo de recolección de la información se estableció mediante un orden y un filtro a través del cual ésta debía ser trasferida. Para el caso de esta investigación, el protocolo de recolección del proyecto La Milagrosa se basó en la trasferencia de la información día a día, de los materiales usados y las actividades realizadas, a través del libro de obra o Bitácora, registros realizados por parte de la ingeniera residente Marta López y del director de obra, el arquitecto Edgard Marín. En la imagen 12 se muestra la manera como se realizaron los registros en el libro de bitácora y en las fotografías 13 y 14 tomadas por la investigadora Rossana Pérez se muestra el cronograma y el presupuesto del proyecto.

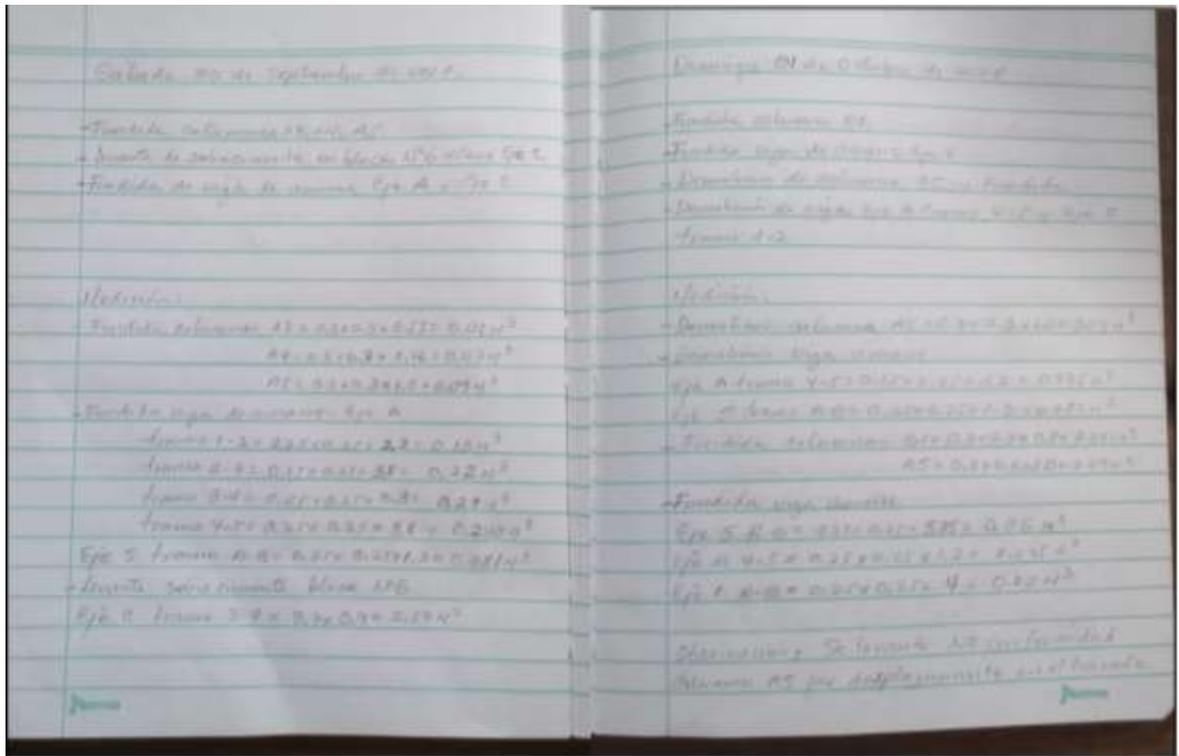


Imagen 12. Bitácora de Obra "Refugio la Milagrosa" días 30 de septiembre y 1 de octubre

Estas fotografías sirvieron como elemento clave en la construcción de subsecuentes herramientas de organización y tabulación de la información, como se mostrará más adelante. Otro elemento importante con el cual fue posible hacer un seguimiento del proyecto fue la existencia de un cronograma de actividades, además de un presupuesto de obra, en formato Excel, facilitado por el arquitecto Marín.



EDGARDO MARÍN TABARA

HOMBRE DEL PROYECTO: DEMOLICIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE BODEGA DE ALMACENAMIENTO

1º CUARTE, OCTUBRE 01 DE 2017

ITEM	DESCRIPCIÓN PRELIMINAR	CANTIDADES PRESUPUESTARIAS			CANTIDADES PROYECTADAS estado 20/09/2017			CANTIDADES EJECUTADAS			
		UNID	CANTIDAD	UNITARIO	VALOR TOTAL	CANTIDAD	UNITARIO	VALOR TOTAL	CANTIDAD	UNITARIO	VALOR TOTAL
1.0	ACTIVIDADES PRELIMINARES				\$ 10.171.491,08		\$ 10.168.831,18			\$ 9.487.271,84	
1.1	Desmonte de cubiertas de concreto armado y estructura en forma metálica	M2	125,8	\$ 4.040,71	\$ 507.814	196	\$ 4.040,71	\$ 791.738	108	\$ 4.040,71	\$ 432.738
1.2	Desmonte de taracea de terrazo	M2	10,5	\$ 4.040,71	\$ 42.427	10,5	\$ 4.040,71	\$ 42.427	10,5	\$ 4.040,71	\$ 42.427
1.3	Desmonte de puertas y marcos	Unidad	4	\$ 8.825,38	\$ 35.302	5	\$ 8.825,38	\$ 44.127	5	\$ 8.825,38	\$ 44.127
1.4	Demolicion de muros en block de arena-cemento No. 8	M2	119	\$ 7.825,07	\$ 930.956	130	\$ 7.825,07	\$ 1.017.360	130	\$ 7.825,07	\$ 1.017.360
1.5	Desmonte de las instalaciones eléctricas aéreas	Gr	1	\$ 100.000,00	\$ 100.000	1	\$ 100.000,00	\$ 100.000	1	\$ 100.000,00	\$ 100.000
1.6	Demolicion de columnas y estructuras de soporte secundarias	M.C.	81	\$ 8.173,32	\$ 662.029	45	\$ 8.173,32	\$ 367.799	45	\$ 8.173,32	\$ 367.799
1.7	Demolicion de cemento de muro exterior	M.C.	35	\$ 8.173,32	\$ 286.066	35	\$ 8.173,32	\$ 286.066	35	\$ 8.173,32	\$ 286.066
1.8	Excavacion manual para cimientos de columnas	M3	58	\$ 31.343,28	\$ 1.817.910	18,5	\$ 31.343,28	\$ 579.851	18,5	\$ 31.343,28	\$ 579.851
1.9	Excavacion manual para viga concreto	M3	7	\$ 31.343,28	\$ 219.403	14	\$ 31.343,28	\$ 438.806	14	\$ 31.343,28	\$ 438.806
	Reparacion de pinto y pintura	M2	5	\$ 1.022,42	\$ 5.112,10	138	\$ 1.022,42	\$ 1.410.929	138	\$ 1.022,42	\$ 1.410.929
	Reparacion en suelo cemento	M3	5	\$ 58.540,15	\$ 292.701	3,3	\$ 58.540,15	\$ 193.213	3,3	\$ 58.540,15	\$ 193.213
1.10	Reparacion de material subsecuencial en 27 cm	M3	30	\$ 58.540,15	\$ 1.755.205	25	\$ 58.540,15	\$ 1.463.504	17,5	\$ 58.540,15	\$ 1.024.453
1.11	Pavimento de concreto y adoquines	M2	125	\$ 25.885,20	\$ 3.235.650	100	\$ 25.885,20	\$ 2.588.520	80	\$ 25.885,20	\$ 2.070.816
2.0	RECONSTRUCCION EN CONCRETO				\$ 28.533.778		\$ 23.307.861			\$ 18.284.723	
2.1	Concreto para vigas de 50 cm de espesor	M3	8,2	\$ 781.225,78	\$ 6.406.261	5,50	\$ 781.225,78	\$ 4.296.742	5,5	\$ 781.225,78	\$ 4.296.742
2.2	Concreto para cimientos de columnas de 30x30x150cm	M3	2,2	\$ 1.385.231,37	\$ 3.047.509	1,75	\$ 1.385.231,37	\$ 2.424.151	1,75	\$ 1.385.231,37	\$ 2.424.151
2.3	Concreto para cimientos de 30x30x4 mts	M3	3,4	\$ 1.385.231,37	\$ 4.703.867	4,32	\$ 1.385.231,37	\$ 5.981.900	2,19	\$ 1.385.231,37	\$ 3.043.700
2.4	Columnas de confinamiento 15x15	M3	8,2	\$ 83.844,04	\$ 687.951	18,20	\$ 83.844,04	\$ 1.525.754	8,20	\$ 83.844,04	\$ 687.951
2.5	Concreto para viga columnas (25x25)	M3	8,2	\$ 781.225,78	\$ 6.406.261	5,83	\$ 781.225,78	\$ 4.555.527	5,83	\$ 781.225,78	\$ 4.555.527
2.6	Concreto para viga subsecuencial (15x20)	M3	1,5	\$ 781.225,78	\$ 1.171.839	1,52	\$ 781.225,78	\$ 1.188.467	1,52	\$ 781.225,78	\$ 1.188.467
2.7	Concreto para viga superior de arena sobre muro 15x40	M3	2,2	\$ 1.385.231,37	\$ 3.047.509	2,42	\$ 1.385.231,37	\$ 3.345.225	2,42	\$ 1.385.231,37	\$ 3.345.225

Imagen 14. Ilustración de formato de presupuestos entregado por la firma Edgard Marín al grupo investigador

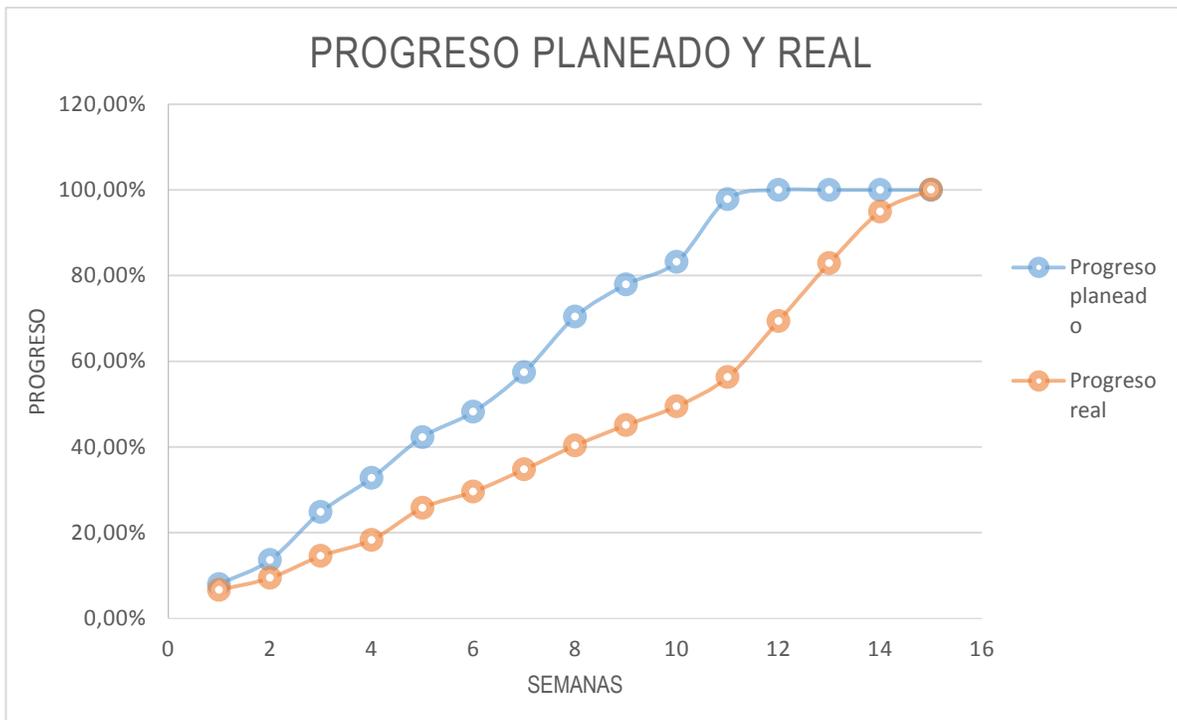
Las ilustraciones corresponden a partes limitadas tanto del cronograma como del presupuesto, los cuales serán plasmados a mayor profundidad en los anexos de esta investigación. Estos documentos sirvieron como línea base con la cual medir la magnitud de retraso o sobrecosto que presentó el proyecto. Para el siguiente título, y como ayuda para una mejor comprensión de todo el desarrollo del proyecto, se mostrará un seguimiento que comprende las observaciones generadas por la ingeniera residente Marta López y el grupo investigador.

6.3. PROGRESO DEL PROYECTO Y OBSERVACIONES

Con el fin de tener una visión general de todo el desarrollo del proyecto, se organizó la tabla 6 y la gráfica 10, las cuales relacionan las actividades ejecutadas, las semanas en las que se llevaron a cabo, el progreso semanal planeado y real, y las observaciones por parte de la ingeniera residente y del grupo investigador, las cuales permitieron establecer los posibles factores que pudieron haber afectado el desarrollo planeado del proyecto.

Los valores de progreso real fueron hallados a través de la aplicación de la tabla que se muestra en la tabla 6, página 51, la cual contiene las cantidades de obra obtenidas por actividad cada semana, junto con el porcentaje de progreso relacionado con esas cantidades. A manera de ejemplo, tomemos la semana 1:

Para la semana 1, según la tabla 6, las actividades que se realizaron fueron 4, y se tuvieron progresos de 32%, 100%, 100% y 100% respectivamente. Esto suma un progreso total de la semana de 332%. Ahora, el progreso total del proyecto equivale a un total de 50 actividades ejecutadas, lo que significa un porcentaje total de 5000%. Este valor de 332% se divide entre 5000%, lo cual es 6,64%. Al final se alcanzó un progreso de 102,5%, esto debido a las cantidades de obra modificadas, al introducir las actividades adicionales.



Grafica 10. progreso total planeado y real del proyecto "Refugio la Milagrosa". Fuente: Autores

Día	Semana	Actividades (código)	Observaciones	Progreso total	
				Planeado	Real
17/08.	1	1.1 - 1.2 - 1.3 - 1.5	<ul style="list-style-type: none"> Falta de presupuesto, por lo tanto, no había suficientes empleados 	8,00%	6,64%
18/08.					
19/08.					
20/08.					
21/08.	2	1.1 - 1.4 - 1.7	<ul style="list-style-type: none"> Falta de presupuesto, por lo tanto, no había suficientes empleados 	13,59%	9,43%
22/08.					
23/08.					
24/08.					
25/08.					
26/08.					
27/08.					
28/08.	3	1.4 - 1.6 - 1.7 - 1.10	<ul style="list-style-type: none"> Falta de presupuesto, por lo tanto no hubo suficientes empleados 	24,81%	14,57%
29/08.					
30/08.					
31/08.					
01/09.					
02/09.					
03/09.	4	1.6 - 1.8 - 1.12 - 1.13	<ul style="list-style-type: none"> Falta de presupuesto para materiales de construcción 	32,74%	18,30%
04/09.					
05/09.					
06/09.					
07/09.					
08/09.					
09/09.					
10/09.	5	1.6 - 1.8 - 1.11 - 1.12 - 2.1 - 3.1 - 5.4	<ul style="list-style-type: none"> Falta de presupuesto para materiales de construcción 	42,31%	25,77%
11/09.					
12/09.					
13/09.					
14/09.					
15/09.					

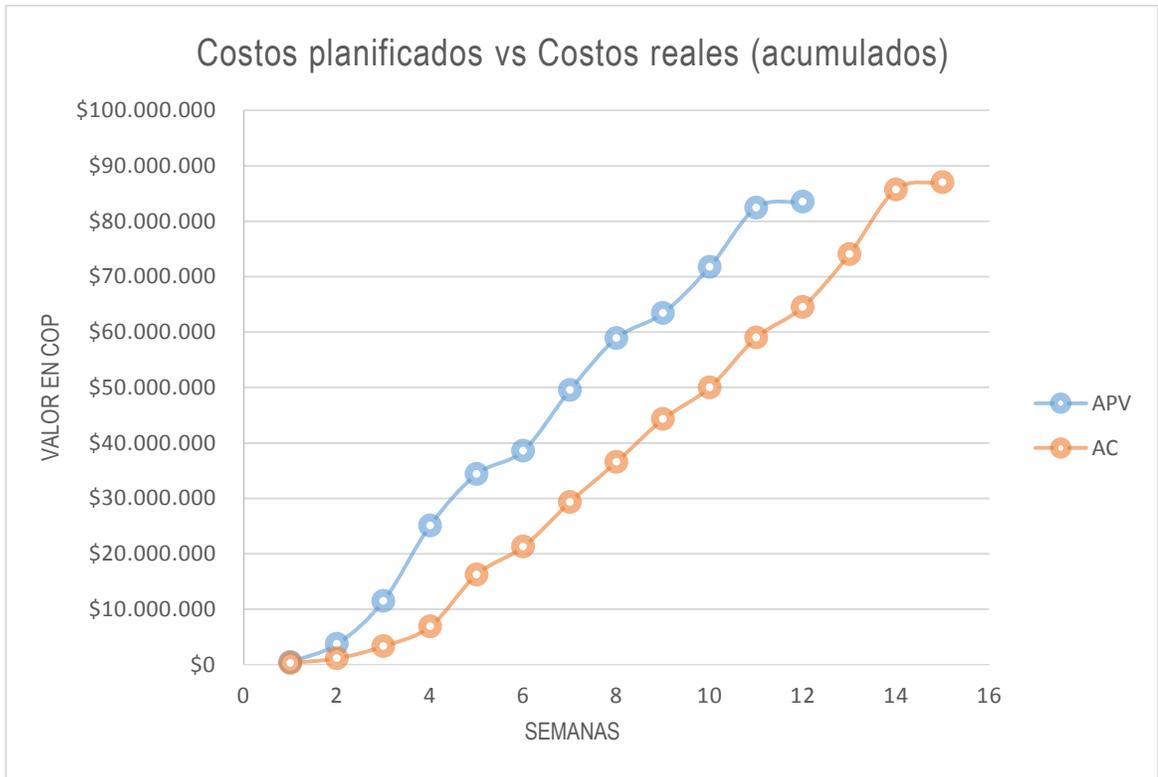
16/09.					
17/09.					
18/09.	6	1.6 - 1.8 - 1.9 - 1.11 - 1.12 - 2.1 - 2.2 - 3.1 - 5.4	<ul style="list-style-type: none"> Falta de presupuesto para materiales de construcción Se decidió no realizar la actividad 3.2 de anclaje, ya que, al principio se pretendía usar las vigas de amarre y cimentación para la nueva construcción. Pero no se pudo porque la cimentación anterior no estaba reforzada. 	48,18%	29,55%
19/09.					
20/09.					
21/09.					
22/09.					
23/09.					
24/09.					
25/09.	7	1.9 - 1.11 - 2.1 - 2.2 - 2.4 - 2.5 - 2.6 - 3.1 - 5.4 - 6.1	<ul style="list-style-type: none"> Viene con 1 semana de retraso. Avanzó sin contratiempos. 	57,45%	34,76%
26/09.					
27/09.					
28/09.					
29/09.					
30/09.					
01/10.					
02/10.	8	1.9 - 2.3 - 2.4 - 2.5 - 2.6 - 6.1	<ul style="list-style-type: none"> Viene con 1 semana de retraso. Algunas horas de retraso por lluvias. 	70,38%	40,32%
03/10.					
04/10.					
05/10.					
06/10.					
07/10.					
08/10.					
09/10.	9	2.3 - 2.4 - 2.7 - 6.1 - 6.2	<ul style="list-style-type: none"> Viene con 1 semana de retraso. Algunas horas de retraso por lluvias. A petición de la persona encargada del sitio donde llevó a cabo la obra, se 	77,91%	45,09%
10/10.					
11/10.					
12/10.					
13/10.					
14/10.					

15/10.			modifican los planes, por lo que se tomó la decisión de agregar 3 semanas al calendario de ejecución para cumplir con lo modificado (Quedó para 12 semanas)		
16/10.	10	2.3 - 2.4 - 2.7 - 6.2 - 6.6	<ul style="list-style-type: none"> • Viene con 2 semana de retraso. • Algunas horas de retraso por lluvias. 	83,19%	49,50%
17/10.					
18/10.					
19/10.					
20/10.					
21/10.					
22/10.					
23/10.	11	2.3 - 2.7 - 6.1 - 6.2 - 6.4 - 6.7 - 7.1 - 9.1 - 9.2	<ul style="list-style-type: none"> • Viene con 2 semanas de retraso. • Retraso por falta de presupuesto. 	97,83%	56,29%
24/10.					
25/10.					
26/10.					
27/10.					
28/10.					
29/10.					
30/10.	12	4.1 - 4.2 - 4.3 - 4.4 - 6.2 - 6.4 - 6.5 - 6.7 - 7.1 - 7.3 - 9.5 - 9.7 - 10.1	<ul style="list-style-type: none"> • Viene con 2 semanas de retraso. • Retraso por falta de presupuesto. • Se toma la decisión de agregar 3 semanas más a la ejecución (15 semanas en total) 	100,00%	69,37%
31/10.					
01/11.					
02/11.					
03/11.					
04/11.					
05/11.					
06/11.	13		<ul style="list-style-type: none"> • Viene con 3 semanas de retraso. • Avanzó con normalidad. 	100,00%	82,89%
07/11.					
08/11.					
09/11.					
10/11.					
11/11.					

12/11.					
13/11.	14		<ul style="list-style-type: none"> • Viene con 3 semanas de retraso. • Avanzó con normalidad. 	100,00%	94,90%
14/11.					
15/11.					
16/11.					
17/11.					
18/11.					
19/11.					
20/11.	15		<ul style="list-style-type: none"> • Terminó con 3 semanas de retraso 	100,00%	100,00%
21/11.					
22/11.					
23/11.					
23/11.					

Tabla 6. Progreso general de las actividades del proyecto "Refugio La Milagrosa". Fuente: Autores

Como complemento a la información previa, la cual incluye las observaciones, se presenta a continuación la gráfica 11 y la tabla 7 las cuales muestran toda la información del progreso del presupuesto, tanto planeado y real como también sus valores acumulados.



Grafica 11. Costos del proyecto "Refugio la Milagrosa", planeados y reales. Fuente: Autores

Los valores faltantes de la tabla 7, que corresponden a las semanas 13, 14 y 15, no fueron añadidos ya que estas semanas se encontraron fueron del presupuesto planificado del proyecto.

Semana	Gasto Semanal (PV)	Acumulado (APV)	Costo Real (AC)	Acumulado (AC)
1	\$466.637	\$466.637	\$301.714	\$301.714
2	\$3.231.889	\$3.698.527	\$821.325	\$1.123.039
3	\$7.787.705	\$11.486.231	\$2.193.938	\$3.316.977
4	\$13.610.574	\$25.096.805	\$3.538.811	\$6.855.788
5	\$9.272.085	\$34.368.891	\$9.402.250	\$16.258.038
6	\$4.210.333	\$38.579.224	\$5.014.637	\$21.272.675
7	\$10.927.630	\$49.506.854	\$8.027.263	\$29.299.938
8	\$9.395.290	\$58.902.144	\$7.247.711	\$36.547.649
9	\$4.505.311	\$63.407.455	\$7.739.553	\$44.287.203
10	\$8.322.634	\$71.730.089	\$5.706.694	\$49.993.897
11	\$10.706.666	\$82.436.754	\$9.010.357	\$59.004.254
12	\$1.057.822	\$83.494.576	\$5.521.196	\$64.525.449
13	-	-	\$9.538.109	\$74.063.558
14	-	-	\$11.663.552	\$85.727.110
15	-	-	\$1.298.236	\$87.025.347
Total	\$83.494.576		\$87.025.347	

Tabla 7. Progreso de los costos semanales, planificado y real, acumulados.

Para una observación más detallada del cronograma real del proyecto “Refugio la Milagrosa”, se hizo uso de un formato en Excel, a manera de una tabla, donde se especificó, para cada celda, lo correspondiente a las cantidades de obra alcanzadas cada día para cada actividad. Debido a la extensión de esta tabla, la cual contiene más de 8000 celdas, a continuación, se mostrará solo una pequeña parte de ésta en la tabla 15. La tabla completa hace parte de los planos añadidos al trabajo, engrapados junto con este documento.

Teniendo ya plasmada la información respecto a los costos y las duraciones planeadas y reales, se pudo proceder a aplicar las teorías de valor ganado, programación ganada y duración ganada para un posterior análisis y así cumplir con los objetivos de esta investigación.

Para el caso de la duración ganada, fue necesario la inclusión de una tabla completamente diferente a las usadas en las demás teorías, esto, debido a que ya no se necesitaría información relacionada al presupuesto del proyecto o a las cantidades de obra presupuestadas, como se explicó anteriormente en el marco conceptual, título 2.1.13. La imagen 16 representa una unión de las duraciones planeadas para cada actividad, su duración real y la duración ganada, la cual manifiesta que tan eficientes fueron esos días ejecutados.

La información allí contenida fue obtenida al hacer un seguimiento de las duraciones ejecutadas para cada actividad.

6.4. APLICACIÓN DE LA TEORIAS VALOR GANADO, PROGRAMACION GANADA Y DURACION GANADA

En base al fundamento teórico anteriormente expuesto en el marco conceptual, se logró definir y generar todas las variables correspondientes a cada teoría, siendo estas la de Valor Ganado, Programación Ganada y Duración Ganada. Los datos utilizados en este proceso fueron los presentes en la tabla 7 y el cronograma de cantidades de obra de la imagen 15.

6.4.1. VALOR GANADO

Para el caso del valor ganado, el valor de la variable EV se obtiene haciendo uso de la tabla 6 y la tabla 7, multiplicando el porcentaje de progreso correspondiente a cada semana por el costo total planeado del proyecto. A continuación, se muestra un ejemplo de este cálculo:

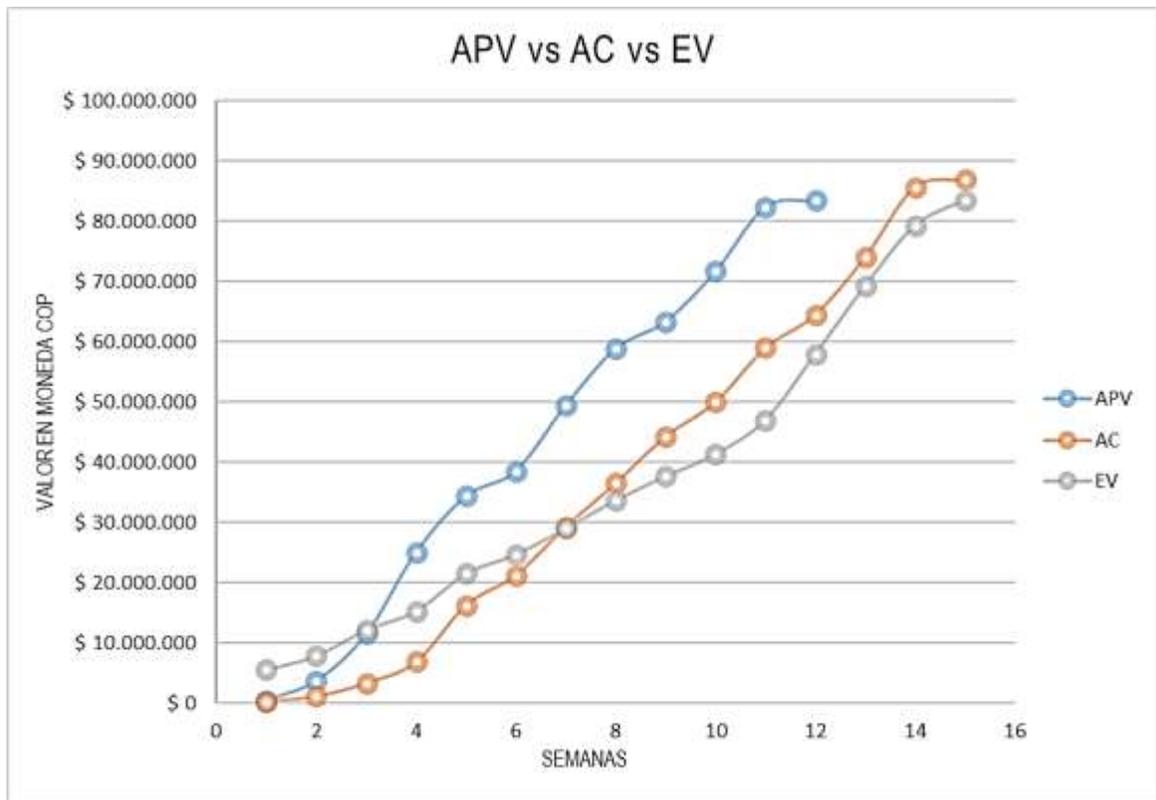
Para la semana 7, el conjunto de actividades que se desarrollaron fueron: 1.9 - 1.11 - 2.1 - 2.2 - 2.4 - 2.5 - 2.6 - 3.1 - 5.4 - 6.1. Considerando las cantidades de obra alcanzadas, dividiéndolas por las cantidades de obra planeadas para cada actividad y multiplicándolas por 100, se obtiene un progreso real de 5,21%, el cual se suma al progreso real acumulado hasta la semana 6, que es de 29,55%, y se obtiene 34,76%. El costo total planeado del proyecto es \$83'494.576 millones COP. Por lo tanto, el Valor Ganado (EV) para la semana 7 fue de \$4'346.227 millones, y su valor acumulado hasta esa semana fue de \$29'019.959 millones.

La tabla 8, resume todos los valores calculados del valor ganado correspondiente a cada semana junto con su valor acumulado.

Semana No.	Valor Ganado (EV)	Acumulado (EV)
1	\$ 5.547.881	\$ 5.547.881
2	\$ 2.322.736	\$ 7.870.616
3	\$ 4.292.790	\$ 12.163.406
4	\$ 3.115.851	\$ 15.279.257
5	\$ 6.236.878	\$ 21.516.135
6	\$ 3.157.598	\$ 24.673.733
7	\$ 4.346.227	\$ 29.019.959
8	\$ 4.647.141	\$ 33.667.101
9	\$ 3.982.775	\$ 37.649.875
10	\$ 3.677.352	\$ 41.327.227
11	\$ 5.671.369	\$ 46.998.596
12	\$ 10.923.595	\$ 57.922.191
13	\$ 11.288.717	\$ 69.210.909
14	\$ 10.024.359	\$ 79.235.267
15	\$ 4.281.435	\$ 83.516.702
Total	\$ 83.516.702	

Tabla 8. Valor ganado de cada semana y su valor acumulado, proyecto La Milagrosa. Fuente: Autores

En conjunto con los valores obtenidos de la tabla 7 y la tabla 8, construimos la gráfica 12. Esta grafica contiene todos los valores acumulados de las variables PV, AC y EV. A través de estas variables se obtuvo un panorama de todo el progreso del proyecto y si éste tuvo o no, sobrecostos. Además, se pudo observar un retraso real de 3 semanas, debido a que la curva APV termina a las 12 semanas.



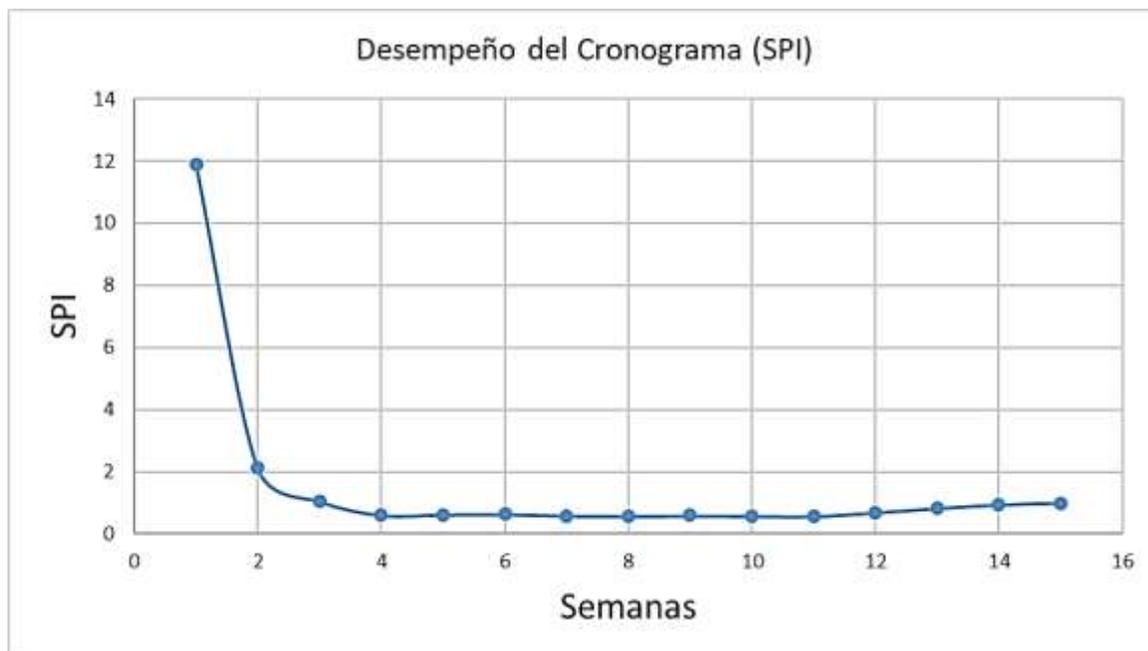
Grafica 12. Valores acumulados de APV, AC y EV como imagen del desarrollo del proyecto. Fuente: Autores

Adicional a esto, y cumpliendo con los objetivos de esta investigación, se calcularon los valores que corresponden al índice de desempeño del tiempo SPI, los cuales se obtuvieron de la división de los valores de EV (acumulado) y APV, tomados de las tablas 7 y 8 respectivamente. La tabla 9 y la gráfica 13 contienen estos valores. Posteriormente se analizaron de forma conjunta los valores de los índices SPI, $SPI(t)$ y ED, los cuales se mostrarán en los siguientes títulos.

Además del SPI también se calcularon los valores de CPI como una medida de eficiencia del costo de los recursos presupuestados. Un valor de CPI inferior a 1,0 indica un costo superior al planificado con respecto al trabajo completado, y un CPI mayor a 1,0 lo contrario.

Semana No.	Desempeño de Costos (CPI)	Desempeño del Cronograma (SPI)
1	18,38788	11,88907
2	7,00832	2,12804
3	3,66702	1,05896
4	2,22867	0,60881
5	1,32342	0,62604
6	1,15988	0,63956
7	0,99044	0,58618
8	0,92118	0,57158
9	0,85013	0,59378
10	0,82665	0,57615
11	0,79653	0,57012
12	0,89766	0,69372
13	0,93448	0,82893
14	0,92427	0,94899
15	0,95968	1,00027
Total		

Tabla 9. Índices de desempeño CPI y SPI, proyecto "La Milagrosa". Fuente: Autores



Gráfica 13. Valores de SPI en funciones de las semanas recorridas. Fuente: Autores

Como podemos ver de la gráfica 13, y en la relación al marco conceptual antes mencionado, los valores de SPI, de la teoría EVM, conforme va terminando el proyecto, se acercan a 1, ajeno a si existe o no un retraso en el proyecto, lo cual va en completa concordancia con ese marco conceptual. El valor inicial de SPI, que es 11,89, fue reemplazado por el valor 3 solo con el fin de mejorar la distribución de los datos de la gráfica 13.

6.4.2. PROGRAMACION GANADA

Los resultados obtenidos a través de la aplicación de Valor Ganado, para el proyecto “La Milagrosa”, fueron el fundamento sobre el cual fue posible aplicar la teoría Programación Ganada. Vale la pena resaltar, como se hizo explícito en las observaciones de la tabla 6, que la programación inicial del proyecto fue modificada, cambiando los valores de AP y APV antes presupuestados, ajustándolos no a una fecha de terminación de 9 semanas, como se había definido en el principio, sino de una de 15 semanas, como una consideración del equipo constructor ante el retraso presentado.

Para la programación ganada se hizo uso, al igual que en el Valor Ganado, de la tabla 7, pero añadiéndole el uso de la tabla 8, la cual obtuvimos de esa teoría. En base al marco conceptual de Programación Ganada, se pudo calcular cada valor de ES para cada semana del proyecto. La forma correcta de hacerlo fue considerar el valor de EV de cada semana, si este o no era menor al valor de APV de la semana anterior. Un ejemplo del cálculo de estos valores es el que se plasma en la imagen 17, creada por los autores de la investigación, en la que se observa una tabla en formato Excel, la cual une las tablas 7 y 8- Además se creó una nueva tabla, la tabla 10, que corresponde al conjunto de resultados de ES para cada semana, todo esto para un mejor manejo de los resultados.

Semana No.	Gasto Semanal (PV)	Acumulado (APV)	Costo Real (AC)	Acumulado (AC)	Progreso Planificado	Progreso Real	Semana No.	Valor Ganado (EV)	Acumulado (EV)	Variación de Costos (CV)	Variación de Tiempo (SV)	Desempeño de Costos (CPI)	Desempeño del Cronograma (SPI)	Programación Ganada (ES)	Acumulado (ES)
1	\$ 466.637	\$ 466.637	\$ 301.714	\$ 301.714	8,00%	6,64%	1	\$ 5.547.881	\$ 5.547.881	\$ 5.246.167	\$ 5.061.243	18,38788	11,89607	11,8991	11,8991
2	\$ 3.231.869	\$ 3.698.527	\$ 821.325	\$ 1.123.039	13,99%	9,43%	2	\$ 2.322.736	\$ 7.870.616	\$ 6.747.577	\$ 4.172.060	7,00832	2,12804	3,2909	15,1900
3	\$ 7.787.705	\$ 11.486.231	\$ 2.193.938	\$ 3.316.977	24,81%	14,57%	3	\$ 4.292.790	\$ 12.183.406	\$ 8.846.430	\$ 677.175	3,66702	1,05896	3,0870	18,2669
4	\$ 13.610.574	\$ 25.096.805	\$ 3.538.811	\$ 6.855.788	32,74%	18,30%	4	\$ 3.115.851	\$ 15.279.257	\$ 8.423.488	\$ 9.817.548	2,22867	0,60881	3,2787	21,5456
5	\$ 9.272.085	\$ 34.368.891	\$ 9.402.290	\$ 16.258.038	42,31%	25,77%	5	\$ 6.236.878	\$ 21.516.135	\$ 5.288.097	\$ 12.882.796	1,32342			
6	\$ 4.210.333	\$ 38.579.224	\$ 5.014.607	\$ 21.272.675	48,18%	29,55%	6	\$ 3.157.588	\$ 24.673.733	\$ 3.401.058	\$ 13.906.491	1,15988	0,63856	3,9688	29,2515
7	\$ 10.927.630	\$ 49.506.854	\$ 8.027.263	\$ 29.299.938	57,45%	34,76%	7	\$ 4.346.227	\$ 29.019.969	\$ -279.979	\$ -20.486.895	0,99044	0,98618	4,4231	33,6746
8	\$ 9.396.290	\$ 58.903.144	\$ 7.247.711	\$ 36.547.649	70,38%	40,32%	8	\$ 4.647.141	\$ 33.667.101	\$ -2.890.549	\$ -25.235.043	0,92118	0,97158	4,9243	38,5689
9	\$ 4.506.311	\$ 63.409.455	\$ 7.739.553	\$ 44.287.203	77,91%	45,09%	9	\$ 3.982.776	\$ 37.649.875	\$ -6.637.327	\$ -25.757.660	0,85013	0,59378	5,7793	44,3781
10	\$ 8.322.634	\$ 71.732.089	\$ 5.706.684	\$ 49.993.887	83,19%	49,50%	10						0,57615	6,2515	50,6286
11	\$ 10.706.666	\$ 82.438.754	\$ 9.010.387	\$ 59.004.264	97,83%	56,29%	11						0,57012	6,7706	57,4001
12	\$ 1.057.822	\$ 83.496.576	\$ 5.521.196	\$ 64.525.449	100,00%	69,37%	12						0,68372	7,8867	65,2658
13	-	-	\$ 9.538.109	\$ 74.063.558	100,00%	82,89%	13						0,82893	9,6973	74,9931
14	-	-	\$ 11.963.552	\$ 86.027.110	100,00%	94,90%	14						0,94899	10,7010	85,6941
15	-	-	\$ 1.298.236	\$ 87.325.347	100,00%	100,03%	15						1,00027	12,0209	97,7150
Total	\$ 83.494.576		\$ 87.025.347				Total								

Para el caso de la Milagrosa, en la semana "5", el EV⁽⁵⁾ acumulado \$21.516.135, menos el APV⁽⁴⁾ \$25.096.805 es menor a "0", por lo que el proyecto todavía se encuentra estancado en la semana 4

Es decir, el EV⁽⁵⁾ "todavía" se encuentra entre los APV⁽⁴⁾ y APV⁽⁹⁾: \$25.096.805 (semana 4) y \$11.486.231 (semana 3)

Imagen 17.E Valores calculados de ES a través de un ejemplo. Fuente: Autores

La metodología, para este caso, fue la de tomar valores de EV acumulado, junto con los de APV y calcular los valores de ES, en base la ecuación (2), del título 2.1.2. Para los valores de EV acumulado “menores” al valor de APV correspondiente a la semana anterior, se predispuso a hacer los cálculos como se ilustra en la imagen 17.

Semana No.	Programación Ganada (ES)	Acumulado (ES)
1	11,8891	11,8891
2	3,2909	15,1800
3	3,0870	18,2669
4	3,2787	21,5456
5	3,7369	25,2825
6	3,9689	29,2515
7	4,4231	33,6746
8	4,9243	38,5989
9	5,7793	44,3781
10	6,2515	50,6296
11	6,7705	57,4001
12	7,8957	65,2958
13	9,6973	74,9931
14	10,7010	85,6941
15	12,0209	97,7150

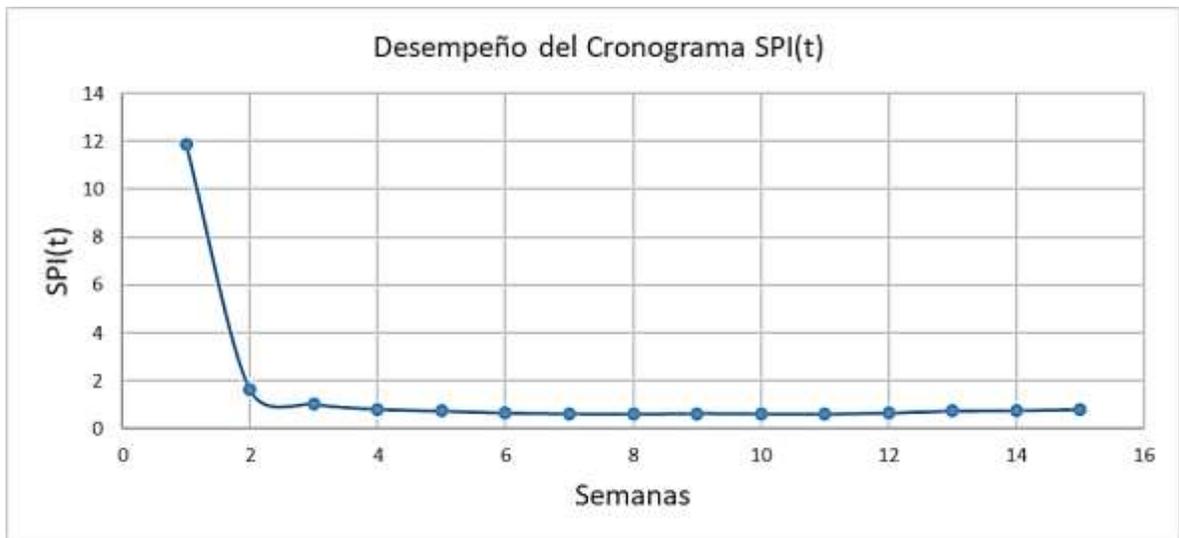
Tabla 10. Programación ganada de cada semana y su valor acumulado, proyecto La Milagrosa. Fuente: Autores

La tabla 10 resume todos los valores del valor ganado correspondiente a cada semana junto con su valor acumulado, estos fueron encontrados del mismo modo como fue explicado el ejemplo de la gráfica 11. Además, se obtuvieron los valores que corresponden a las variables $SV(t)$ y $SPI(t)$, los cuales fueron ordenados en la tabla 11.

Semana No.	Variación del Cronograma (SV(t))	Índice de Desempeño del Cronograma (SPI(t))
1	10,8891	11,8891
2	1,2909	1,6455
3	0,0870	1,0290
4	-0,7213	0,8197
5	-1,2631	0,7474
6	-2,0311	0,6615
7	-2,5769	0,6319
8	-3,0757	0,6155
9	-3,2207	0,6421
10	-3,7485	0,6251
11	-4,2295	0,6155
12	-4,1043	0,6580
13	-3,3027	0,7459
14	-3,2990	0,7644
15	-2,9791	0,8014

Tabla 11. Valores de SV(t) y SPI(t), proyecto La Milagrosa. Fuente: Autores

Considerando el análisis del índice SPI(t), objetivo de esta investigación, para una mejor visualización, se generó la gráfica 14, la cual muestra sus valores en función de las semanas alcanzadas.



Grafica 14. Valores de SPI(t) en función del tiempo. Fuente: Autores

Como podemos ver de la gráfica 14, conforme va terminando el proyecto, se acercan a 0,80. El valor inicial de SPI(t), que es 11,89, fue reemplazado por el valor 2 solo con el fin de mejorar la distribución de los datos en la gráfica.

6.4.3. DURACION GANADA

Para el caso de la duración ganada, se utilizó la tabla representada por la imagen 16, la cual fue mencionada en el título 6.3. Vale la pena resaltar que, los valores de duración que definen a las variables PD, ED y AD, de esta teoría, no necesariamente corresponden a días de ejecución totales del proyecto “La Milagrosa”. Un ejemplo para ilustrar mejor esta afirmación es el siguiente:

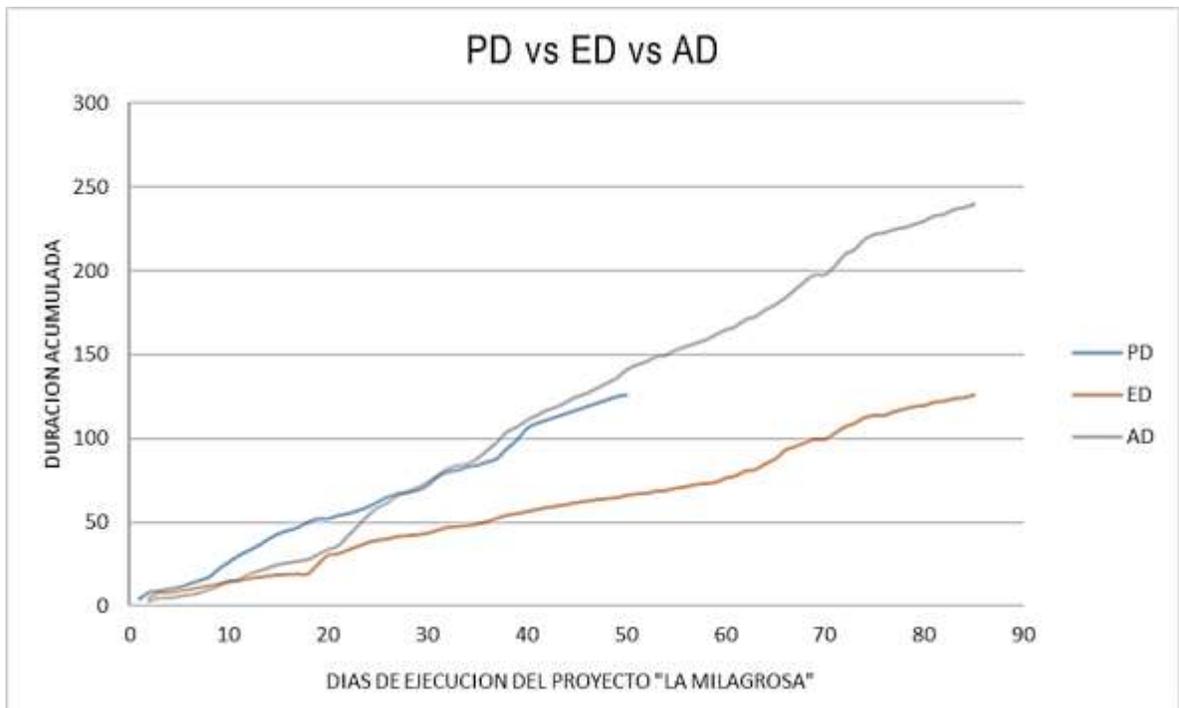
La semana 5 contiene un total de 6 días de ejecución de la obra, aunque, considerando las duraciones durante ésta, contiene un total de 30 unidades de duración, las cuales corresponden a 5 actividades desarrolladas esa semana, que son, la actividad 1.6 con 5 duraciones, la 1.8 con 5, la 1.12 con 5, la 2.1 con 5, la 3.1 con 4 y la 5.4 con 6 duraciones. La tabla que muestra estos valores es la representada por la imagen 16 y hace parte de los

anexos de esta investigación. A continuación, se muestra la tabla 12, la cual muestra los valores de las variables PD, ED y AD para cada semana de ejecución.

No Semanas	PD	ED	AD
1	9	8	5
2	22	13,3	12
3	43	18,8	25
4	54	31,3	36
5	67	41,7	66
6	81	47,6	84
7	99	55,2	107
8	117	61,8	125
9	126	67	144
10	-	72,6	157
11	-	81,6	173
12	-	99,6	198
13	-	114	222
14	-	122	233
15	-	126	240

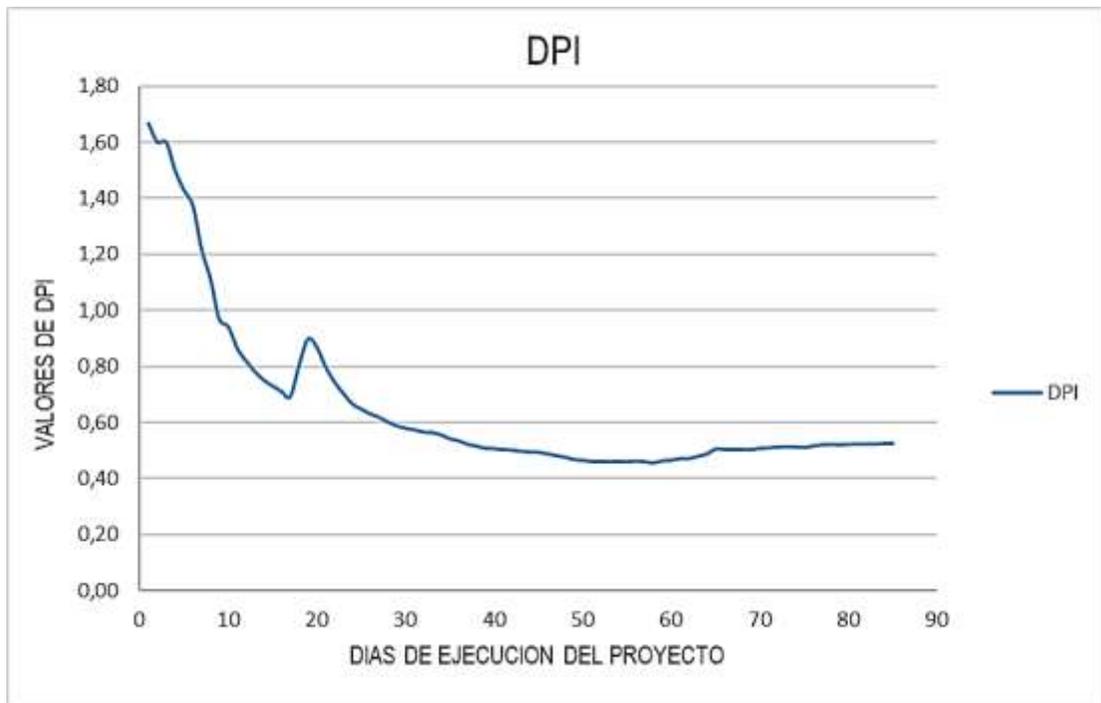
Tabla 12. Valores de PD, ED y AD, en cada semana, del proyecto La Milagrosa. Fuente: Autores

Adicional a la tabla 12, se construyó la gráfica 15, para una mejor representación de los datos. En esta se observa la gran diferencia entre las duraciones planificadas totales de las actividades y sus duraciones reales totales. Cada unidad de duración de una actividad está conectada con un valor monetario, dado que son obreros quienes llevan a cabo cada día de duración de cada actividad y estos deben ser pagados. Más adelante, en el análisis de esta teoría y de sus índices, se explica las consecuencias de esto.

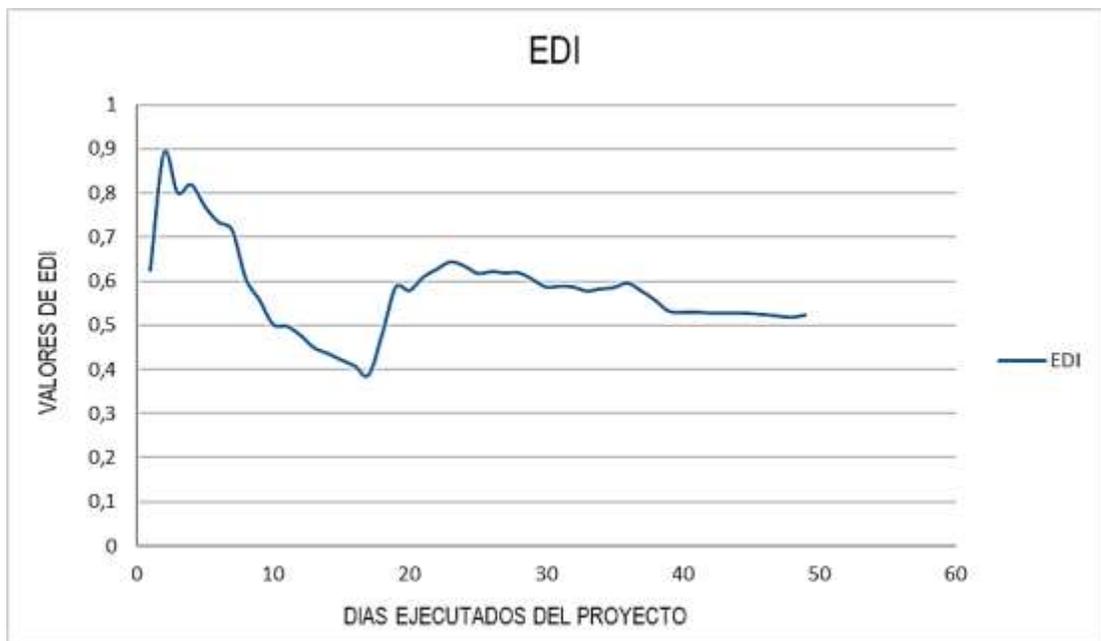


Gráfica 15. Duraciones acumuladas para PD, ED y AD en relación a días de ejecución totales. Fuente: Autores

Para terminar con los resultados obtenidos de la aplicación de las teorías valor ganado, programación ganada y duración ganada, a continuación, se muestra la gráfica 16, que contiene los valores del índice de desempeño del tiempo DPI. Este índice, el cual relaciona las variables ED y AD, como se definió en el marco conceptual del título 2.1.13, representa, solamente, la eficiencia que se está alcanzando de las duraciones de las actividades. Por ejemplo, si en la actividad (i), teniendo un $PD_{(i)}$ de 4 duraciones, se ejecutaron en realidad 6 duraciones ($AD_{(i)} = 6$), la eficiencia para cada uno de esas duraciones ejecutadas fue de 0,67 ($ED_{(i)}$), lo que significa que, en cada duración ejecutada la eficiencia de duración realmente ganada fue del 67%. Otro índice importante, que el retraso de las duraciones respecto al cronograma planificado es el EDI, el cual combina las variables PD y ED, como se muestra en la gráfica 17.



Grafica 16. Valores de DPI en relación a los días ejecutados del proyecto. Fuente: Autores



Grafica 17. Valores de EDI en relación a los días ejecutados del proyecto. Fuente: Autores

La grafica 17 solo muestra los días ejecutados hasta la fecha limite planeada por el equipo constructor antes del inicio de actividades, que fue de 50 días, esto debido a que, después de esta fecha, los valores de TPD permanecen iguales, lo que significa que, el índice de retraso total para ese proyecto fue de 0,52, para el caso particular del proyecto “La Milagrosa”. Este valor puede ser usado como una herramienta de predicción del TAD, lo que fue analizado en más detalle en los siguientes títulos.

6.5. ANALISIS DE LAS VARIABLES E INDICES DE DESEMPEÑO DEL TIEMPO DE CADA TEORIA, A TRAVES DE LA GENERACION DE PREGUNTAS

6.5.1. VALOR GANADO

Al observar los valores de EV acumulados de la tabla 8, en relación a los valores de APV de la tabla 7, surge la siguiente pregunta:

- 1** ¿Por qué el valor final de AC acumulado, para la semana 15, el cual es de \$87'025.347, es mayor al valor de APV, de \$83'494.576, para la fecha de terminación planeada (semana 12)?

La respuesta a esta pregunta se encuentra plasmada en las observaciones de la tabla 6, en la que se expresa de que, a decisión del equipo constructor del proyecto, se añadieron 5 nuevas actividades, las cuales, a su vez, contribuyeron a un aumento del valor total de costos incurridos.

- 2** ¿Qué consecuencias tuvo para la firma constructora, que el valor final de CV (semana 15), haya sido de - \$3'508.644?

Dado que este valor está por fuera del valor ganado, el cual reciben los dueños de la obra, el costo de - \$3'508.644 debió ser asumido por la firma de algún modo, que, para este caso en

particular, fue a través de un crédito bancario, además de ingresos provenientes de otra obra actualmente en ejecución.

3 ¿Qué información revela el valor de SPI para la semana 12, de 0,69 siendo esta la semana de terminación planeada del proyecto?

En la semana 12 el proyecto debió haber terminado, aunque en realidad, el valor ganado aun no era igual al planeado para esa semana. Siendo SPI la relación entre EV acumulado y APV, esta relación de 0,69 para la fecha de terminación planeada del proyecto, revela de que el desarrollo de las actividades y su valor ganado hasta la semana 12, solo correspondieron al 69,37% de avance ganado para el dueño del proyecto

4 ¿Qué predicción pudo haberse calculado con este valor de SPI de 0,69 y qué relación tiene esto con el porcentaje de progreso real hasta esa fecha (semana 12)?

Si se considera este valor de SPI de 0,69 a lo largo de las 12 semanas recorridas, y se extrapolan las semanas reales de terminación del proyecto, usando el restante al valor final de SPI, que es de 0,31, usando una regla de 3, se pudo haber encontrado un estimado de estas semanas, de la siguiente manera: si 12 semanas equivalen a 0,69, entonces **X** semanas de terminación equivalen a 1 (SPI final). Con lo que obtenemos un **X** igual a 17 semanas.

Ahora, este valor estimado solo puede ser considerado como valido siempre y cuando se planifique una variación del porcentaje de progreso global del proyecto igual al de las 11 semanas anteriores. Esta varianza puede ser calculada al restar los valores de progreso real de la semana en que se encuentre el proyecto con su valor para la semana anterior. Por ejemplo, el progreso real hasta la semana 7 fue de 34,76%, y el de la semana 6 fue de 29,55%, así que la varianza del progreso real entre estas dos fechas fue de 5,21%. Esta afirmación es válida debido a que, los valores de EV son obtenidos de la columna de progreso real de la tabla 7, y cómo podemos observar del progreso real para las semanas 13, 14 y 15, las varianzas de los valores de progreso real aumentaron de una forma

considerable en comparación a la de las semanas anteriores, lo que produjo una terminación final del proyecto de solo 15 semanas.

- Para las últimas 4 semanas de ejecución, se evidencia un incremento promedio en la varianza del progreso real de 11,92%, en comparación al de las semanas anteriores, de tan solo 5%, ¿Qué causas pudieron haber originado esto?

Al observar la tabla ilustrada por la imagen 5, la cual hace parte de los planos añadidos al trabajo entregado, se evidencia que: el porcentaje de progreso semanal que corresponde a las semanas 12, 13, 14 y 15, que son de 654%, 676%, 600% y 256%, valores bastante grandes en consideración al de las semanas anteriores (Ver imagen 18).

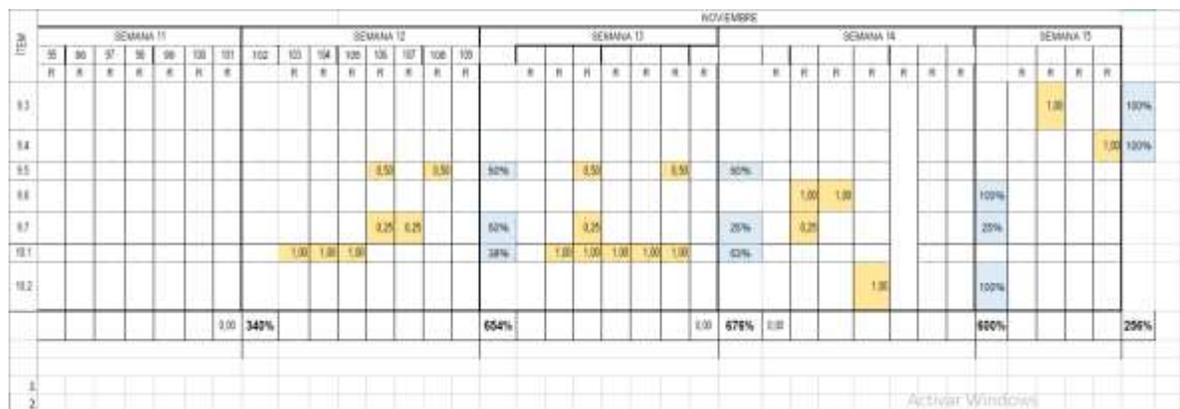


Imagen 18. Sección de la tabla mencionada, para las semanas 12, 13, 14 y 15. Fuente: Autores

Estos valores fueron obtenidos debido para ese intervalo final del proyecto, la mayor parte de las actividades que se ejecutaron fueron de menor duración, además de que eran más fáciles de llevar a cabo, lo que significó que se lograron ejecutar más actividades al mismo tiempo, dada su baja complejidad, y en menor duración, con lo que los porcentajes de progreso semanal aumentaron considerablemente.

- Considerando la amplia diferencia entre los valores de AC acumulado y de APV (un promedio de 15'865,631 de diferencia), ¿Qué consecuencia tuvo esto sobre el desempeño del proyecto?

La variable SV , la cual depende de APV y de EV acumulado, hubiese tenido un resultado más favorable, es decir, más cercano al rango positivo, debido a que, siendo APV menor, los valores de la resta EV acumulado – APV (SV), pudieron haber sido menos negativos.

A su vez, los valores de SPI , teniendo valores de APV menores, pudieron haber mejorado, siendo más cercanos a 1, debido a que la relación EV acumulado/ APV (SPI) hubiese sido más favorable.

6.5.2. PROGRAMACION GANADA

Al observar los valores de ES acumulados de la tabla 10, en relación a los valores de APV de la tabla 7, surge la siguiente pregunta:

- 1** ¿Por qué el valor de ES para la semana 15, habiendo culminado el proyecto, fue solo de 12 semanas, y cómo se explica esto?

Como se expresó en la tabla 6, el proyecto en general tuvo un retraso de 3 semanas. Éstas fueron añadidas al finalizar la semana 12, como resultado de una junta de construcción, para un total de 15 semanas. Este valor de ES igual a 12 lo que representa es que, aunque se hayan ejecutado 15 semanas, lo que realmente se alcanzó fueron 12 semanas, en termino de actividades y de cantidades de obra planificadas.

- 2** ¿Qué relación tiene esto con la variable $SV(t)$?

La variable $SV(t)$ comprende la resta entre los valores de programación ganada ES y las semanas ejecutadas. Al final del proyecto, el valor de $SV(t)$ fue de -3 aproximadamente. Esto indica que, al igual que como se expresó en la respuesta anterior, la ejecución del proyecto se retrasó en 3 semanas.

- 3** ¿Por qué el valor del índice de desempeño $SPI(t)$, al comienzo del proyecto, tuvo una magnitud tan alta, de 11,89, en comparación a las demás semanas de ejecución, y como

puede explicarse esto?

Los valores de SPI(t) dependen de ES, y estos a su vez del valor ganado EV y de APV. Resulta que, la planificación del costo planificado para la primera semana fue solo de \$466,637, en comparación al valor ganado obtenido para esa primera semana, que fue de \$5'547,881, considerando un progreso real para esa semana de 6,64%. Esta discrepancia entre APV y EV pudo deberse a que, no se consideró el progreso planeado para esa semana, de 8,0%, en función del costo total planeado, que fue de \$83'494,576, lo que, si se hizo para el caso de EV, sino que fue una consideración de parte del equipo constructor, ajena a esto.

Este valor de APV para la semana 1 representaba un valor ganado EV asociado de solo \$466,637, con lo que, habiendo obtenido un valor de \$5'547,881, la métrica de ES consideraba que cada semana, de allí en adelante, representaría solo ese valor pequeño, y que, habría alcanzado, de forma hipotética, un total de 11,89 semanas.

4 ¿Qué nos dice el valor de SPI(t) para el final del proyecto, de 0,80, respecto al desempeño en la gestión del tiempo?

Valores de SPI(t) menores de 1, para cualquier semana de ejecución de un proyecto, representan que este está retrasado, en un porcentaje igual a 1 menos el valor de SPI(t), para esa semana. Es decir que, después de la semana 3, que es cuando empiezan a retrasarse unas actividades, el valor de SPI(t) es menor que 1, y eso queda en evidencia en la tabla 11, donde para la semana 4, el valor de SPI(t) es de 0,82, significando que, para esa semana, el porcentaje de retraso es igual a $1 - 0,8197 = 0,1803$, que es un valor porcentual de 18,03%.

Un valor final de SPI(t) de 0,8014, para la semana 15, significa un porcentaje final de retraso del proyecto, como fue Re planificado, de 0,1986, o de 19,86%

5 ¿Qué provoco que el proyecto mantuviese una programación ganada ES menor a 4 aun hasta la semana 7?

De la semana 3 a la semana 4 se planifico el más grande cambio en el valor de APV, específicamente de \$13'610,574. Para el intervalo que va de la tercera semana a la sexta, el valor de EV acumulado correspondiente solo aumento en promedio por semana \$4'170,109. El valor de ES acumulado para una determinada semana, depende que su valor de EV sea mayor que APV, ambos correspondientes a esa misma semana.

De la semana 3 a la semana 4, el APV, debido al aumento ya mencionado de \$13'610,574, alcanzó un valor de \$25'096,805, el cual solo pudo ser superado por el ES acumulado después de 4 semanas, ya teniendo éste un valor de \$29'019,959 (semana 7), que hasta la semana 6 solo era de \$24'673,733

6.5.3. DURACION GANADA

En ED hablamos de eficiencia de los días de actividad trabajados y planeados. Es decir, para un total de 3 días de trabajo planeados de la actividad (i), por ejemplo, esos 3 días corresponden al 100% de cantidad o duración de trabajo. Ahora, si la actividad fue ejecutada en 8 días, significa que, para cada día de trabajo enfocado a la actividad, en realidad se logró el 0,375 de la magnitud del trabajo, en duración. Ahora:

1. ¿Qué relación tienen los valores de ED y AD?

Dado que cada día de trabajo de una actividad debe ser pagada, los valores de AD representan la cantidad real de días de trabajo pagados, los cuales fueron ejecutados. A diferencia de AD, los valores de ED representan los días de trabajo realmente ganados de la planificación, considerando que, si se tienen valores de AD superiores a ED, no solo se estaría pagando más por un trabajo que pudo haberse hecho en menos tiempo, según lo planeado, sino que los días ejecutados para esas actividades, superiores a los días de trabajo planeados para ésta, se consideran ineficientes, desde el punto de vista de la Duración Ganada.

2. En relación a los valores de DPI, expresados en la gráfica 16, si el DPI es de 0,52, ¿Por

qué la varianza entre el APV y el AC acumulado, al final del proyecto, parece haber sido pequeña?

Esta pregunta nace de la consideración hecha en la primera pregunta, de que una diferencia entre AD y ED negativa significan la presencia de sobrecostos, consecuencia de las actividades que manifestaron mayor duración ejecutada en relación a la planeada. Considerando que, un DPI igual a 0,52, equivale a un valor de AD dos veces el de ED, es válido considerar que el proyecto debió haber mostrado una varianza, entre los costos planificados totales y los costos reales acumulados, bastante grande.

Dado que el presupuesto acumulado APV, hasta la semana 12, fue considerablemente grande (\$83'494,570) en comparación con el realmente usado AC acumulado para la misma semana (\$64'525,449), Una variación positiva entre estas dos variables para la fecha, con un valor de \$18'969,127, significaba un capital de trabajo para las siguientes 3 semanas, suficiente para que, al finalizar el proyecto, esta varianza solo haya llegado hasta el valor de - \$3'508,644.

La razón por la que esto pudo haberse presentado es porque, el equipo constructor, al momento de planificar los PV para cada semana, fueron un poco conservadores al respecto, dándoles un factor de seguridad implícito, correspondiente a esta gran diferencia a lo largo del desarrollo del proyecto.

Ahora, estos valores de DPI a lo largo de la ejecución del proyecto, relativamente bajos, pudieron también ser el resultado de una planeación de las duraciones de las actividades muy corta, es decir, que se le asignó muy poca duración a cada actividad. En relación a esta observación, se genera la siguiente pregunta:

3. ¿Qué variables podemos usar y que relación entre estas debemos utilizar para conocer la discrepancia entre las duraciones planeadas y las duraciones ejecutadas de las actividades?

La variable TPD define el total de duraciones planeadas para un proyecto, la cual acumula los valores de PD. La variable TAD define el total de duraciones ejecutadas, y al igual que el TPD, las acumula. Teniendo un TPD igual a 126, y un TAD de 240, podemos usar estas dos para hallar el porcentaje de aumento de las duraciones ejecutadas en relación a las planeadas, como se consideró al final de la pregunta anterior, tomando la relación TPD/TAD , que define al índice de desempeño del tiempo EDI, la cual arrojó un valor de 1,90.

Este valor representa un porcentaje de aumento del 190%, lo que significa que, es posible suponer que, una causa lógica para la disminución del DPI a lo largo del proyecto, pudo haber sido el alto porcentaje de EDI, el cual representa un valor de duraciones planeadas, de todas las actividades en general, muy pequeño; se dice “general”, debido a que no todas las actividades mostraron este aumento, como, por ejemplo, la actividad 1.13, la cual tenía un PD de 10, pero fue culminada con un AD de 2.

4. ¿Qué relación tiene, un valor de EDI de 0,51 a la fecha de terminación de las PD, en la semana 9, con el valor de DPI de 0,52 para la fecha de la culminación del proyecto, en la semana 15?

La grafica 15 es muy ilustrativa en que, para el día 50 de la ejecución, la curva AD era muy cercana a la curva PD, la cual tiene un valor de 126 para esa fecha. El índice EDI, para ese día, era de solo el 0,51%, lo que representa una eficiencia de las duraciones ejecutadas en relación a las planeadas de tan solo la mitad. Esto significa que, para el día 50, solo la mitad de las duraciones planeadas habían sido “realmente” alcanzadas o ganadas.

Un dato curioso es que, a la terminación del proyecto, el índice DPI, como resultado final de la gestión de las duraciones de las actividades, tuvo un valor de 0,525, muy parecido al de EDI para el día 50, fecha de terminación de las PD, lo que podría significar que, haciendo uso del índice EDI, podría hacerse una predicción de DPI de la terminación de las actividades. Ahora:

5. ¿Podría el índice EDI, haber predicho, desde la fecha 50, un retraso de prácticamente el doble de duraciones para las actividades?

No necesariamente, debido a que, la variable ED necesita de los valores AD, los que, para esa fecha, podrían no haber estado culminados. Y es que, para el caso específico de La Milagrosa, para la fecha 50, 5 actividades en ejecución aun no estaban culminadas (2.3 – 2.4 – 2.7 – 6.2 – 1.11), por lo que no hubiese sido posible encontrar el ED exacto para esas actividades, sin un mejor resultado para el caso de EDI.

6. ¿Existe una alternativa, a través de la cual, calcular valores aproximados de EDI, antes de la culminación de actividades?

Para el caso de las 5 actividades no terminadas, de las que no se tiene un AD exacto, podemos calcularlo usando la tabla de cantidades de obra ejecutadas, mostrada por la imagen 15. Una alternativa para resolver esto, y encontrar valores de EDI aproximados, sería la siguiente:

La actividad 2.3, tiene un total de 7 días de ejecución hasta la fecha de 50 días, con un total de 2,88 m³ de cantidad de obra alcanzada. Del total planeado, que son 4,64 m³, se restan y se obtienen 1,76 m³. Se obtiene el promedio de m³ de cantidad de obra alcanzada durante esos días, el cual fue de 0,41m³/día.

Por lo tanto, dividimos el total de m³ restantes con este valor de rendimiento, y obtenemos un total de 4,3 días, los cuales redondean son 4 días adicionales de ejecución de la actividad 2.3. Así que, el valor de AD aproximado, de la actividad 2.3, será de 11 días, con lo que se obtiene un ED de 0,364, un valor no muy alejado del exacto, el cual es 0,4.

7. ¿Cuáles de los dos índices, ¿DPI y EDI, detectó de forma más rápida los retrasos presentados a lo largo de la ejecución del proyecto?

Para resolver esta duda, y de forma sencilla, se hizo uso de la tabla mostrada por la imagen 16, específicamente la parte que corresponde al inicio del proyecto, como se observa en la imagen 19:

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
		AGOSTO														SEPTIEMBRE																
Ítem		Semana 1				Semana 2				Semana 3				Semana 4				Semana 5														
		16	17	18	19	21	22	23	24	25	26	28	29	30	31	1	2	4	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	18	19	20
1.1	Planeada		1	1	1	1	1																									
	Real			1	1		1	1	1																							
	Ganada			1	1		1	1	1																							
1.2	Planeada		1	1																												
	Real			1																												
	Ganada			1																												
1.3	Planeada		1	1																												
	Real			1																												
	Ganada			1																												
1.4	Planeada					1	1	1	1																							
	Real						1	1	1	1	1	1	1	1																		
	Ganada						0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57																		
1.5	Planeada		1	1																												
	Real			1																												

Imagen 19. Formato de recolección de duración ganada, usada como ejemplo. Fuente: Autores

Considerando las actividades 1.1, 1.2 y 1.3, las cuales empezaron todas el 17 de agosto, tenemos que, el TPD para esas tres fue de 3. Comenzando el día 18, comienzan los días de ejecución de estas actividades, para las cuales los factores DPI y EDI son 1 y 0,38 respectivamente. Ahora, no hubiese sido posible tener un valor exacto de ED, debido a que aún no se conocía que AD sería igual a 5, pero si consideramos que la actividad cumplirá con las duraciones planeadas, EDI es un mejor indicio de retraso que DPI.

Si no tenemos en cuenta el valor de ED sino hasta el día 28 de agosto, fecha de terminación de la actividad 1.1, el valor de DPI sigue siendo muy alto, de 0,95, aunque el valor de EDI para ese momento efectivamente da alertas de un retraso latente, con un valor de 0,52.

6.5.4. ANALISIS DE LA UNION DE LAS GRAFICAS 13, 14 Y 17

A manera de análisis general de los índices de desempeño del tiempo, se decidió unir las gráficas 13, 14 y 17 en una sola, conteniendo estas los valores de estos índices que corresponden a cada teoría.

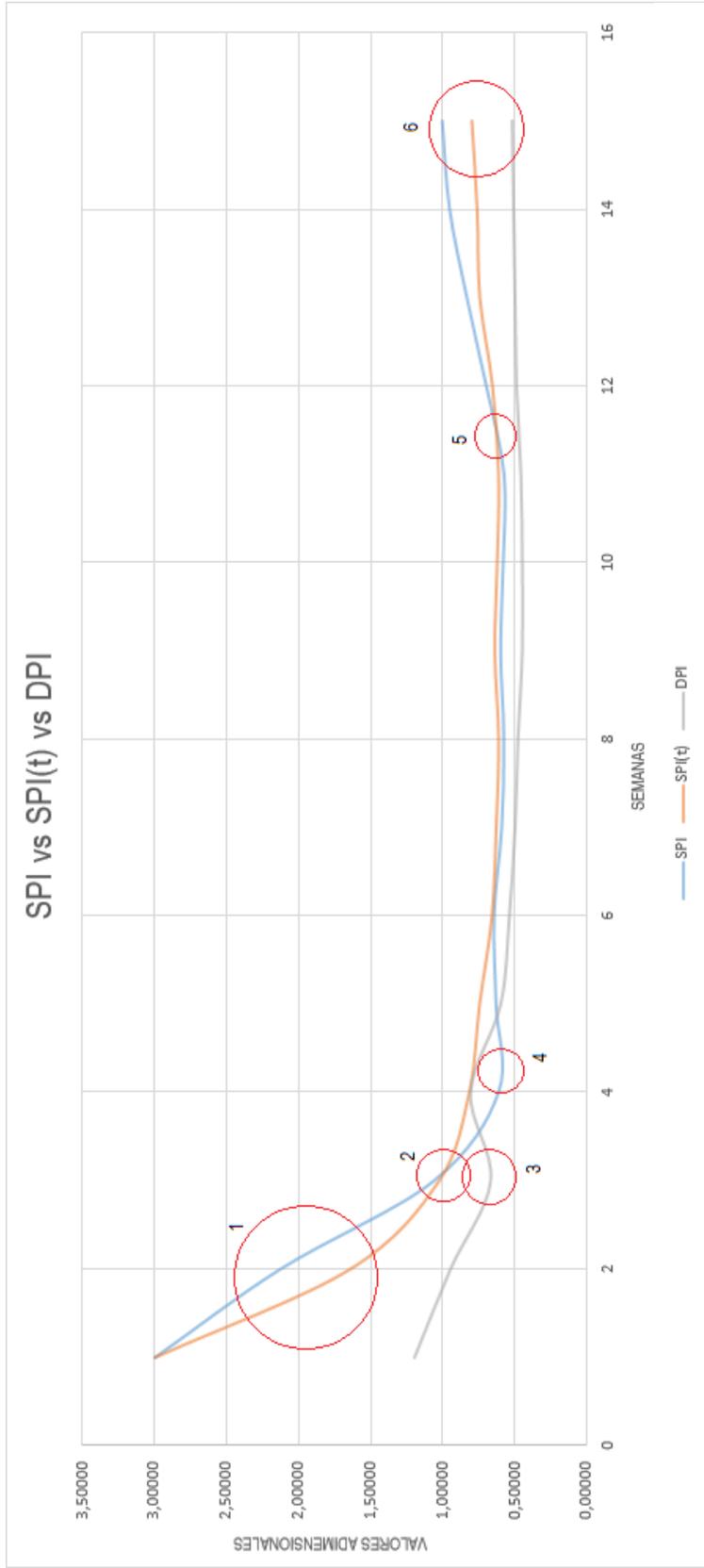


Imagen 20. Valores relacionados de SPI, SPI(t) y DPI para el proyecto La Milagrosa. Fuente: Autores

1. Se debe tener en cuenta que para una mejor visualización de los cambios en la gráfica se utilizó 3 como valor inicial de las variables SPI y SPI(t).
2. Los valores de SPI son mayores a los de SPI(t), para las primeras 2 semanas de ejecución, debido a él gran valor de SV correspondiente a ese periodo.
3. Aunque los valores de SPI(t) también disminuye considerablemente, estos son mejores en relación al SPI, ya que este último, utiliza las variable APV que corresponde a la misma semana que el de EV, mientras que el SPI(t) utiliza la variable APV de la semana anterior a cuál se está considerando, valor que obviamente es menor a diferencia que el de la misma semana.
4. El aumento considerable de DPI para la semana 3, corresponde a la ejecución eficiente de la actividad 1.13, la cual manifestó un ED de 5 unidades, lo que mejoró significativamente los valores de la relación ED/AD.
5. El aumento de los valores de SPI para las semanas 4, 5 y 6, responde a que, el porcentaje de aumento para los valores de APV entre esas semanas fue menor al porcentaje de aumento de EV acumulado respectivamente. Un ejemplo es el que va de la semana 5 a la 6, como se muestra en la tabla de la imagen 7:

Porcentaje de aumento de APV (semana 4 a la 5): $\$34'368,891 / \$ 38'579,224 = 12,25\%$

Porcentaje de aumento de EV (semana 4 a la 5): $\$21'516,135 / \$ 24'674,733 = 14,68\%$

Dado que ese porcentaje de EV es mayor que el de APV, para ese intervalo, la relación EV acumulado / APV (SPI) será mayor que la anterior, hasta que esos porcentajes de aumento cambien

6. Este aumento de SPI en relación a SPI(t) solo puede explicarse debido a que, todos los proyectos para los cuales se usa EVM, su índice SPI debe culminar en 1, por lo que éste aumento solo evidencia esta tendencia. Antes de esto, los valores de SPI y SPI(t) fueron bastante similares.
7. Cabe resaltar que, aunque los valores de todos estos índices de desempeño del tiempo manifiestan un comportamiento similar en la mayor parte del desarrollo del proyecto, el intervalo que va de la semana 4 a 11, solo es DPI el que, desde un principio, da señales de un retraso, el cual se empieza a evidenciar desde la primera semana, y que al final del proyecto, el que más cercano se encuentra a una verdadera estimación del desempeño general de las duraciones.

7.6 FACTORES QUE PUDIERON HABER PROVOCADO RETRASOS A LO LARGO DEL PROYECTO

La información necesaria para el análisis de los factores que pudieron haber generado retrasos en el proyecto La Milagrosa, se encuentran recopilados y organizados, según su fecha de origen, en la tabla 6. Otro factor, ajena a la apertura y comienzo de las actividades también será considerado

7.6.1 ECONOMICO

El primer factor a considerar y el más importante de acuerdo a su influencia en el desarrollo de las actividades ejecutadas, específicamente para La Milagrosa, fue el de la presencia de un déficit del presupuesto, el cual permaneció en gran parte de la ejecución de la obra, y que provocó dos condiciones desfavorables, las cuales a su vez generaron retrasos. La primera es que, debido a esa falta de presupuesto, en las primeras 3 semanas de desarrollo de las actividades hubo un déficit del personal de construcción u obreros. Y la segunda fue que, a su vez, este déficit presupuestal genero la falta de materiales suficientes de construcción, lo que genero retrasos en progreso de las actividades y en las duraciones

totales de éstas. Este déficit de materiales de construcción permaneció aun hasta la semana 12, lo que evidencia la razón del retraso progresivo de 3 semanas.

6.6.2 ADMINISTRATIVO

Desde el punto de vista administrativo, es importante destacar que, habiendo presentado el proyecto, un déficit en el presupuesto desde el comienzo de la ejecución del mismo, es posible que no se haya logrado una planificación eficaz respecto al uso del instrumento financiero, todo esto, antes del inicio de obra. Ahora, también es posible, considerando los valores de APV bastantes conservadores durante las 12 semanas planificadas, como se mencionó en los títulos anteriores, que el considerar un total de semanas planificadas mayor al definido, hubiese significado índices de desempeño del tiempo mejores en relación a los resultados manifestados en el desarrollo de este proyecto.

6.6.3 CLIMATICO

Como factor climático, la lluvia solo provoco el retraso de aproximadamente 2 días en total, hecho poco relevante, teniendo en cuenta que, para el periodo que comprendió las primeras 9 semanas de la ejecución del proyecto, se presentaron varias lluvias torrenciales.

7. CONCLUSIONES

La aplicación de las teorías de valor ganado, programación ganada y duración ganada, resulto estar fundamentada en una correcta y detallada recopilación de la información relevante de un proyecto, tanto técnica como económica, siendo esta procesada mediante hojas de cálculo y tablas, las cuales generan gráficas para una fácil representación de variables específicas para cada teoría.

Estos gráficos deben ser analizados a través de preguntas, respecto a sus valores, buscando comprender qué factores conllevaron a su comportamiento, que siendo del caso negativo, servirán para la adquisición de experiencia y el desarrollo de mejoras que permitirán una cada vez mejor implementación de estas teorías

El comportamiento de los índices de desempeño, como se revelo en los títulos 6.5.1, 6.5.2 y 6.5.3, depende mucho de las demás variables y de sus valores respectivos, las cuales, en su mayoría, dependen de la gestión de los costos y el progreso de las actividades. Al mejorar, tanto la planeación de las duraciones de las actividades, el progreso alcanzado cada semana y restringiendo el uso del presupuesto, será a la vez posible, mejorar de manera general todos estos índices de desempeño del tiempo. Esta afirmación transmite que, aunque en los últimos años, se ha intentado desligar los índices de desempeño del tiempo de los valores de las variables de los costos, estos siguen afectando de manera considerable el comportamiento de estos a lo largo del desarrollo del proyecto.

Considerando los resultados y afirmaciones de los estudios “Schedule is different” y “Introduction to Earned Duration”, cabe resaltar aquellas, que para el caso de esta investigación, resultaron nuevamente ser ciertas, como es el caso del valor de SPI, para las ultimas semanas de ejecución de las actividades, el cual manifestó valores que tendían cada vez más a 1, y también que, para la habilidad de generar indicios prematuros de cualquier retraso que se estuviese presentando, el índice EDI es mejor a los demás índices, tanto de EV como de ES, en este sentido.

Un resultado inesperado de la investigación fue el provocado por el déficit no mitigado en el presupuesto del proyecto, junto con una modificación a los planos de la obra, por parte del dueño de ésta, los cuales produjeron: primero, una extensión de 3 semanas en la planificación y posteriormente, un retraso de 3 semanas.

8. RECOMENDACIONES

Estas recomendaciones son generadas en base a lo discutido en los títulos 6.5 y 6.6, haciendo énfasis en cuales puedan ayudar a una correcta implementación de las teorías de Valor Ganado, Programación Ganada y Duración Ganada a un mayor desempeño en los índices de gestión del tiempo.

1. Una de las más importantes recomendaciones es, considerar una adecuada planificación financiera del proyecto, considerando con anterioridad los posibles contratiempos que pudieran ocasionar un déficit presupuestal en el desarrollo de las actividades. Esto con el fin de prevenir que se presenten retrasos como los manifestados en el proyecto La Milagrosa.

2. Trabajar juntamente con el equipo constructor, aun desde el proceso de planificación de las actividades, esto, para tener una visión general de todos los datos relevantes del proyecto, aun antes de que comience, como son las actividades a ejecutarse, las cantidades de obra y los PV para cada semana

3. Buscar la participación de un miembro del grupo investigador en el desarrollo mismo de las actividades, de carácter presencial en la obra de construcción, de forma parcial y no necesariamente total. Habiendo establecido un canal de comunicación con el ingeniero residente encargado del correcto desarrollo de cada actividad, se podrá tener acceso a toda la información pertinente a éstas, recopiladas por el residente. Esto permitirá estar más en contacto con cualquier cambio negativo o positivo que se presente.

4. Construir hojas de cálculo, en formato Excel, por ejemplo, con las cuales tabular y organizar la información que se ve a recibiendo cada día de la obra en ejecución. También es importante considerar la digitalización de esta información desde el momento en que se recibe, esto con el fin de prevenir acumulación de información, la cual puede generar errores.

5. Estar atento a cualquier indicio de inicio y progresión de retrasos, haciendo uso de los índices de desempeño del tiempo, en este caso EDI, desde el comienzo del proyecto, y así manifestarlo al equipo constructor, haciendo inmediatamente practico el conocimiento aquí generado.

6. Considerar un análisis exhaustivo de las duraciones reales para cada actividad planificada, por medio de valores obtenidos de otros proyectos de construcción, bajo condiciones financieras y técnicas similares, para un mejor resultado de los índices SPI, SPI(t) y DPI

7. Para proyectos de construcción, como fue el caso del proyecto La Milagrosa, es recomendable una aplicación combinada de las teorías EV y ED, para tener una visión completa y confiable tanto de los costos como del cronograma; Completa, debido a la necesidad de monitorear el costo y el cronograma de forma simultánea, y confiable, debido a que solo ED, a través de su indicador EDI, brinda indicios prematuros de retrasos en el cronograma

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fannon, D., & St. Martin, R. (2010). Gestión del valor ganado del trabajo en curso. Project Management Institute.
- Morales Rosas, L. M., & León Reyes, F. (2016). Aplicación de la gestión del valor ganado según los lineamientos PMI para el control de costos de la ejecución del proyecto de vivienda Hacienda Madrid el Prado en la Constructora Bolívar; Application of management of earned value under PMI guidelines for costs control in the project of construction Hacienda Madrid El Prado in the Constructora Bolivar.
- Olarte Kylarina, & Sotomayor Hubeer, Valdivia Cesar (2014). Propuesta de mejora del control de costos aplicando el método de valor ganado en un proyecto de infraestructura.
- William J. Bruchey (2012). A comparison of earned value and earned schedule duration forecast methods on department of defense major defense acquisition programs.
- Florez Pedro, Sanchez Wilman, & Rueda Feizar (2015). Un marco del estado del arte, referente al control de proyectos mediante el método de la gestión de valor ganado.
- Duarte Naisir, Pinilla Jose, & Gomez Adriana (2014). Razón de costo-efectividad de la implementación de la metodología BIM y la metodología tradicional en la planeación y el control de un proyecto de construcción de vivienda en Colombia.
- Buevas, Javier I. (2016). Análisis comparativo de las metodologías de control de

proyectos del valor ganado, programa ganado y duración ganada.

- Pérez, Andrés F., Ovalle, Fernando A. (2016). Aplicación de la metodología del valor ganado para el control de costos y tiempos en proyectos de construcción.
- Hajali-Mohamad, M. T., Mosavi, M. R., & Shahanaghi, K. (2016). Optimal estimating the project completion time and diagnosing the fault in the project. *Dyna*, 83(195), 121-127. doi:10.15446/dyna.v83n195.44293
- Najafi, A., & Azimi, F. (2016). An extension of the earned value management to improve the accuracy of schedule analysis results. *Iranian Journal of Management Studies*, 9(1), 63-75
- Batselier, J., & Vanhoucke, M. (2015). Evaluation of deterministic state-of-the-art forecasting approaches for project duration based on earned value management. *International Journal of Project Management*, 331588-1596. doi: 10.1016/j.ijproman.2015.04.003
- Nkiwane, N. H., Meyer, W. G., & Steyn, H. (2016). THE USE OF EARNED VALUE MANAGEMENT FOR INITIATING DIRECTIVE PROJECT CONTROL DECISIONS: A CASE STUDY. *South African Journal Of Industrial Engineering*, 27(1), 192-203. doi:10.7166/27-1-1260
- Project Management Institute (PMI). Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos (PMBOK) (5ª ed.). PMI 2013
- St. Martin, R. & Fannon, D. (2010). Gestión del valor ganado del trabajo en curso. Centro de Conocimiento del PMI.
- PMI, Practice Standard for Earned Value Management. PMI 2005.
- Sumara, Jim; John Goodpasture (1997-09-29). "Earned Value -- The Next Generation - - A Practical Application for Commercial Projects" (PDF). Retrieved 2006-10-26.
- Lipke, W. (2003). Schedule is Different. *The Measurable News*, March, pp. 10-15.
- Escallón, H., & Ordoñez, K. (2015). Herramientas de Gestión del Tiempo en las Etapas de Planeación y Seguimiento de los Proyectos. (Tesis de Especialización). Universidad de San Buenaventura, Cali.
- Andrade P., Batselier J., Salvaterra F. & Vanhoucke M. (2015). Introduction to Earned

Duration. The Measurable News.

- Gestión del valor ganado paso a paso. (2013). El blog de Javi. Otro blog más. Recuperado el 2 de marzo, 2017. Desde: <https://jrodriguezweb.wordpress.com/2013/09/02/gestion-del-valor-ganado-paso-a-paso/>
- Mohammed K. Barakat. (6, marzo de 2017). Haciendo fácil la Estructura de Desglose del Trabajo. Recuperado de: http://www.liderdeproyecto.com/articulos/haciendo_facil_la_estructura_de_desglose_d_el_trabajo.html
- Morteza Shokri-Ghasabeh, Navid Akrami (febrero, 2009). ¿Cómo funciona un nuevo conjunto de control de cronograma de la gestión del valor ganado? Un caso de estudio en Irán: <http://www.wseas.us/e-library/transactions/environment/2009/28-836.pdf>.
- M.A Guerrero, M. M. Carbonell & A.Montoyo (2014). Applying EVM and ES metrics to analyze and forecast schedule performance in the spanish context of the building sector. *Construction and building research*. pp. 49-56

