

**SISTEMAS DE CONTROL EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN: UNA
REVISIÓN SISTEMÁTICA**

**ENIER JESÚS CAAMAÑO MARTÍNEZ
INGRID YURANY CABALLERO YÁNEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2017

**SISTEMAS DE CONTROL EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN: UNA
REVISIÓN SISTEMÁTICA**

**ENIER JESÚS CAAMAÑO MARTÍNEZ
INGRID YURANY CABALLERO YÁNEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

Director:

GUILLERMO MEJÍA AGUILAR

Msc. PhD, Ingeniero Civil.

Codirector:

Andrea García Forero

Ingeniera Civil

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos sabiduría, entendimiento, claridad y salud para poder llevar a cabo nuestros estudios y proyectos.

A nuestros padres y familiares por ofrecernos su apoyo incondicional durante nuestra carrera.

A nuestro director, Ingeniero Guillermo Mejía, por todo el tiempo que dedico a asesorarnos durante la realización de nuestro proyecto.

A nuestra codirectora Andrea García, por disponer de su tiempo y dedicación para la realización de este proyecto.

A nuestros compañeros de estudio, por brindarnos su apoyo, motivación y compañía durante nuestra carrera.

DEDICATORIA

A Dios por su incondicionalidad.

A mis padres, Patricia y Enier por su cariño, sus palabras de fortaleza, enseñanzas y su apoyo en cada paso que doy.

A mis hermanos por su apoyo incondicional, palabras de aliento, consejos y enseñanzas.

A Ingrid por su dedicación y esfuerzo para cumplir este objetivo.

Enier Jesús Caamaño Martínez

A Dios porque sin él no hubiese alcanzado este Logro personal.

A mi madre Deixy, a mi abuela Luz María y a mi hermano Andrés Armando, por ser la motivación que me impulso a seguir adelante.

A mis amigos por su compañía.

A Enier por todo el apoyo brindado, su paciencia conmigo y ser un apoyo para cumplir esta meta.

Ingrid Yurany Caballero Yáñez

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2 METODOLOGÍA	17
2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
2.2 BÚSQUEDA DE LITERATURA Y ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO.	18
2.3 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.	20
2.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS ESTUDIOS.	20
2.5 ANALIZAR E INTEGRAR LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS	21
2.6 INTERPRETAR LA EVIDENCIA	21
3 ANÁLISIS Y RESULTADOS	22
3.1 BASADOS EN EL VALOR GANADO	24
3.1.1 Ventajas	27
3.1.2 Análisis de efectividad	28
3.2 BASADOS EN REGISTRO HISTÓRICO (BASES DE DATOS)	29
3.2.1 Ventajas:	31
3.2.2 Análisis de efectividad	33
3.3 BASADOS EN MODELOS MATEMÁTICOS Y SIMULACIONES.	33
3.3.1 Ventajas	37
3.3.2 Análisis de efectividad	38
3.4 BASADOS EN MODELOS DE COSTEO	38

3.4.1	Ventajas	41
3.4.2	Análisis de efectividad	42
3.5	BASADOS EN MODELOS ESTADÍSTICOS	43
4	CONCLUSIONES	45
	REFERENCIAS	47
	BIBLIOGRAFIA	51
	ANEXOS	53

LISTAS DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Documentos publicados desde 1985 hasta el 2016.....	18
Figura 2. Control de costos.....	23

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de los sistemas de control reportados en la literatura	24
Tabla 2. Variables que tienen en común el método del valor ganado	26
Tabla 3. Variables de la categoría de modelos matemáticos y simulaciones	36
Tabla 4. Variables de los basados en modelos de costeo.....	42
Tabla 5. Variables de los basados en modelos estadísticos	44

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A Articulos usados en la revisión sistematica:	53
ANEXO B Ecuaciones e interpretacion de los indices y variaciones del valor ganado.....	57

RESUMEN

TÍTULO: SISTEMAS DE CONTROL EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA*

AUTORES: ENIER JESÚS CAAMAÑO MARTÍNEZ
INGRID YURANY CABALLERO YÁNEZ **

PALABRAS CLAVE: SISTEMAS DE CONTROL DE COSTOS, CONSTRUCCIÓN, REVISIÓN SISTEMÁTICA, GESTIÓN.

DESCRIPCIÓN:

En los proyectos de construcción se evidencian sobrecostos que afectan la buena ejecución del proyecto, este problema se ha hecho más recurrente debido a la mala gestión de proyectos. Realizar una detección temprana de los sobrecostos, es de vital importancia para la administración ya que suministra la oportunidad de iniciar las acciones correctivas necesarias, para ampliar la posibilidad de eliminar los sobrecostos o reducir el impacto de estos en el proyecto. También es importante influir sobre los factores que producen cambios en el presupuesto, para asegurar que todas las solicitudes de ajustes se lleven a cabo de manera oportuna, gestionando estos cuando y conforme sucedan y enfocando los esfuerzos de control donde son más efectivos a un mínimo costo, teniendo en cuenta que los objetivos básicos de un proyecto son el costo, el tiempo y la calidad. En este estudio se llevará a cabo una revisión sistemática para dar respuesta a una iniciativa de investigación. El propósito de esta investigación es estudiar la literatura académica de los principales sistemas de control de costos usados y propuestos a lo largo de las tres últimas décadas a nivel mundial, para así poder definir los principales sistemas de control existentes y determinar su eficacia en el sector de la construcción.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar, Msc. PhD, Ingeniero Civil. Codirector: Andrea García Forero, Ingeniera Civil.

ABSTRACT

TITLE: CONTROL SYSTEMS IN CONSTRUCTION PROJECTS: A SYSTEMATIC REVIEW *

AUTHORS: ENIER JESÚS CAAMAÑO MARTÍNEZ
INGRID YURANY CABALLERO YÁNEZ **

KEYWORDS: COST CONTROL SYSTEMS, CONSTRUCTION, SYSTEMATIC REVIEW, MANAGEMENT.

DESCRIPTION:

In building projects there are cost overruns that affect the good execution of it are evident, this problem has become more recurrent due to the mismanagement of the project. To realize an early detection of those cost overruns is vital for the administration as it provides the opportunity to perform corrective actions if required, and thus, to be able to increase the possibility of eliminating cost overruns or to reduce the impact of those in the project. It is also important to influence the factors that produce changes in the budget in order to ensure that all those adjustment request are made opportunely and focusing all the control efforts where they are most effective in achieving a Maximum control with a minimum cost, taking into account that the basic goals of a project are cost, time and quality. In this study a systematic review will be carried out to respond to a research initiative.. This is why the purpose of this research is to carry out a systematic review of the academic literature about the main cost control systems used and proposed worldwide over the last three decades, in order to define the main control systems and to determine their effectiveness in the construction sector.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar, Msc. PhD, Ingeniero Civil. Codirector: Andrea García Forero, Ingeniera Civil.

INTRODUCCIÓN

La detección temprana de sobrecostos en los costos reales o potenciales en las actividades de construcción, resulta vital para una buena gestión, ya que proporciona la oportunidad de iniciar acciones correctivas y aumenta la posibilidad de eliminar tales sobrecostos o minimizar su impacto. En los proyectos de construcción se pueden evidenciar problemas que afectan a la buena ejecución del proyecto, unos de los inconvenientes más recurrentes son los sobrecostos, los cuales inciden directamente en el presupuesto inicial de la obra. En el año 2002 se encontró que 9 de 10 proyectos de construcción habían subestimados los costos, fueron muy comunes sobrecostos entre el 50% y 100% [1]. Debido a esta problemática presente a nivel mundial se ha buscado la manera combatirla, utilizando métodos de control de costos los cuales permiten minimizar el impacto causado a los proyectos de construcción.

Un sistema de control se caracteriza por la presencia de una serie de elementos que permiten influir en el funcionamiento del sistema [2]. Por ello, a través de una revisión sistemática en la literatura académica de los sistemas de control en proyectos de construcción, se realizó una búsqueda y análisis que servirá de evidencia y justificación a futuros proyectos de investigación.

En los últimos treinta años existe evidencia de la presencia de desviaciones de costos y tiempo en los proyectos de construcción, para conocer las diferentes formas en que se ha afrontado esta problemática, se debe conocer los sistemas de control de costos utilizados y propuestos a nivel mundial desde 1985 hasta el 2016 y así poder definir *¿Cuáles son los sistemas de control existentes y la eficacia de ellos en el sector de la construcción?*

En virtud de esto se realizó una búsqueda bibliográfica a través de un estudio de meta-análisis, el cual consiste en una revisión sistemática, donde se pretende contestar una pregunta claramente delimitada o especificada, analizando y presentando los datos de la forma que mejor ayude a la toma de decisiones [3].

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la efectividad de los métodos de control de costos para proyectos de construcción basados en la revisión sistemática de literatura publicada desde 1985 hasta 2016.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y clasificar de los sistemas de control de proyectos de construcción reportados en la literatura.
- Analizar la efectividad de los principales sistemas de control en la reducción de costos del proyecto.

2 METODOLOGÍA

Las revisiones sistemáticas son investigaciones científicas en sí mismas, con métodos prefigurados y un ensamblaje de los estudios originales, que sintetizan los resultados de éstos [3]. Como todo proceso de investigación inicia con un estudio y la elaboración de un protocolo, continúa con la ejecución del estudio y finaliza con un reporte, artículo, o informe de investigación [4].

Las etapas de una revisión sistemática son las siguientes:

- Formulación del problema
- Búsqueda de literatura
- Recopilación de la información
- Evaluación de la calidad de los estudios
- Analizar e integrar los resultados de los estudios
- Interpretar la evidencia
- Presentar los resultados

2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Existe evidencia a lo largo de las últimas tres décadas, de la presencia de desviaciones de costo y tiempo en los proyectos de construcción, el cual es un problema globalizado y fundamenta la existencia de la rama de gestión de proyectos.

Para conocer las diferentes formas como se ha afrontado esta problemática, se requiere realizar la revisión sistemática de los sistemas de control usados y propuestos a lo largo de las tres últimas décadas a nivel mundial, y así poder definir

¿Cuáles son los sistemas de control existentes y la eficacia de ellos en el sector de la construcción?

2.2 BÚSQUEDA DE LITERATURA Y ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO.

Para obtener la información, primero se realizó una consulta en la base de datos SCOPUS, para realizar el análisis bibliométrico y conocer la cantidad de información publicada desde 1985 hasta el 2016, usando las palabras claves *Control systems & Construction*, limitándola al área de ingeniería y de multitarea, y desde el año 1985 hasta el 2016. La ecuación de búsqueda fue la siguiente:

(TITLE-ABS-KEY (control systems) AND TITLE-ABS-KEY (construction)) AND PUBYEAR > 1984 AND PUBYEAR < 2016 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "MATE") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "MULT"))

Figura 1. Documentos publicados desde 1985 hasta el 2016



. Fuente: Autores basados en Scopus

En la figura 1 se observa el aumento en el número de publicaciones a partir de 1985 sobre los sistemas de control en la construcción, por esta razón se realizó una búsqueda en las diferentes bases de datos disponibles de la Universidad Industrial de Santander, usando las palabras claves relacionadas con la investigación usando operadores booleanos, los cuales sirven para dar interacción entre estas.

Las ecuaciones de búsqueda utilizadas fueron las siguientes:

- En la base de datos ASCE se utilizaron las siguientes ecuaciones: [Anywhere: control systems] AND [Anywhere: cost deviation] AND [Anywhere: civil engineering] AND [Anywhere: construction] AND [Publication Date: (01/01/1985 TO 12/31/2015)], y [Anywhere: cost control systems] AND [Anywhere: construction] AND [Publication Date: (01/01/1985 TO 12/31/2016)]
- En la base de datos ProQuest se utilizaron las siguientes ecuaciones: (control systems) AND (cost deviation) AND (construction) 1984 en adelante y pubid(27161) AND cost AND construction AND (control system)
- En la base de datos ScienceDirect se utilizaron las siguientes ecuaciones: pub-date > 1984 and (control systems) and (construction cost deviation) [All Sources (Engineering)] y For pub-date > 1984 and (cost control) and construction AND LIMIT-TO (Construction and Building Materials, Procedia Engineering, Automation in Construction”) AND LIMIT-TO (topics, “construction”).
- En la base de datos Web of Science se utilizó la siguiente ecuación; Tema: (cost control systems) AND Tema: (construction) Refinado por: Áreas de investigación: (ENGINEERING OR CONSTRUCTION BUILDING TECHNOLOGY) AND Áreas de investigación: (CONSTRUCTION BUILDING TECHNOLOGY) Período de tiempo: 1985-2016.

Se hizo una búsqueda en donde se encontraron 200 artículos para así comenzar a recopilar la información y evaluar la calidad de estos artículos.

2.3 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Para la recopilación de la información se usó la herramienta bibliográfica libre Zotero, la cual permitió exportar los diferentes artículos buscados en las bases de datos a Excel. La información se organizó en Excel de acuerdo al nombre del artículo, año de publicación, base de datos, autores, tipo de documento, idioma y revista en la cual se publicó.

2.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS ESTUDIOS

Después de tener los 200 artículos, se realizó una depuración con base a su contenido, eliminando aquellos que no aportaban al logro de los objetivos de la investigación, quedando como resultado 83 artículos. Estos se organizaron en 3 categorías:

- **Discusión:** Aquellos que mostraban un sistema de control o comparaban varios métodos, pero no presentaban datos.
- **Estado del arte:** los cuales discutían de la definición, recomendaciones y de la importancia de los sistemas de control de costos.
- **Evidencia:** Aquellos que mostraban un sistema de control o comparaban varios métodos y presentaban datos.

Después de organizarlos en las categorías mencionadas, se usaron aquellos que pertenecían a la clasificación de evidencia y discusión dejando como resultado 43 artículos para analizar como se ve en el anexo A. Posteriormente se extrajo la información de la siguiente manera:

- Que controla: Costo; Costo y calidad; Costo y tiempo; Costo tiempo y calidad; Costo tiempo y calidad, Costo tiempo y rendimiento

- Que hacen: Comparando, Mejorando existente, Proponiendo
- Presencia o no de efectividad
- Presencia o no de ventajas
- Métodos mostrados por el artículo

2.5 ANALIZAR E INTEGRAR LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS

Se organizaron todos los métodos identificados en los artículos y se clasificaron de acuerdo a las características que estos métodos tenían en común, quedando la clasificación de la siguiente manera:

- Basado en el Valor Ganado
- Basados en registro histórico (Utilizan Bases de datos)
- Basados en modelos matemáticos y simulaciones
- Basados en modelos de costeo
- Basados en modelos estadísticos

2.6 INTERPRETAR LA EVIDENCIA

Se revisaron los artículos que presentaron ventajas en los métodos de control y basados en ellas se realizó el respectivo análisis de efectividad.

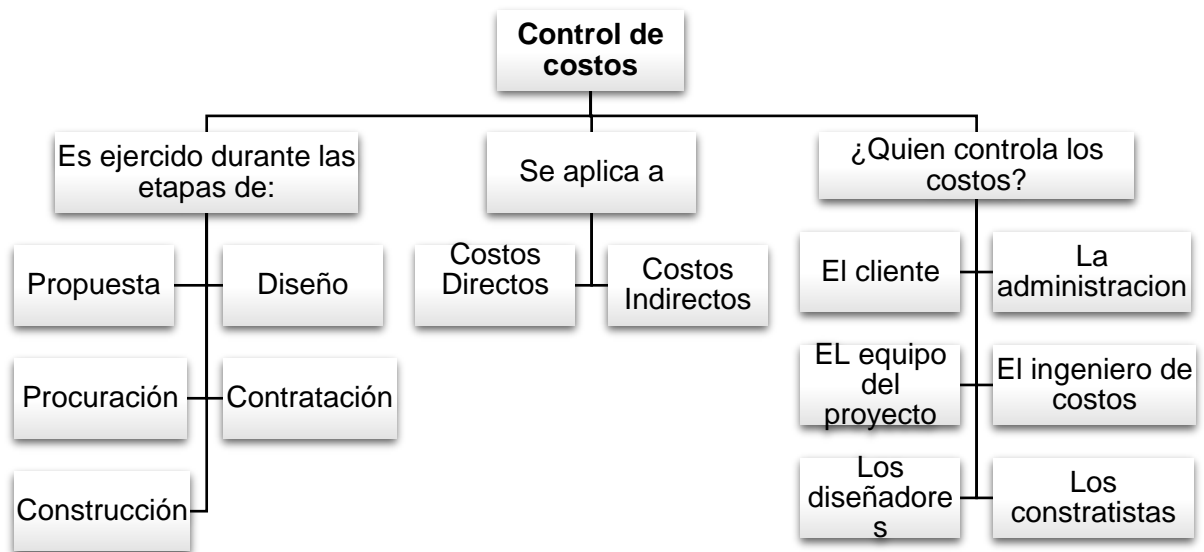
3 ANÁLISIS Y RESULTADOS

Un sistema de control de costo tiene como finalidad conseguir mediante la manipulación de variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que éstas alcance los objetivos planteados, estas variables permiten influir en el funcionamiento del sistema. Según la AACE (*American Association of Cost Engineering*) los sistemas de control de costos son la aplicación de procedimientos para limitar los costos del proyecto a solo los autorizados, para enfocar los esfuerzos de control donde son más efectivos para lograr un máximo control a un mínimo costo, para ello se debe tener en cuenta los objetivos básicos de un proyecto que son el costo, el tiempo y la calidad. La clave para un control de costos eficaz es la gestión de línea base de costos aprobada y la de los cambios a esa línea base, el control de costos de proyecto incluye [5]:

- Influir sobre los factores que producen cambio a la línea de base de costos autorizados
- Asegurar que todas las solicitudes de cambio se lleven a cabo de manera oportuna
- Gestionar los cambios reales cuando y conforme sucedan
- Asegurar que los gastos no excedan los fondos autorizados por periodos, por componente de la EDT/WBS, por actividad y para el proyecto en su totalidad
- Monitorear el desempeño del costo para detectar y comprender las variaciones con respecto a la línea base aprobada de costos
- Monitorear el desempeño del trabajo con relación a los gastos que se ha incurrido
- Realizar las acciones necesarias para mantener los excesos de costos previsto dentro de los límites aceptables

Los resultados obtenidos en el presente artículo se realizaron a partir de una la revisión sistemática de la literatura publicada, sobre los sistemas de control de costos, estos sistemas se pueden aplicar por distintas personas, a los distintos tipos de costos y en las diferentes etapas del proyecto como se observa a en la figura 2.

Figura 2. Control de costos.



Fuente: autores

El estudio arrojó una serie de sistemas de control de costos usados en la construcción y se realizó una clasificación revisando las características que tenían en común los sistemas de control reportados en la literatura como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de los sistemas de control reportados en la literatura

SISTEMAS DE CONTROL	N° ARTÍCULOS	PORCENTAJE DE ARTÍCULOS
Basado en el Valor Ganado	18/43	42%
Basados en registro histórico (Utilizan Bases de datos)	6/43	14%
Basados en modelos matemáticos y simulaciones	9/43	21%
Basados en modelos de costeo	8/43	19%
Basados en modelos estadísticos	2/43	5%

3.1 BASADOS EN EL VALOR GANADO

Estos métodos de control están basados en la Gestión del Valor Ganado (EVM), este método empezó a ser implementado en proyectos organizados por el gobierno de los Estados Unidos, el Valor Ganado es un método que sirve para medir el desempeño de un proyecto permitiendo comparar el trabajo planificado con el trabajo real que se ha realizado. Los principios del EVM se pueden aplicar a todos los proyectos, en cualquier sector, el EVM establece y monitorea tres dimensiones claves para cada paquete de trabajo y cada cuenta de control [6].

- **Valor Planificado (PV por sus siglas en inglés):** es el valor presupuestado a lo largo del proyecto.
- **Valor Ganado (EV por sus siglas en inglés):** El valor ganado representa el trabajo realizado en un momento determinado., en termino de presupuesto para dicho trabajo.

- **Costo Real (AC por sus siglas en inglés):** es el costo incurrido que se lleva a un momento determinado para realizar el trabajo durante un periodo de tiempo específico.

También se encuentran las variaciones o desviaciones con respecto a la línea base aprobada:

- **Variación del cronograma (SV por sus siglas en inglés):** sirve para medir el desempeño del cronograma en un proyecto, es la diferencia entre el Valor Ganado (EV) y el Valor Planificado (PV)

$$SV = EV - PV \quad (1)$$

- **Variación del costo (CV por sus siglas en inglés):** sirve para medir el desempeño en función del costo de un proyecto, es la diferencia entre el Valor Ganado (EV) y el Costo Actual(AC)

$$CV = EV - AC \quad (2)$$

- **Índice de desempeño del cronograma (SPI por sus siglas en inglés):** es una medida de eficiencia de cronograma de un proyecto, es la razón entre el valor ganado (EV) y el valor planificado (PV)

$$SPI = \frac{EV}{PV} \quad (3)$$

- **Índice de desempeño del costo (CPI por sus siglas en inglés):** es una medida de eficiencia del costo de un proyecto, es la razón entre el valor ganado (EV) y el costo actual (AC)

$$CPI = \frac{EV}{AC} \quad (4)$$

En el anexo B se observan las ecuaciones y la interpretación de resultados de los índices y variaciones del valor ganado.

Los siguientes son los sistemas de control que están basados en el valor ganado que arrojó la revisión sistemática:

- Sistemas de gestión del valor ganado
- Sistema Integrado de Estimación de Costo y Control de Costos para Proyectos de Construcción
- Prototipo de sistema integrado de control de costos y cronogramas
- Valor ganado del cliente (*customer earned value*)
- Un marco gráfico sencillo para el control de proyectos
- Sistema Integrado de Control de Costos y Horarios

Todos los sistemas de control que pertenecen a esta categoría reportaron las siguientes variables en común, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Variables que tienen en común el método del valor ganado

Costo real (AC)	Variación del cronograma (SV)
Valor ganado (EV)	Variación del costo (CV):
Valor Planificado (PV)	Índice de desempeño del costo (CPI)
Índice de desempeño del cronograma (SPI)	

Existen sistemas de control como el Valor ganado del cliente que presenta variables adicionales a las mencionadas, estas variables son:

- Valor ganado del cliente (CEV)
- CEV (CEV planificado)
- El valor en proceso (VIP)

El Sistema Integrado de Control de Costos y Horarios está basado en el valor ganado, pero tiene variables diferentes, estas variables son:

- Tamaño del proyecto (VB), método de pago progresivo (VP)
- Método de medición de progreso (VM)
- Método de Entrega del Proyecto (VD), Estrategia de Gestión del Proyecto (VS)

3.1.1 Ventajas: las ventajas presentadas por los diferentes sistemas de control de esta categoría son las siguientes:

- El valor ganado es una herramienta de gestión de proyectos relativamente sencilla que integra el coste del proyecto, el calendario y el desempeño técnico en un solo sistema de medición y gestión de proyectos desde el cual se obtienen fácilmente medidas objetivas del desempeño del proyecto hasta la fecha y predicciones de desempeño futuro [7].
- El sistema del valor ganado permite al gestor mitigar los riesgos en sus decisiones en condiciones críticas del proyecto, es una herramienta de alerta temprana para el control de este [7].
- Usando las estimaciones difusas tanto del costo de terminación como del tiempo de finalización pueden ayudar a los gerentes de proyectos a estimar el estado futuro del proyecto de una manera más sólida y más confiable. La

incorporación de los principios difusos en los cálculos EV no tiene las limitaciones de los modelos EV deterministas anteriores y pueden modelar la estatua del proyecto más cerca de la realidad [8].

- La información puede intercambiarse eficientemente entre los participantes en el proyecto sobre el terreno y en la sede, así como entre el personal en el campo [9].
- La transformación de la gestión de EV en PV permite crear un calendario más sistemático y permite un control de proyectos más eficaz, ya que los participantes, tanto en la sede como en el terreno, pueden monitorear exactamente el PV y el EV ya que pueden analizarlos en tiempo real [9].
- El suministro adecuado de materiales mediante un calendario preciso resultará en un ahorro de costes [9].

3.1.2 Análisis de efectividad: El 55% (10/18) de los artículos presentes en esta categoría reportaron efectividad, debido a que se evidenció una mejoría en el control de costos y programación del proyecto, por ejemplo en la construcción de un centro educativo en unas de las refinerías petroquímicas de Irán, según el primer cronograma del plan, el proyecto comenzó el 20 de septiembre del 2003 y debió haber terminado después de 15 meses, el plan del proyecto constaba de 1310 actividades, el presupuesto total del proyecto se estimó en unos \$2810000, desafortunadamente después de 12 meses el desempeño de la obra fue decepcionante, porque el progreso real fue aproximadamente 45% menor que el calendario del plan. Teniendo en cuenta estas condiciones, se preveía que el proyecto finalizara en veinte meses más tarde. En este caso, el costo total del proyecto se habría incrementado en un 30 por ciento. Con el fin de mejorar este débil desempeño del progreso de la obra, el gerente empleo un nuevo equipo de

control de proyectos, este equipo utilizó el método del valor ganado, concentrándose en actividades críticas, especialmente aquellas con un retraso considerable en el desempeño. Luego, aumentando el costo y los recursos humanos de estas actividades, redujeron la duración total de las actividades críticas y dependientes con éxito. Por los informes concisos derivados de utilizar el método del valor ganado, el gerente fue capaz de tener información exacta sobre los detalles del proyecto, mitigando los riesgos en sus decisiones en condiciones críticas de la obra. En consecuencia, el proyecto se terminó con éxito después de un corto periodo de tiempo [7].

3.2 BASADOS EN REGISTRO HISTÓRICO (UTILIZAN BASES DE DATOS)

Los sistemas de control encontrados en esta clasificación, son los que utilizan base de datos para manejar la información, ya que la construcción genera una enorme cantidad de información compleja, específica y profesional, aunque se ha aplicado muchos esfuerzos para superar estos desafíos, la mala comunicación y el caos de la información sigue siendo un gran problema en la industria de la construcción [10]. Para apoyar eficazmente la gestión de proceso de proyectos de construcción se necesita un sistema de control de proyecto que facilite la recopilación de datos de calidad de manera oportuna y proporcionar base de datos históricos de calidad para la planificación futura de nuevos proyectos [11]. Los siguientes son los sistemas de control que arrojan la revisión sistemática sobre los que utilizan bases de datos.

- **CIDF (construction information database framework):** CIDF es una estructura de faceta predefinida que proporciona un entorno de trabajo colaborativo entre un usuario y un sistema de información integrando todas las unidades de información relevantes y sus propiedades en la estructura.

La estructura del CIDF es casi idéntica a la de hojas de despegue de cantidad. En otras palabras, el proceso para implementar el CIDF no es diferente del proceso para generar costos y programar los datos en las prácticas actuales [10].

- **Two OLAP (procesamiento analítico en línea) cubes:** puede facilitar las prácticas de gestión de proyectos en la construcción, particularmente en relación con la integración de puntos de vista, se seleccionaron dos tipos de datos como medidas para ser conectados a los cubos OLAP relacionados con la gestión de proyectos. Datos de costos y Datos de horas de trabajo. Los datos de costos se usaron para probar el desempeño del sistema integrado de OLAP para realizar el seguimiento y análisis de costos. Los datos de horas de trabajo se utilizaron para probar la eficacia del sistema basado en OLAP para apoyar la asignación de mano de obra [12].
- **An Intranet-based cost control system:** Usan la internet como un mecanismo para comunicar datos e información de control de proyectos. En este enfoque, un sistema de control de costos está diseñado para la Web, donde los datos y la información son almacenados centralmente y procesados por un sistema de administración de bases de datos. La entrada remota de datos en la base de datos se realiza en línea utilizando formularios Web diseñados apropiadamente para el sistema de control del proyecto [11].
- **COMPASS (Cost Management Planning Support System):** La metodología de COMPASS ayuda a la administración a identificar atributos tales como errores de gestión, aprobación regulatoria y errores / reelaboración, lo que podría provocar una posible escalada de costos del proyecto. Además, ayuda a la administración a formular una estrategia de control de costos para el proyecto [13].

- **Feedback, Frequency of Cost Statements, and Use of Computer Data Processing:** registran los datos de rendimiento del sitio como retroalimentación para uso en el sitio y también en la oficina central para estimar propósitos [14].
- **WPM (Work-packaging model):** WPM sirve para integrar los datos de costos y programación y combina dos estructuras de información independientes, WBS y OBS; Y representa unidades de información de cuatro dimensiones, WHERE, WHAT, HOW y WHO [10].

Todos los sistemas de control que pertenecen a esta categoría reportaron las siguientes variables en común: Costo del material, Costo de mano de obra, Costo real y Costo estimado.

Todos los sistemas de control excepto An Intranet-based cost control system reportaron esta variable: Coste del equipo.

3.2.1 Ventajas: Las ventajas presentadas por el CIDF son las siguientes [10]:

- Es flexible debido a que la estructura se compone de pequeños lotes de unidades de información en lugar de una estructura jerárquica fija.
- Es versátil porque la aplicación OLAP basado en la hoja de cálculo permite una transformación fácil y libre para organizar los datos de ejecución del proyecto
- Es simple y eficiente debido a que la estructura requiere un número relativamente pequeño de las cuentas de control en comparación con las

herramientas de información distribuidos o aplicaciones de software profesional.

- CIDAD no es diferente del proceso utilizado para generar los datos de costes y de planificación en las prácticas actuales. La resistencia al cambio en los procesos de trabajo existente es un fenómeno común en la industria de la construcción, pero CIDAD no requiere ningún nuevo proceso de trabajo, conocimientos profesionales, actualización del sistema, o el desarrollo de software.

Las ventajas presentadas por An Intranet-based cost control system son las siguientes [11]:

- Reduce la cantidad de papeleo que necesita fluir entre el campo y las oficinas centrales, por lo tanto, un ahorro de tiempo y esfuerzo
- Informes instantáneos automatizados en línea pueden ser producidos automáticamente, en lugar de tener que esperar a ser preparados de forma manual, esto significa un ahorro en tiempo. Esto es ventajoso cuando hay un problema que requiere análisis y atención inmediata.
- Con permisos de accesos, la información puede ser compartida en línea con todos los participantes del proyecto si se desea.

Las ventajas presentadas por COMPASS son las siguientes [13]:

- El desarrollo de la estrategia de control de costos del proyecto
- Identificar y minimizar el impacto de los atributos de riesgo
- Determinar la contingencia del proyecto

- Preparar ofertas.

3.2.2 Análisis de efectividad: El 33% (2/6) de los artículos presentes en esta categoría reportaron efectividad, ya que muestran una comparación entre los valores estimados y los valores reales, en cual se observa que utilizando una base de datos, se puede hacer un buen control del proyecto.

3.3 BASADOS EN MODELOS MATEMÁTICOS Y SIMULACIONES.

Los sistemas de control presente en esta categoría son los que se basan en modelos matemático y simulaciones por computador, los sistemas reportados por la revisión, son los siguientes:

- **Modelo de una ecuación matemática:** usan un conjunto de variables de salida con respecto a unas de entrada se puede generar una ecuación matemática que representa el sistema de control. Esta ecuación matemática conduce a acelerar el proceso de toma de decisiones. En los proyectos de construcción tal ecuación matemática es generalmente compleja y no lineal, para generar la ecuación utiliza el algoritmo de manipulación de datos the Group Method of Data Handling algorithm (GMDH) debido a su capacidad para identificar relaciones y/o en sistema complejos de gran tamaño **[15]**.
- **The complete decomposition model of construction cost change:** se utiliza para descomponer los factores claves que influyeron sobre todo en los cambios de costos de construcción, al analizar y acumular los datos de los proyectos terminados, se logrará el conocimiento, las experiencias y los patrones de control del costo, que incorporan los datos **[16]**.

- **Leading parameter technique:** Es una técnica basada en la idea de elegir uno o más de los principales tipos de trabajo como medidas de la ejecución de todo el proyecto, en esta técnica también se puede utilizar un parámetro diferente como una medida de rendimiento para cada sección [17].
- **Activity based ratios technique:** Esta es una técnica de control financiero que emplea las proporciones entre las ganancias y los gastos de las actividades del proyecto como medidas de desempeño. El sistema también puede utilizarse para medir el rendimiento de todo el proyecto, así como el de las actividades [17].
- **Weibull Analysis:** El análisis de Weibull consiste esencialmente en ajustar una distribución de Weibull a un conjunto de datos recopilados sobre alguna característica de un sistema, usualmente una característica de calidad o rendimiento, y analizar la fiabilidad del sistema basado en la distribución ajustada. La distribución de Weibull en sí misma representa un modelo útil para describir la fiabilidad y predecir el fracaso de varios sistemas [18].
- **knowledge-based system Fuzzy Logic:** utilizan lógica difusa como herramienta útil y conveniente para la práctica de control de costos definiendo y evaluando problemas comúnmente encontrados en la construcción y en la ingeniería civil. También es una técnica para lidiar con los factores que están fuera de control [19].
- **Integrated cost control system based on computer simulation:** el control integrado coste se consigue mediante la construcción del modelo de proyecto utilizando la tecnología de la programación de la red, que puede utilizarse para programar el progreso, la asignación de recursos, y romper el objeto planificación de costes al mismo tiempo [20].

- **new fuzzy-based earned value model:** explica la incertidumbre en eventos y sistemas en los que la incertidumbre surge debido a la vaguedad o a la borrosidad, y no sólo a la aleatoriedad. Es razonable modelar y tratar la incertidumbre usando los términos lingüísticos con la teoría difusa. Primero se aplica los principios difusos en los términos lingüísticos para convertirlos en números difusos. Luego se modifica la matemática EV para reflejar los nuevos valores (números difusos). Normalmente, los expertos del proyecto realizan esta transformación de acuerdo con sus conocimientos y su experiencia sobre el proyecto, y con los atributos de la actividad [21].
- **Application of mathematical matrix to integrate project schedule and cost:** organiza los conjuntos de datos de costos y calendarios de un proyecto en formas matriciales y se desarrolla ecuaciones matriciales que hacen clara la interrelación entre las matrices, que puedan ser utilizadas para generar diversas formas de información. Las matrices se dividen en varios grupos, tales como costo, cantidad, etc. Los datos tales como costo, cantidad, etc., se asignan a las celdas en matrices de acuerdo con los ítems relacionados en columnas y filas. Al hacerlo, es posible determinar los elementos de un desglose [22].

Estos sistemas de control: Leading parameter technique, Activity based ratios technique, Weibull Analysis y new fuzzy-based earned value model; como se observa en la tabla 3 tienen variables en común, estas tienen relación con las variables que se utiliza en el valor ganado, además se muestra que cada uno de estos métodos cuenta con variables únicas.

Tabla 3. Variables de la categoría de modelos matemáticos y simulaciones

SISTEMAS DE CONTROL	VARIABLES
Modelo de una ecuación matemática	Las salidas del sistema (y_i), los valores de referencia (r_i), las entradas del sistema (u_i), las perturbaciones (d_i)
The complete decomposition model of construction cost change	El precio agregado de la ingeniería de subentrada del número j de la ingeniería de la rama del número i , la cantidad de la ingeniería de subentrada del número j de la ingeniería de la rama del número i ; El precio unitario de la ingeniería de subentrada número j de la ingeniería de la rama número i ; El coste de ingeniería directo de todo el proyecto
Integrated cost control system based on computer simulation	Costo fijo, costos de los recursos
knowledge-based system Fuzzy Logic	Desbordamiento de costos, productividad de la mano de obra, productividad de la planta, pérdida de material, Raspadura y reelaboración, desperdicio de material, escasez de material, obstrucción / desastre natural, escasez de personal de supervisión, Averías y fallas, mantenimiento de plantas, escasez de plantas
New fuzzy-based earned value model	Costo real (CA), valor acumulado (EV), valor planificado (PV), The Earned Duration (ED), The Earned Schedule (ES)
Leading parameter technique	El costo real, el costo planeado
Activity based ratios technique	Desempeño previsto, ganancias planificadas, gastos previstos, rendimiento real, ingresos reales, gasto real

Weibull Analysis	Costo presupuestado para el trabajo realizado (BCWP), costo real del trabajo realizado ACWP, costo presupuestado para el trabajo programado (BCWS)
------------------	--

3.3.1 Ventajas: En esta categoría, solo el análisis de Weibull presento ventajas y son las siguientes **[18]**:

- Ya que la C / SPI son esencialmente medidas de rendimiento, la robustez y la flexibilidad de la distribución de Weibull en las características de rendimiento de modelado, se puede utilizar con eficacia para modelar C / SPI. Además, dado que la distribución de Weibull es lo suficientemente robusta como para asumir un número de diferentes distribuciones (Incluyendo las distribuciones normales, exponenciales y beta) uno puede utilizar la distribución de Weibull para modelar los datos de C / SPI del proyecto, sin las limitaciones de un supuesto de distribución predefinida. supuesto de distribución predefinida se utiliza a menudo, por ejemplo, cuando se modela para duraciones de las actividades técnicas de programación probabilísticos como PERT. Las duraciones de las diversas actividades del proyecto a menudo se supone que siguen una distribución normal, ya sea o una sesgada normal distribución.
- los parámetros alpha y beta representan las medidas significativas de los datos en la mano, es decir, C / SPI. En términos de la SPI, el parámetro de forma (beta) indica si el desempeño del proyecto en términos de C / SPI es cada vez mayor, constante o decreciente. Un beta menor a 1.0 indica que el proyecto tiene una tasa de aumento de índice, es decir, hay una mejora en el rendimiento del proyecto a partir de un período a otro. Un beta igual a 1,0

indica una tasa de índice constante y un beta menor a 1,0 indica una tasa índice decreciente. Por consiguiente, la tasa deseada es beta mayor o igual a 1. El parámetro de escala alpha (O la vida característico de Weibull) es una medida de la variabilidad de rendimiento. Un alto alfa significa una mayor variabilidad en el rendimiento de los proyectos en términos de los valores del índice.

- Una de las ventajas más fuertes de análisis de Weibull es la capacidad de proporcionar precisos de análisis de rendimiento y riesgo predicciones con muestras extremadamente pequeñas.

3.3.2 Análisis de efectividad: El 33% (3/9) de los artículos presentes en esta categoría reportaron efectividad, un ejemplo de esto es el reportado en el análisis de Weibull donde se comparan 2 proyectos, al fin del estudio se concluye que en el proyecto donde se utilizó presento un mejor control, ya que por ser un método robusto y eficaz lograron una mejor supervisión del proyecto.

3.4 BASADOS EN MODELOS DE COSTEO

Los sistemas de control presente en esta categoría son los que se basan en modelos de costeo, el objetivo de los modelos de costeo es acumular los costos de los productos o servicios s, esta información es usada por gerentes para establecer los precios de los productos, controlar operaciones y desarrollar estados financieros y mejorar el control proporcionando información sobre los costos de cada proceso, los sistemas reportado por la revisión son los siguientes:

- **ABC analysis method:** es introducido por el economista italiano Barrett en el siglo 19 en el campo económico, también conocido como el método de análisis Barrett o método de gestión de claves. El principio básico puede ser

generalizado como distinguir entre primaria y secundaria, manejar grupo por grupo, y su clave reside en diferenciar los factores clave menores de los principales factores secundarios. Este método divide los objetos en tres clases como A, B, C de los cuales la clase A es el objeto más importante de la gerencia [16].

- **Dual Entry:** El sistema de doble ingreso es un concepto básico y es el sistema principal utilizado en la contabilidad de negocios en todo el mundo. Inventado durante el siglo XIV por los comerciantes en Venecia, Italia, el sistema de doble entrada ha gobernado el mundo financiero desde entonces. Sin embargo, en el control de costos, el sistema de doble ingreso es todavía una novedad. "Entrada dual" significa que se registra una transacción en contabilidad o una entrada de costo en el control de costos para que la cifra en dólares se pueda desglosar y asignar simultáneamente a dos o más cuentas en dos columnas separadas llamadas "débito" y "crédito", De manera que la suma de los débitos sea igual a la suma de los créditos [23].
- **Single Entry:** La entrada única es cuando se introduce la misma cifra en dólares en una o más cuentas de forma independiente y la suma de una cuenta no tiene un significado especial en relación con las sumas de otras cuentas. Los controladores de costos del proyecto están familiarizados y están acostumbrados al sistema de una sola entrada [23].
- **Activity-Based Costing (ABC):** El costeo basado en actividades (ABC) ha sido muy popular desde los años ochenta porque evita distorsiones de costos y proporciona una visión del proceso que la contabilidad de costos tradicional no puede proporcionar. El cálculo de costos basado en actividades se basa en una "visión de flujo" en la teoría de la producción, ya que ABC adopta un cálculo de costos en dos etapas, los recursos se asignan a actividades y las actividades se asignan a objetos de costo. ABC desde la perspectiva del

proyecto incluyen: 1) la asignación de costos generales a cada división de trabajo, área o edificio individual y 2) visibilidad de costos en cuanto a dónde se acumulan los costos en el proceso de negocios [24].

- **RBC (resource-based costing):** RBC asigna costos directamente a subproyectos, cuentas de costos o paquetes de trabajo definidos en las estructuras de desglose de trabajo, como si los costos que surgen en la ejecución de los paquetes de trabajo también tienen sus causas en esos paquetes de trabajo. Este cálculo tradicional de una etapa, en el cual los recursos son trazados directamente a los productos y servicios, se emprende desde la perspectiva de una "visión de transformación", que concibe la producción como una transformación de los insumos en productos. [24].
- **Value engineering:** El análisis de ingeniería de valor es sólo una forma efectiva y una herramienta para el control de costos de grandes proyectos. La ingeniería de valor, originaria de los Estados Unidos, es un método técnico y económico de reciente aparición que aumentará el valor del producto y proporcionará a los usuarios la función de producto requerida con el costo total más bajo. La relación entre función y precio existe en todos los productos de la sociedad, que constituyen el valor del producto. La ingeniería de valor puede ser aplicada al control de costos de proyectos públicos a gran escala para analizar claramente la relación entre su función y costo, que explorará una nueva idea para controlar los costos de ingeniería [25].

Cada sistema que se encuentra en esta categoría cuenta con sus respectivas variables como se observa en la tabla 4

3.4.1 Ventajas: Las ventajas presentadas por Dual Entry son las siguientes **[23]**:

- Balanceo automático de cuentas a través de entradas de débito / crédito
- La balanza de prueba genera automáticamente el estado del costo del proyecto
- Cualquier desviación esperada del presupuesto puede ser tomada en cuenta con prontitud: las provisiones / presupuestos pueden ser mayor, menor o igual a 1
- Más dinero del que se necesita no se reserva: reservado / pronóstico debe ser menor o igual a 1
- Se pueden evitar los pagos más altos de lo justificado por el trabajo completado: reservado / real debe ser menor o igual a 1

Las ventajas presentadas por Activity-Based Costing (ABC) system son las siguientes **[24]**:

- El costeo basado en proceso supone que los recursos se asignan a las actividades (procesos), son asignadas a piezas de proyectos.
- El propósito de costeo basado en proceso es no sólo que evitan la distorsión de costos, sino que también proporciona una visión de proceso, ayudando así a reducir o eliminar los desechos o actividades que no agregan valor

La ventaja presentada por Value engineering es la siguiente **[25]**:

- Valor la ingeniería se puede aplicar al control de costo de los proyectos públicos de gran escala para analizar con claridad la relación entre su función y costo.

Tabla 4. Variables de los basados en modelos de costeo.

SISTEMAS DE CONTROL	VARIABLES
ABC analysis method	El precio agregado de la ingeniería de subentrada de número j del número i ingeniería de sucursal; La cantidad de la ingeniería de subentrada número j de la ingeniería de rama número i, el precio unitario de la ingeniería de subentrada número j de la ingeniería de la rama número i; El coste de ingeniería directo de todo el Proyecto
Dual Entry	Cuenta de pronóstico, cuenta de gastos reales, cuenta de gastos y cuenta reservada
Activity-Based Costing (ABC) system	Los costos de nivel de salida, los costos de nivel de lote, los costos de nivel de producto y los costos de nivel de instalación
Value engineering	F es función, C es el costo total requerido para obtener la función (costo del ciclo de vida)

3.4.2 Análisis de efectividad: El 38% (3/8) de los artículos reportados en esta categoría mostraron efectividad, en el método ABC system se muestra un ejemplo de la aplicación de este sistema en la construcción y sus beneficios potenciales en comparación con RBC, al final del estudio se concluyó que el ABC system proporciona a los gerentes una visión de proceso en el lugar donde se acumulan los costos, por lo tanto ellos pueden centrarse en el área que sea necesaria la mejora, proporcionando un mejor control en cada una de las actividades del proyecto.

3.5 BASADOS EN MODELOS ESTADÍSTICOS

Los sistemas de control presente en esta categoría son los que se basan en modelos estadísticos. Los modelos estadísticos ayudan a una mejor comprensión de la realidad y a una optimización a partir de un proceso de obtención, representación, interpretación y proyección de las características, variables o valores numéricos de un proyecto de investigación. Los sistemas reportados por la revisión son los siguientes:

- **Variances method:** las varianzas son diferencias entre dos valores. En la medición y control de proyectos suelen ser las diferencias entre dos gastos, el planificado y el real, aunque se podrían utilizar los ingresos o cualquier otro valor. El uso de las variaciones para medir el rendimiento del proyecto es quizás una de las técnicas más antiguas y más comúnmente utilizadas [17].
- **BAF (Bayesian adaptive forecasting):** se denomina inferencia Bayesiana y fue formulado y comprobado originalmente por Elberling and Walhlgreen (1985). BAF utiliza dos requisitos de insumos primarios de costo que consiste en una estimación probabilística del costo del proyecto estimado antes del inicio del proyecto y el desempeño del costo real medido con el valor ganado y el costo real en el método del valor ganado. En primer lugar, la distribución previa del coste $p(\beta)$ del proyecto puede obtenerse de diversas fuentes y por varios métodos de estimación probabilísticos [26].

Las variables que utilizan estos métodos estadísticos son parecidas a las variables que reporta el valor ganado como se observa en la tabla 5, debido a que estos modelos estadísticos utilizan el valor ganado para mejorar el control y la gestión en los proyectos de construcción.

Tabla 5. Variables de los basados en modelos estadísticos

SISTEMAS DE CONTROL	VARIABLES
Variances method	Desviación del desempeño, Valor presupuestal del trabajo realizado, Gasto presupuestario hasta la fecha, Costo incurrido
BAF (Bayesian adaptive forecasting)	Costo real (CA), valor planificado (PV), valor ganado (EV)

En esta categoría los artículos no reportaron ni ventajas ni efectividad, debido a esto no se le pudo hacer el correspondiente análisis.

4 CONCLUSIONES

Las revisiones sistemáticas han dado un aporte muy importante a diversas investigaciones, en este estudio se hace el uso de ésta para identificar y clasificar los principales sistemas de control de costos en la construcción, obteniendo como resultado las siguientes categorías: basado en el Valor Ganado, basados en registro histórico (utilizan base de datos), basados en modelos matemáticos y simulaciones, basados en modelos de costeo y basados en el modelo estadísticos. De la investigación realiza en este artículo, se concluyeron las siguientes ventajas en general de cada clasificación:

- **Basados en el valor ganado:** el valor ganado es una herramienta de gestión de proyectos relativamente sencilla que integra el costo, el tiempo y la calidad técnica en un solo sistema de medición y gestión de proyectos, esto le permite al gestor mitigar los riesgos en sus decisiones en condiciones críticas de la obra. Es el método actualmente más utilizado.
- **Basados en registro histórico (utilizan base de datos):** Son sistemas simples y eficientes, utilizan base de datos, esto ayuda a la fluidez y organización de información entre campo y oficina, proporcionando un ahorro en tiempo y esfuerzo, Esto es ventajoso cuando hay un problema que requiere análisis y atención inmediata.
- **Basados en modelos matemáticos y simulaciones:** Estos sistemas acumulan los datos del proyecto, analiza y descompone los factores claves que influyen en los cambios de costos, esto ayuda al análisis de rendimiento

y la predicción del proyecto teniendo en cuenta las muestras, utilizando modelos matemáticos y simulaciones descritas en esta categoría.

- **Basados en modelos de costeo:** Son herramientas para el control de costos de grandes proyectos, proporcionan un enfoque de procesos en el control de costos, evitando distorsión de los costos. Son sistemas antiguos, que en la actualidad su uso es bastante reducido.
- **Basados en modelos estadísticos:** Estos métodos proporcionan una mejor comprensión de la realidad, a partir de las características de las variables o valores numéricos del proyecto de investigación.

De lo anteriormente mencionado; por las ventajas descritas en cada clasificación, por ser un sistema sencillo y muy aplicado en los proyectos de construcción a nivel mundial y teniendo en cuenta las variables, se concluye que los sistemas basados en el valor ganado representan mayor efectividad en los controles de costos, tiempo y calidad, porque ayudan al gestor a hacer predicciones sobre el rendimiento del proyecto para así poder realizar un mejor control de costos.

REFERENCIAS

[1] B. Flyvbjerg, M. S. Holm and S. Buhl, "Underestimating Costs in Public Works Projects Error or Lie?" *APA Journal*, 2002, Vol. 68, No. 3, p. 279-295.

[2] X. Alvarez Brotos, Control predictivo de canales de riego utilizando modelos de predicción de tipo Muskingum (primer orden) y de tipo Hayami (segundo orden), primera edición, 2004, capítulo 2, p. 5.

[3] J.P. Gisbert y X. Bonfill, "¿Cómo realizar, evaluar y utilizar revisiones sistemática y metaanálisis?", *Gastroenterol Hepatol*, 2004, vol. 27, No 3, p. 129-149.

[4] S. R. León y J. M. Aguilera, "Metodología de los estudios de meta-análisis en la investigación clínica", *Rev Mex Ortop Traum* 2001, vol. 15, No 2, p. 94-99.

[5] Project Management Institute, Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos, quinta edición. Newtown Square, Pensilvania: 14 Campus Boulevard, p. 216.

[6] Project Management Institute, Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos, quinta edición. Newtown Square, Pensilvania: 14 Campus Boulevard, p. 217.

[7] A. Naderpour and M. Mofid, "Improving Construction Management of an Educational Center by Applying Earned Value Technique", *Procedia Engineering*, 2011, Vol. 14, p. 1945–1952.

[8] L. Moslemi, S. Shadrokh and A. Salchipour, "A fuzzy approach for the earned value management", *International Journal of Project Management*, 2014, Vol. 32, No. 5, p. 709–716

[9] S. Kim, C. Park, S. Lee and J. Son, "Integrated cost and schedule control in the Korean construction industry based on a modified work-packaging model", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 2008, Vol. 35, No 3, 13, p. 225-235.

[10] D. Cho, J. S. Russell and J. Choi, "Database Framework for Cost, Schedule, and Performance Data Integration", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2013, Vol. 27, No. 6, p. 719-731.

[11] O. Abudayyeh, B. Temel, H. Al-Tabtabai, B. Hurleyd, "An Intranet-based cost control system", *Advances in Engineering Software*, 2001, vol. 32, No 2, p. 87-94.

[12] H. Nie, S. Staub-French and T. Froese, "OLAP-Integrated Project Cost Control and Manpower Analysis", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2007, Vol. 21, No. 3, p. 164-174.

- [13] M. Hastak, D. W. Halpin and J. Vanegas, "Compass- New Paradigm For Project Cost Control Strategy And Planning", *Journal of Construction Engineering and Management*, 1996, Vol. 122, No. 3, p. 254-264.
- [14] A. Jaafari and V. K. Mateffy, "Games People Play With Cost Control In Australia", *Journal of Construction Engineering*, 1986, Vol. 112, No. 4, p. 556-581.
- [15] R. Azimi, S. Lee and S. M. AbouRizk, "Applying Basic Control Theory Principles to Project Control: Case Study of Off-Site Construction Shops", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2012, Vol. 26, No. 6, p. 681-690.
- [16] F. Li, G. Xianyi and M. Xinb, "on reasons of uncontrollable construction cost based on the ABC analysis method and the complete decomposition model", *Systems Engineering Procedia*, 2012, Vol. 4, p. 359 – 365.
- [17] S. H. Al-Jibouri, "Monitoring systems and their effectiveness for project cost control in construction", *International Journal of Project Management*, 2003, Vol. 21, No. 2, p. 145–154.
- [18] K. M. Nassar; H. G. Gunnarsson and M. Y. Hegab, "Using Weibull Analysis for Evaluation of Cost and Schedule Performance", *Journal of Construction Engineering and Management*, 2005, Vol. 131, No. 12, p. 1257-1262.
- [19] A.A.D.A.J. Perera and K. Imriyas, "Knowledge-based system for construction cost control", *AACE International Transactions*, 2003, p. IT101-IT108.

[20] L. Ruan, Y. Xiong and Y. Wang, "Construction Cost Integrated Control based On Computer Simulation", 2001, Vol. 2, No. 1, p. 28 – 33.

[21] L. Moslemi, S. Shadrokh and A. Salchipoor, "A fuzzy approach for the earned value management", *International Journal of Project Management*, 2014, Vol. 32, No. 5, p. 709–716

[22] H Lee and K. Jin Yi, "Application of Mathematical Matrix to Integrate Project Schedule and Cost", *Journal of Construction Engineering and Management*, 1999, Vol. 125, No. 5, p. 229-346.

[23] W. J. Jurkiewicz, "Dual entry in cost control: The most efficient approach to Project cost control", *Cost Engineering*, 1995, Vol. 35, No. 5, p. 23-26.

[24] Y. Kim and G. Ballard, "Activity-Based Costing and Its Application to Lean Construction", *the 9th annual conference of the Int'l. Group for Lean Construction, National University of Singapore*, 2001, pp. 1-13

[25] F. Liu, "A New Conception of Engineering Cost Control of Large-scale Public Projects Under Value Management Conditions". *Management & Engineering*, 2011, Vol. 2, p. 1838-5745.

[26] B. Kim and K. F. Reinschmidt, "Combination of Project Cost Forecasts in Earned Value Management", *Journal of Construction Engineering and Management*, 2011, Vol. 137, No. 11, p. 958-966.

BIBLIOGRAFIA

ABUDAYYEH Osama Y. I and RASDORF William J., "Prototype Integrated Cost And Schedule Control System", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 1993, Vol. 7, No. 2, p. 181-198.

ACEBES Fernando, Javier PAJARES, GALÁN José Manuel, LÓPEZ-PAREDES Adolfo, "Beyond Earned Value Management: A Graphical Framework for Integrated Cost, Schedule and Risk Monitoring", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2013, Vol 74, p. 181-189.

CHEN Hong Long, "Improving Forecasting Accuracy of Project Earned Value Metrics: Linear Modeling Approach", *Journal of Management in Engineering*, 2014, Vol. 30, No. 2, p. 135-145.

JUNG Youngsoo, MOON Byeong-Suk, KIM Yun-Myung and KIM Woojoong, "Integrated Cost and Schedule Control Systems for Nuclear Power Plant Construction: Leveraging Strategic Advantages to Owners and EPC Firms", *Science and Technology of Nuclear Installations*, 2015, Volume 2015, P. 1-14.

KIM Byung-Cheol, "Probabilistic Evaluation of Cost Performance Stability in Earned Value Management", *Journal of Management in Engineering*, 2015, p. 1-13.

KIM Taehoon; KIM Yong-Woo; and CHO Hunhee, "Customer Earned Value: Performance Indicator from Flow and Value Generation View", *Journal of Management in Engineering*, 2016, Vol 32, No 1, p. 1-7.

KWON Oh-cheol, KIM Sang-chul, PAEK Joon-hong and EOM Shin-Jo, "Application of Earned Value in the Korean Construction Industry: A Case Study", *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 2008, vol.7, no.1, P. 69-76.

LANFORD H. W and MCCANN T. M., "Effective Planning and Control of Large Projects - Using Work Breakdown Structure", *Long Range Planning*, 1983, Vol. 16, No. 2, p. 38 to 50.

MCCONNELL Daniel R, "Earned Value Technique For Performance Measurement", *Journal of Management in Engineering*, 1985, Vol. 1, No. 2, p. 79-94.

PAJARES Javier, LÓPEZ-PAREDES Adolfo, "An extension of the EVM analysis for project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index", *International Journal of Project Management*, 2011, Vol 29, p. 615-621.

ANEXOS

ANEXO A: ARTICULOS USADOS EN LA REVISIÓN SISTEMÁTICA:

TÍTULO	AUTOR PRINCIPAL	AÑO DE PUBLICACIÓN
Integrated Cost and Schedule Control Systems for Nuclear Power Plant	Jung, Youngsoo	2015
Database framework for cost, schedule, and performance data integration	Daegu Cho	2013
Monitoring systems and their effectiveness for project cost control in construction	Al-Jibouri, Saad H	2003
Applying Basic Control Theory Principles to Project Control: Case Study of Off-Site Construction Shops	Azimi, Reza	2012
Monitoring project duration and cost in a construction project by applying statistical quality control charts	Aliverdi, R.	2013
Games People Play with Cost Control in Australia	Jaafari, Al	1986
OLAP-Integrated Project Cost Control and Manpower Analysis	Nie, Hao "Howard"	2007
Combination of Project Cost Forecasts in Earned Value Management	Kim, Byung-Cheol	2011
Using Weibull Analysis for Evaluation of Cost and Schedule Performance	Nassar, Khaled M	2005
Probabilistic Evaluation of Cost Performance Stability in Earned Value Management	Kim, Byung-Cheol	2016
Construction cost control systems in Saudi Arabia	Shash, Ali A.	1993

Knowledge-based system for construction cost control	Perera, A. A. D. A. J.	2003
Development of an integrated cost estimation and cost control system for construction projects.	Azhar, S.	2002
Construction cost integrated control based on computer simulation	Lian-fa, Ruan	2001-01
A cost control system development: A collaborative approach for small and medium-sized contractors	Benjaoran, Vacharapoom	2009-04
An Intranet-based cost control system	Abudayyeh, O	2001
An extension of the EVM analysis for project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index	Pajares, Javier	2011-07
on reasons of uncontrollable construction cost based on the ABC analysis method and the complete decomposition model	Li, Fang	2012
Demonstrated labor efficiency: An effective cost control and analytical tool	McCally, Bob M.	1999
Dual entry in cost control: The most efficient approach to p	Jurkiewicz, Wieslaw J.	1995
COMPASS\=New Paradigm for Project Cost Control Strategy and Planning	Hastak, M.	1996
Joint Ventures - The Wave of the Future (And How to Cost-Control Them)	Griggs, F. Sam	1992
A New Conception of Engineering Cost Control of Large-scale Public Projects Under Value Management Conditions	Liu, Fuling	2011

Cost Management Models for Design Application	Dreger, Garvin T.	1988
Total cost management for mega projects constructed by the Korean public corporation	Yong-Eok, Lee	1996
Earned value programs for DOE projects	Cass, Donald J.	1998
CRCS/CCS: An integrated probabilistic construction cost control approach for highway project	He, Weiyi	2010
Prototype integrated cost and schedule control system	Abudayyeh, Osama Y.	1993
Assessment of cost control systems: a case study of Thai construction organizations	Charoenngam, Chotchai	2001
Integrated cost and schedule control in the Korean construction industry based on a modified work-packaging model	Kim, Sangchul	2008
Application of Earned Value in the Korean Construction Industry	Kwon, Oh-cheol	2008
Customer Earned Value: Performance Indicator from Flow and Value Generation View	Kim, Taehoon	2016
Improving Forecasting Accuracy of Project Earned Value Metrics: Linear Modeling Approach	Turkan, Yelda	2014
Dos modelos de aplicación del método del valor ganado (EVM) para el sector de la construcción	Fernando G. Valderrama	2010

A fuzzy approach for the earned value management	Leila Moslemi Naeni	2013
Earned value technique for performance	Daniel R. McConnell	1985
The essence of evolution of earned value	Fleming, Quentin W.	1994
Application of Earned Value Method to Progress Control of Construction Projects	Drusa, Marian	2014
Improving Construction Management of an Educational Center by Applying Earned Value Technique	Heung Fai, LAM	2011
Beyond Earned Value Management: A Graphical Framework for Integrated Cost, Schedule and Risk Monitoring	Pantouvakis, John-Paris	2013
Effective planning and control of large projects—Using work breakdown structure	Lanford, H. W.	1983
Application of Mathematical Matrix to Integrate Project Schedule and Cost	Lee, Hyun-Soo	1999
Activity-Based Costing And Its Application to Lean Construction	Kim, Yong-Woo	2001
Seguimiento de proyectos con el Analisis del Valor Ganado	Navarro, Diego	

**ANEXO B: ECUACIONES E INTERPRETACION DE LOS INDICES Y
VARIACIONES DEL VALOR GANADO**

Abreviatura	Nombre	Fórmula	Interpretación de resultado
SV	Variación del cronograma	$SV = EV - PV$	Positiva = Adelanto con respecto al cronograma Neutra = De acuerdo con el cronograma Negativa = Retraso con respecto al cronograma
CV	Variación del costo	$CV = EV - AC$	Positiva = Por debajo del costo planificado Neutra = Igual al costo planificado Negativa = Por encima del costo planificado
SPI	Índice de desempeño del cronograma	$SPI = EV/PV$	Mayor que 1 = Adelanto con respecto al cronograma Exactamente 1 = Ajustado al cronograma Menor que 1 = Retraso con respecto al cronograma
CPI	Índice de desempeño del costo	$CPI = EV/AC$	Mayor que 1 = Por debajo del costo planificado Costo Exactamente 1 = En el costo

			planificado Menor que 1 = Por encima del costo planificado
--	--	--	--