

SISTEMAS DE CONTROL DE COSTOS: META-ANÁLISIS

ANDRÉS MAURICIO MÉNDEZ SUÁREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN
BUCARAMANGA
2017**

SISTEMAS DE CONTROL DE COSTOS: META-ANÁLISIS

ANDRÉS MAURICIO MÉNDEZ SUÁREZ

**Monografía presentada como requisito para optar el Título de Especialista en
Gerencia de Proyectos de Construcción**

GUILLERMO MEJÍA AGUILAR
PhD. In Construction Engineering

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN
BUCARAMANGA

2017

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	11
1. OBJETIVOS	13
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
3. ANÁLISIS	16
3.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	16
3.2 EVIDENCIA	16
4. RECOPIACIÓN DE LA EVIDENCIA	23
5. EVALUACIÓN DE LA EVIDENCIA	25
6. ANÁLISIS DE DATOS	26
6.1 INTEGRACIÓN DE LA EVIDENCIA.....	26
6.2 INTERPRETACIÓN DE LA EVIDENCIA	26
7. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	29
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
BIBLIOGRAFÍA.....	40
ANEXOS	41

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Estadística básica búsqueda EQ1.	17
Tabla 2. Publicaciones relacionadas a los tópicos de búsqueda.....	19
Tabla 3. Estadística básica búsqueda EQ1 y EQ2.....	20
Tabla 4. Estadística básica búsqueda EQ3.	22
Tabla 5. Fórmulas de cálculo de los índices y variaciones del EVM	30

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Revisión bibliométrica, Plantilla análisis elaboración propia.	17
Gráfica 2. Revisión bibliométrica, comparación de dos filtros, Plantilla análisis elaboración propia.....	18
Gráfica 3. Revisión bibliométrica, con ecuación EQ3, Plantilla análisis elaboración propia.....	21
Gráfica 4. Distribución de documentos por tipo, Tomado de SCOPUS.....	23

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Ambiente de SCOPUS, presentación de resultados por tipo de documento.....	41
Anexo B. Matriz resultante de documentos de consulta	42

RESUMEN

TÍTULO: SISTEMAS DE CONTROL DE COSTOS: META-ANÁLISIS*

AUTOR: MÉNDEZ SUÁREZ, Andrés Mauricio**

PALABRAS CLAVE: Meta-análisis, Proyectos de ingeniería, Proyectos de construcción, Revisión sistemática, Estadística, Control de costos

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de toda empresa de construcción conlleva fines de lucro, y por ello, pretende mantener o elevar el margen de ganancias que se tenga planeado al ejecutar un proyecto de ingeniería o de construcción. Este objetivo solo es alcanzable mediante un control apropiado de los costos en los que se incurre al ejecutar el proyecto.

La implementación de un meta-análisis en este tema, pretende presentar como un marco lógico y metodológico, tanto de elaboración de la búsqueda de estudios como del análisis y combinación de sus resultados mediante las técnicas estadísticas adecuadas y así mismo la presentación óptima de esos datos y la interpretación guiada de los mismos, darán la base para identificar el sistema de control de costos más utilizado.

Los métodos empleados son diferentes tanto en la concepción del mismo como en la aplicación, pero tienen un común denominador y es que pretenden lograr una efectiva utilización de los recursos logrando la optimización de la relación tiempo-costos.

Teniendo en cuenta lo anterior y analizando las lecciones aprendidas a lo largo de la historia, la presente investigación tuvo como propósito implementar la metodología de revisión sistemática para conocer cuál es el sistema de control de costo más usado en proyectos de construcción pesada, tales como autopistas, puentes, canales, túneles, y demás.

*Monografía

**Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Especialización en Gerencia de Proyectos de Construcción. Director: Guillermo Mejía Aguilar, PhD.

ABSTRACT

TITLE: COST CONTROL SYSTEMS: META-ANALYSIS *

AUTHOR: MÉNDEZ SUÁREZ, Andrés Mauricio **

KEYWORDS: Meta-analysis, Engineering projects, Construction projects, Systematic review, Statistics, Cost control

DESCRIPTION:

The objective of any construction company is profit, and therefore, aims to maintain or raise the profit margin that is planned when executing an engineering or construction project. This objective is only achievable by appropriate control of the costs incurred in executing the project.

The implementation of a meta-analysis in this subject, pretends to present as a logical and methodological framework, as much to elaborate the search of studies as of the analysis and combination of its results by means of the suitable statistical techniques and also the optimal presentation of that data and the guided interpretation thereof, will provide the basis for identifying the most commonly used cost control system.

The methods used are different in the conception itself as in the application, but they have a common denominator and it is that they pretend to achieve an effective use of the resources achieving the optimization of the relation time-cost.

Considering the above and analyzing the lessons learned throughout history, the present investigation had as its purpose to implement the methodology of systematic review to know which is the control system of cost more used in projects of heavy construction, such as freeways, Bridges, canals, tunnels, and more.

*Monograph

**Physicomechanical Engineering's Faculty. School of Civil Engineering. Specialization in Construction Project Management. Director: Guillermo Mejía Aguilar, PhD.

INTRODUCCIÓN

La concepción de un proyecto trae consigo diferentes etapas que se realizan tanto antes como después de la materialización del proyecto en sí mismo. Estas etapas en su mayoría son preventivas que buscan blindar el proyecto en términos de costo y tiempo. Existe una premisa de la triple restricción o también llamado el triángulo de la gestión de proyectos que se tiene en cualquier proyecto de ingeniería sin importar su tamaño y en los cuales interviene, alcance, tiempo y costo. Enfocándose en el costo, es de conocimiento general que es un factor crítico en los proyectos de ingeniería, ya sean de construcción o no, pues este llegaría en su momento a determinar una continuidad en el alcance o en el tiempo, y de manera inversa pasaría semejante con los dos factores, tiempo y alcance, por eso es bien conocido como la triple restricción o el triángulo de la gestión de proyectos y se definen como áreas del conocimiento dentro del *PMBOK* del *Project Management Institute*.

El costo juega un papel fundamental en los proyectos de ingeniería, centrándose en los proyectos de construcción, la gestión del proyecto es determinante en la concepción del costo total, costo directo e indirecto del mismo. Esta fase ayudara en un futuro tener una solvencia mayor para una correcta ejecución de los trabajos y no tener sobrecostos. La identificación temprana de actividades y/o ítems que generarían sobrecostos, es de suma relevancia para la correcta ejecución administrativa y financiera del proyecto. En los proyectos de construcción, y en general en todos los proyectos de ingeniería, as herramientas, sistemas y métodos que se usen para el seguimiento y control de las actividades forman la base fundamental para evitar imprevistos y sobrecostos, que afecten la viabilidad financiera y económica del proyecto.

Teniendo en cuenta lo anterior y analizando las lecciones aprendidas a lo largo de la historia, la presente investigación tuvo como propósito implementar la metodología de revisión sistemática para identificar cual es el sistema de control de costo mas usado en proyectos de construcción pesada, tales como autopistas, puentes, canales, túneles, y demás, los cuales se catalogan como “*Heavy/Highway Construction*” según el *Construction Management Fundamentals*.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

La presente monografía analizará la información encontrada en bases de datos especializadas mediante un meta-análisis, para determinar el sistema de control de costos mas usado en proyectos de ingeniería y analizar sus similitudes y diferencias.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar los artículos encontrados en la base de datos SCOPUS relacionados con sistemas de control de costos en proyectos de ingeniería, durante el periodo de tiempo entre 1985 y 2015.

2. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El objetivo de toda empresa de construcción conlleva fines de lucro, y por ello, pretende mantener o elevar el margen de ganancias que se tenga planeado al ejecutar un proyecto de ingeniería. Este objetivo solo es alcanzable mediante un control apropiado de los costos en los que se incurre al ejecutar el proyecto.

El sector de la construcción cuenta con métodos y sistemas de control de costos, los cuales se implementan algunas veces de manera efectiva ayudando a optimizar el costo del proyecto, pero otras veces no son efectivas debido a su incorrecta implementación, falta de seguimiento continuo, por factores externos que inciden en el proceso de control y demás situaciones que se presentan en el normal desarrollo de un proyecto. En el escenario de los proyectos de ingeniería se hace necesario implementar un método de control de costos dependiendo de la actividad que se lleve a cabo.

Los métodos empleados son diferentes tanto en la concepción del mismo como en la aplicación, pero tienen un común denominador y es que pretenden lograr una efectiva utilización de los recursos logrando la optimización de la relación tiempo-costo.

Un estudio realizado por la Universidad de San Martín de Porres establece que un problema presente en los proyectos de construcción es la calidad de la información reportada en los presupuestos ya que no constituyen un soporte confiable debido a los sobrecostos reportados. El suministro de información sobre costos no tiene en cuenta las estructuras desagregadas de trabajo y origina desviaciones en los contratos de los diferentes recursos, como mano de obra, transporte, suministros, alquileres, etc. Controlar los costos mediante sistemas de procesos en obras de construcción se ha convertido en una herramienta sencilla y

práctica, ya que es un sistema de control simple y económico. (Universidad de San Martín de Porres, 2010).

Con base en lo anterior, es evidente que hay desconocimiento de las diferentes metodologías de control de costos de proyectos que pueden ser empleadas en las empresas constructoras y resulta interesante conocer cuáles son las metodologías de control reportadas en la literatura académica.

3. ANÁLISIS

3.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

A través del tiempo se ha venido implementando la gestión de proyectos desde la concepción del mismo hasta la entrega final. Los sistemas de control de costos hacen parte de esta gestión integral de proyectos, pero en cierta medida existe evidencia de que no han sido implementados en la buena practica o no han tenido el correcto seguimiento, pues en el día a día de cada uno de los proyectos, al hacer balance físico-financiero se evidencia la presencia de desviaciones en costos de actividades y prorrogas de tiempo, los cuales representan un problema tanto para quien ejecuta la obra como para el cliente de la misma.

En consecuencia para determinar los sistemas de control de costos usados para mitigar esta problemática, se decidió implementar la metodología de metaanálisis o revisión sistemática de la literatura definiendo un lapso de tiempo desde 1985 hasta 2015, para así tener una base solida de la trazabilidad en el tiempo.

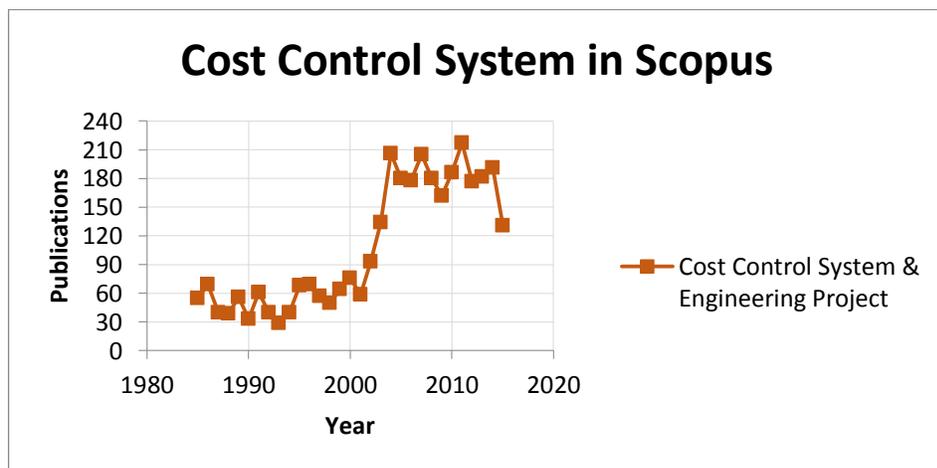
3.2 EVIDENCIA

Teniendo definida la base de datos SCOPUS que se iba a utilizar para la revisión y obtener la información, lo primero que se hizo fue utilizar esta misma para realizar el análisis bibliométrico y conocer por etapas la cantidad de información publicada con que se cuenta definiendo el rango de publicación entre 1985 hasta el 2015, usando como palabras claves *Cost Control System* y *Engineering Project*, esto en primera medida para tener una visión amplia de lo publicado sobre el tema.

La ecuación de búsqueda usada en SCOPUS, esta determinada de la siguiente manera: EQ1: (TITLE-ABS-KEY (cost control system) AND TITLE-ABS-KEY (engineering project)) AND PUBYEAR > 1984 AND PUBYEAR < 2016

En la *Grafica 1*, se muestra el comportamiento en cuanto a las publicaciones que se han hecho sobre el tema durante el lapso de tiempo definido.

Gráfica 1. Revisión bibliometrica, Plantilla análisis elaboración propia.



Al analizar el comportamiento de la grafica 1, es evidente que desde el inicio del siglo XXI se empieza a tener una mayor base académica en publicaciones sobre los sistemas de control de costos. Para conocer más sobre la tendencia que se muestra, se realizó un análisis estadístico básico para determinar generalidades, las cuales se muestran en la siguiente tabla.

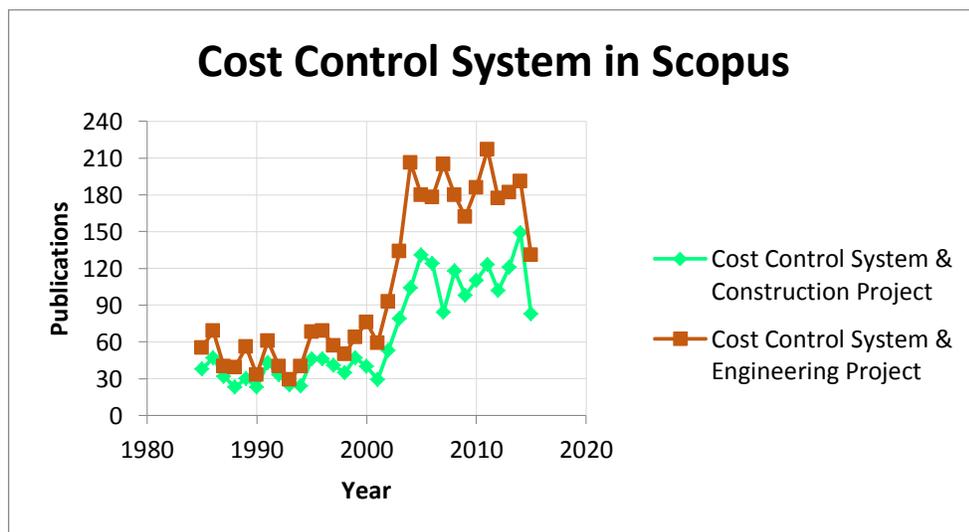
Tabla 1. Estadística básica búsqueda EQ1.

Basic Statistics	
mean	107,3225806
min	29
max	217
trend	40
deviation	65,29236152
curtosis	-1,605248552
variance	4263,092473

Conocidos estos datos y una visión general de los mismos, se planteó hacer una modificación en la ecuación de búsqueda utilizada en SCOPUS. Esto con el fin de seguir analizando la información publicada en términos de cantidad, promedio de publicaciones y temas relacionados.

Manteniendo el rango de búsqueda entre 1985 y 2015, el tema central como sistemas de control de costos, se modificó el termino proyectos de ingeniería por proyectos de construcción, para identificar diferencias y similitudes, dando como resultado la siguiente grafica, donde el color marrón evidencia las publicaciones sobre proyectos de ingeniería y el color verde identifica las publicaciones relacionadas con proyectos de construcción.

Gráfica 2. Revisión bibliométrica, comparación de dos filtros, Plantilla análisis elaboración propia.



Se observa una variación significativa con solo un criterio modificado, vale la pena aclarar que el tema principal, sistemas de control de costos, sigue siendo parte de la ecuación y se sigue mostrando una tendencia marcada a partir del año 2000 donde aumentan significativamente las publicaciones relacionadas.

La ecuación de búsqueda EQ2 tiene una ligera diferencia a la anteriormente mostrada, añadido “*construction Project*” como criterio de búsqueda en *Article title, Abstract, Keywords*, tenemos la siguiente ecuación de búsqueda:

EQ2: (TITLE-ABS-KEY (cost control system) AND TITLE-ABS-KEY (construction project)) AND PUBYEAR > 1984 AND PUBYEAR < 2016

En la siguiente tabla se relaciona el numero de publicaciones hechas a lo largo del periodo definido de 1985 hasta 2015. Se evidencia que las publicaciones relacionadas con proyectos de ingeniería (color marrón) en cada año son mayores a las publicaciones relacionadas con proyectos de construcción (color verde).

Tabla 2. Publicaciones relacionadas a los tópicos de búsqueda.

Publications				
year	total		year	total
1985	38		1985	55
1986	47		1986	69
1987	32		1987	40
1988	23		1988	39
1989	30		1989	56
1990	23		1990	33
1991	43		1991	61
1992	33		1992	40
1993	25		1993	29
1994	24		1994	40
1995	46		1995	68
1996	46		1996	69
1997	41		1997	57
1998	35		1998	50
1999	47		1999	64
2000	40		2000	76
2001	29		2001	59
2002	53		2002	93
2003	79		2003	134
2004	104		2004	206
2005	131		2005	180
2006	124		2006	178
2007	84		2007	205
2008	118		2008	180
2009	98		2009	162

Publications				
year	total		year	total
2010	110		2010	186
2011	123		2011	217
2012	102		2012	177
2013	121		2013	182
2014	149		2014	191
2015	83		2015	131
	2081			3327

Seguindo la metodología, se tiene en la tabla 2, el paralelo entre los dos criterios de búsqueda teniendo el resultado en un análisis estadístico básico.

Tabla 3. Estadística básica búsqueda EQ1 y EQ2.

Basic Statistics			
mean	67,12903226	mean	107,3225806
min	23	min	29
max	149	max	217
trend	47	trend	40
deviation	39,67261183	deviation	65,29236152
curtosis	-1,193675073	curtosis	-1,605248552
variance	1573,916129	variance	4263,092473
EQ2		EQ1	

Se observa que la diferencia entre los dos criterios es amplia aunque son muy semejantes en términos lingüísticos, se podría decir que al hablar de proyectos de ingeniería abarcamos un margen mas amplio en cuanto en términos de búsqueda y si se plantea la búsqueda en proyectos de construcción, éste ultimo puede tomarse como un subgrupo de los proyectos de ingeniería.

Realizado este ejercicio se tiene una idea del comportamiento de las publicaciones desde 1985 hasta el 2015 y así mismo se enfocó la investigación como se había planteado en el objetivo específico, en “sistemas de control de costos en proyectos de ingeniería” haciendo la salvedad que al hablar de proyectos de ingeniería se hace referencia a los proyectos de construcción pesada o *Heavy/Highway Construction*. Por ende se estableció una ecuación de búsqueda que diera ese rumbo y a su vez cerrara más el tamaño total de la muestra, para así ir filtrando la

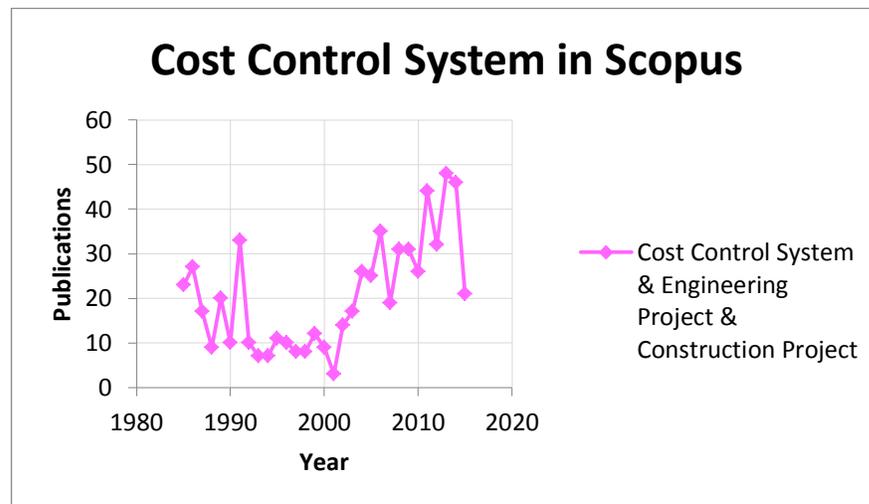
información. La ecuación de búsqueda finalmente usada contempla las mismas palabras claves, el mismo rango de publicación pero limita la información solamente al área de ingeniería.

EQ3: (TITLE-ABS-KEY (cost control system) AND TITLE-ABS-KEY (engineering project) AND TITLE-ABS-KEY (construction project)) AND PUBYEAR > 1984 AND PUBYEAR < 2016 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI"))

Al utilizar la búsqueda con la ecuación final se tiene un total de 639 artículos para así continuar con el siguiente paso metodológico, recopilar la información, y a su vez evaluar la calidad de los artículos y/o publicaciones con el fin de ir depurando la información.

En la siguiente grafica podemos observar el comportamiento de las publicaciones usando la EQ3.

Gráfica 3. Revisión bibliométrica, con ecuación EQ3, Plantilla análisis elaboración propia.



Vale la pena detallar que al observar gráficamente el comportamiento de las publicaciones, se conserva lo que se ha mostrado con las otras dos ecuaciones implementadas anteriormente. En la siguiente tabla se tienen detalles de estadística básica para tener una idea mas clara del resultado.

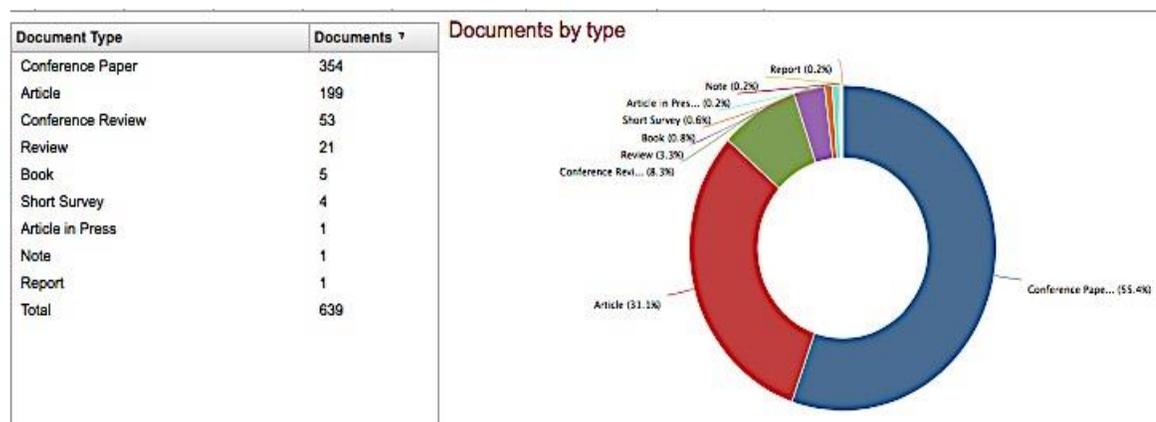
Tabla 4. Estadística básica búsqueda EQ3.

Basic Statistics	
mean	20,61290323
min	3
max	48
trend	10
deviation	12,40612058
curtosis	-0,413681901
variance	153,911828
EQ3	

4. RECOPIACIÓN DE LA EVIDENCIA

Para la recopilación de la información se utilizaron dos herramientas que fueron de mucha ayuda en el proceso de recopilación y posterior evaluación de la información. En primera medida la base de datos SCOPUS nos ofrece la opción de analizar los resultados de la búsqueda, de manera tal que se puede ver gráficamente el año de publicación, la fuente, el autor, país de publicación, tipo de documentos y área temática. En la utilización de esta primera herramienta vale la pena mostrar la grafica que denota el tipo de publicación, la grafica 4, es tomada de la base de datos SCOPUS, al usar la herramienta de analizar resultados.

Gráfica 4. Distribución de documentos por tipo, Tomado de SCOPUS.



En el anexo 1, se muestra los diferentes resultados dados por la base de datos al momento de utilizar la herramienta de analizar los resultados de la búsqueda.

A su vez SCOPUS ofrece la facilidad para exportar el refinamiento de la búsqueda, dando un formato .CSV en el cual se presentan los resultados de la búsqueda separados por comas. Posteriormente se hizo la equivalencia de esos datos en una tabla de Excel para tener un mejor manejo de los mismos, en donde se tuvieron datos como cantidad de publicaciones por año, número de artículos

por autor, tipo de documento, título de la fuente, palabra clave, asociación que avala la publicación, país, fuente de la publicación y lenguaje. Estos datos generales los cuantifica para dar una visión en términos numéricos y de temática de la búsqueda en general.

Como una segunda herramienta se utilizó Excel, cuya finalidad fue darle formato a los resultados que exporta la base de datos en formato .CSV y así hacer una gestión documental de los mismos con una tabulación mas organizada. Como Anexo 2 se adjunta la matriz resultante.

5. EVALUACIÓN DE LA EVIDENCIA

Luego de tener la información general de las 639 publicaciones en una matriz de Excel, se inició con el refinamiento de la búsqueda, a depurar todas y cada una de las publicaciones analizando el contenido y eliminando de la matriz general aquellas publicaciones que no estaban relacionadas directamente con los objetivos planteados en esta revisión sistemática.

Después de este proceso, se tuvieron 93 publicaciones que según los criterios e inclusión cumplían totalmente con el objetivo propuesto, a su vez estas publicaciones empezaron a ser evaluadas completamente en su contenido para extraer la información teniendo en cuenta los siguientes tópicos:

- ❖ Sistemas de control de costos
- ❖ Efectividad del sistema
- ❖ Aplicación según tipo de proyecto
- ❖ Ventajas o desventajas de su implementación
- ❖ Posibilidad de generalización

6. ANÁLISIS DE DATOS

6.1 INTEGRACIÓN DE LA EVIDENCIA

Basado en la revisión de las publicaciones, en las cuales se tuvieron: artículos científicos, publicación de conferencias y libros, se definió organizar la información teniendo en cuenta las características generales de cada sistema identificado para lograr una mejor clasificación. En términos generales se clasificaron teniendo en cuenta los siguientes tópicos:

- ❖ Sistemas de control de costos basados en *Earned Value Management* (EVM)
- ❖ Sistemas de control de costos que implementan la gestión de proyectos basados en evidencias históricas
- ❖ Sistemas de control de costos generalizables para todo proyecto de ingeniería
- ❖ Sistemas de control de costos basado en evidencia estadística
- ❖ Sistemas de control de costos en etapa de prefactibilidad
- ❖ Sistemas de control de costos en etapa constructiva

6.2 INTERPRETACIÓN DE LA EVIDENCIA

En la concepción de los sistemas de control de costos, se pretende obtener mediante la manipulación de variables que son controlables, un dominio de las actividades y/o variables que hacen parte de los entregables finales de tal forma que se alcance el objetivo trazado sin dejar atrás ninguna especificación y a su vez influir en el proceso que contempla el sistema general.

La gestión de la línea de costos, es la clave fundamental para que un control de costos sea eficaz, así mismo los cambios que se le hacen a esa línea base a través de la materialización proyecto debe ser retroalimentada y referenciada.

Un sistema de control de costos, dependiendo del proyecto, debería incluir como mínimo:

- ❖ Determinar los items que impactan en gran medida el costo directo del proyecto (pareto)
- ❖ Controlar los cambios antes de construcción y prever los que se podrían dar en el proceso constructivo
- ❖ Analizar los factores que producen algun cambio a la linea de base de costos
- ❖ Hacer un seguimiento a la ejecucion fisico financiera, de manera tal que se tenga una relación de lo que se puede observar fisicamente ejecutado con el costo y el porcentaje del mismo que representa
- ❖ Determinar una estructura desagregada de trabajo de manera tal que refleje el progreso normal del proyecto en todas sus fases, para así mismo hacer un seguimiento
- ❖ Reservar una contingencia basada en experiencias de modo que alguna modificación al presupuesto no sea de gran impacto al presupuesto sino que de una manera se compensen unas actividades a otras, en terminos financieros

La presente monografía aporta una revisión sistematica referente a los sistemas de control de costos, sus características que se diferencias con respecto a los

usados en los proyectos cuyo alcance es mucho menor a los proyectos que se definen como de mayor envergadura.

7. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

La presentación guiada de los resultados obtenidos y de la investigación realizada no da una base clara pues, teniendo en cuenta la integración de la evidencia realizada, se determina puntualmente cada tópico por los cuales se caracterizan cada uno de los sistemas de control de costos.

❖ **Sistemas de control de costos basado en *Earned Value Management (EVM)***. Como es bien sabido el conocido método del valor ganado sirve para cuantificar el desempeño de un proyecto permitiendo comparar, en términos coloquiales, lo planeado con lo ejecutado o lo real realizado. Una particularidad de este sistema es que se puede implementar en cualquier tipo de proyecto sin importar el sector en que se pretenda usar, pues establece tres pilares o premisas fundamentales que generalizan el análisis.

- **Valor planificado (PV/BCWS/CPTP)**: Es el valor presupuestado a lo largo del proyecto.
- **Valor ganado (EV)**: El valor ganado representa el trabajo realizado en un momento determinado., en termino de presupuesto para dicho trabajo.
- **Costo Real (AC)**: 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)**: 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):** 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):** 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):** 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 la tabla 5 se observa las ecuaciones que se utilizan en el método del valor ganado y la interpretación de resultados de los índices y variaciones

Tabla 5. Fórmulas de cálculo de los índices y variaciones del EVM

Abreviatura	Nombre	Fórmula	Interpretación de resultado
SV	Variación del cronograma	SV = EV - PV	Positiva = Adelantado respecto al cronograma
			Neutra = A tiempo con el cronograma
			Negativa = Retrasado 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	SPI = EV/PV	Mayor que 1 = Adelanto con respecto al

Abreviatura	Nombre	Fórmula	Interpretación de resultado
	cronograma		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
			Exactamente 1 = En el costo planificado
			Menor que 1 = Por encima del costo planificado

❖ **Sistemas de control de costos que implementan la gestión de proyectos basados en evidencias históricas.** Debido a la cantidad de información que se genera en el día a día de un proyecto, se ha implementado la gestión de la información como herramienta base para un sistema de control de costos efectivo. En general se basa en lecciones aprendidas, materializadas, cuantificadas y determinadas por un indicador en su mayoría genérico para facilitar la recopilación de la información. Algunos de los sistemas de control que implementan bases de datos con trazabilidad histórica y se encontraron en la revisión sistemática son:

An Intranet-based cost control system: este sistema de control es innovador en cuanto al manejo abierto de su información, se usa internet como un medio para intercambiar datos e información general del control de cada proyecto. En este sentido, es un sistema de control de costos que está diseñado para una constante interacción Web, donde la información importante y los datos cualitativos o cuantitativos relevantes, son almacenados en lo que se conoce como una nube central. El acceso a la información es de manera remota y se realiza en línea utilizando formularios Web diseñados propiamente para el sistema de control del proyecto.

COMPASS (Cost Management Planning Support System): este sistema como su nombre lo indica, se enfoca en el apoyo a la planificación de la gestión de los

costos, en esto se pretende identificar y administrar de maneja ágil errores de gestión, aprobación regulatoria, errores y reelaboración, lo que incurriría en un posible aumento de costos del proyecto.

Feedback, Frequency of Cost Statements, and Use of Computer Data Processing: se basa en el registro de los datos del rendimiento en cada una de las actividades, para usarlas como retroalimentación en el proyecto mismo, como para futuros retos y/o dejar un precedente formativo.

❖ **Sistemas de control de costos generalizables para todo tipo de proyecto de ingeniería.** En cuanto a los sistemas de control de costos generalizables para todo tipo de proyecto, se tiene que son los que determinan la planeación y el control enfocado en los procesos, en el que se debe revisar y analizar toda la documentación existente en una obra. El objetivo principal es establecer las premisas necesarias para determinar las cantidades a ejecutar. En este sistema se tiene claro que el problema central consiste en que los análisis de precios y los presupuestos para un proyecto no constituyen un soporte confiable debido a que suelen ser sobrepasados por los costos reales, lo que conlleva a un gasto adicional importante e inesperado.

Generalmente el suministro de información sobre costos no tiene en cuenta las estructuras desagregadas de trabajo, su ejecución real física y esto origina desviaciones en los subcontratos que muchas veces se hacen a diferentes recursos necesarios como suministros, transporte, materiales, mano de obra y demás. Teniendo este escenario se ha optado por un sistema de control de costos que es aplicable a todo proyecto de ingeniería, pues se basa en controlar los costos mediante sistemas de procesos en obras de construcción, esto claramente es aplicable a todo tipo de proyecto sin importar los procesos que conlleve su ejecución.

Esta herramienta tiene una gran ventaja pues es sencillo, práctico y económico. Además busca hacer un compilado de información real que genera cada uno de los procesos de construcción, de una manera tal que se pueda interpretar la información en la forma más acertada y se obtenga como resultado el presupuesto final de obra más acertado. Para esto se implementa un esquema conceptual donde se habla de un modelo de control de costos mediante un software que permite establecer desviaciones o variaciones de cada ítem o actividad para luego compararlo con lo proyectado y estimar así posibles medidas de corrección a implementar en la fase de ejecución de obra, en la concepción de este sistema se tiene una base estadística pues identifica variaciones claras entre dos registros.

❖ **Sistemas de control de costos basados en evidencias estadísticas.** Los sistemas de control de costos de esta categoría son los que se basan en evidencias de modelos estadísticos. Estos modelos estadísticos ayudan a una mejor comprensión de la realidad, pues la ejemplifican y simplifican, de manera tal que ayuda a la optimización a partir de la representación, interpretación y una proyección de las variables que intervienen en un proyecto.

Uno de los sistemas de control que se basan en evidencias estadísticas y se encuentran registrados en literatura técnica es el ***Bayesian Adaptive Forecasting (BAF)***, este utiliza los insumos primarios del costo para hacer una estimación preliminar probabilística del costo del proyecto estimado antes del inicio del proyecto y analiza el desempeño del costo real medido mediante variables del valor ganado y como tal el costo real usando el *EVM*. En primera medida, la distribución previa del costo del proyecto puede obtenerse de diversas fuentes y por varios métodos de estimación probabilísticos, se fundamenta en gran parte en la gestión del valor ganado.

Otro sistema que se había enunciado anteriormente que utiliza evidencia estadística y a su vez tiene la particularidad de ser generalizable para todo tipo de

proyecto, es el cálculo de las desviaciones y varianzas dadas en el costo presupuestado planificado y el costo real ejecutado. Este sistema determina el rendimiento del proyecto en ítems o actividades puntuales.

❖ **Sistemas de control de costos en etapa de pre factibilidad.** La etapa de pre factibilidad consiste en un análisis preliminar de la idea de proyecto a fin de verificar su viabilidad como actividad del proyecto. En esta etapa se verifica la disponibilidad de la información, se busca seleccionar la alternativa con mejor perspectiva y tiene como propósito limitar los costos de un proceso que se podría incrementar y durante el cual se puede rechazar la idea del proyecto en cualquier momento. En términos generales, esta etapa viabiliza el proyecto en una manera global, teniendo en cuenta estudios de mercado, estudios técnicos, legales, administrativos, financieros y socioeconómicos.

En esta etapa, se diagnostica la situación actual para identificar plenamente el problema a solucionar con el proyecto. Para esto se hace un análisis técnico de la ingeniería del proyecto, las alternativas técnicas que permitan determinar los costos de inversión y los costos de operación del proyecto objeto de estudio. Es aquí donde se implementa un sistema de control de costos basado en modelos de costeo, cuyo fin es acumular los costos de los productos o servicios, esta información es usada por gerentes para establecer los precios de los entregables, controlar operaciones y desarrollar estados financieros y mejorar el control proporcionando información sobre los costos de cada proceso.

Algunos de los sistemas de control que se implementan en la fase de pre factibilidad, tienen como base los modelos de costeo y se encontraron en la revisión fueron:

Dual Entry: Este sistema de doble ingreso se define como un concepto básico y se conoce como el sistema principal utilizado en contabilidad de negocios.

Básicamente "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.

Leading parameter technique: Es una técnica basada en la idea de elegir uno o más de las principales actividades de trabajo como medidas de la ejecución de todo el proyecto, lo que generalmente se conoce en términos coloquiales como Pareto, en esta técnica también se puede utilizar un parámetro diferente como una medida de rendimiento para cada estructura de trabajo.

Activity based ratios technique: este sistema implementa una técnica sencilla de control financiero pues emplea las proporciones entre las ganancias y los gastos de las actividades del proyecto como medidas de desempeño. El sistema también se utiliza para medir el rendimiento de todo el proyecto, así como el de las actividades desglosadas en la estructura de trabajo.

Activity Based Costing (ABC): en este sistema, que su terminología en español sería el costeo basado en actividades. El cálculo de costos basado en actividades se fundamenta en una "visión de flujo", es decir, en la teoría de la producción en masa, ya que ABC adopta un cálculo de costos en dos etapas, en las cuales los recursos se asignan a actividades y las actividades se asignan a objetos de costo.

Value engineering: El análisis de ingeniería de valor es una forma efectiva y una herramienta para el control de costos de proyectos de gran envergadura. La relación entre función y precio existe en todos los productos de la sociedad, y esto a su vez constituye el valor del producto. Este sistema se basa en un método técnico y económico que pretende aumentar el valor del producto y proporcionar a los usuarios la función de producto requerida con el costo total más bajo.

La ingeniería de valor es aplicada al control de costos de proyectos públicos a gran escala para analizar claramente la relación entre su beneficio y costo.

Estos sistemas buscan afianzar la etapa de prefactibilidad para lograr conclusiones que delimitan el estudio en general y recomendar alguna decisión, ya sea postergar el proyecto, reformularlo, abandonarlo o continuar su estudio a nivel de factibilidad.

❖ **Sistemas de control de costos en etapa de construcción.** Un Sistema de Control de Costos en etapa de Construcción debe enfocarse en todos los elementos de costos de cada proyecto. Para una correcta ejecución de un proyecto se debe tener en cuenta como mínimo los costos de materiales, personal, equipos de construcción y los costos indirectos como la logística necesaria y demás. Estos a su vez tienen factores propios tanto técnicos como externos que deben tenerse en cuenta.

En cuanto al costo de los materiales, se debe tener en cuenta que son función de las cantidades necesarias, de sus precios de mercado correspondientes y de los desperdicios que se podrían contemplar.

En el costo del personal dependen del trabajo a realizar, del valor salarial pactado, de los costos asociados a los salarios (seguridad, ARL, AFP), de la estructura organizacional y de los rendimientos que se muestren en la ejecución de la actividad determinada.

Los costos de los equipos de construcción, están dados en función del trabajo a realizar, de su costo fijo, costo de operación y de los rendimientos de cada equipo dependiendo de la tarea a ejecutar.

Al hablar de costos indirectos, se hace referencia a aquellos que en su mayoría dependen de los costos de la logística de apoyo a la producción en las obras y de los gastos fijos de la empresa, necesarios estos últimos para funcionar como unidad estratégica de negocios.

En esta etapa de construcción se implementan múltiples sistemas de control de costos, todos con el mismo fin pero diferente esencia de aplicación. Esta categoría reúne varias de las anteriormente mencionadas, pues cada sistema se puede complementar de manera que sea más efectivo al momento de analizar el proyecto en su fase final. Si en pre factibilidad se hace análisis de la viabilidad social y económica del proyecto y se toma la decisión de seguir adelante, en la siguiente etapa se puede tomar como base el registro histórico para conocer mas acerca de las experiencias anteriores tanto de la misma empresa, como en el ámbito en que se desarrollaría el proyecto, para seguir con un sistema de costeo que de un perfeccionamiento del presupuesto y minimice el riesgo en caer en sobre costos.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

❖ Teniendo en cuenta que la revisión sistemática no tenía criterio de regionalización o sectorización definido, y comparando con el contexto nacional y adentrándose al regional, no se tiene un sistema de control definido en el ámbito de la construcción diferente a la varianza, a la comparación de lo planeado con lo ejecutado. Aunque este sistema tiene bases en el valor ganado, regionalmente no es una metodología que se implemente en su totalidad.

❖ A través del análisis literario se tiene evidencia que el sistema de control de costos más usado es el *Earned Value Management* (EVM), tiene una particularidad pues muchos de los sistemas que se implementan se basan en EVM y/o toman parte del análisis que se hace en este.

❖ Determinar una relación directa entre el tipo de proyecto y el sistema de control de costos, se enfoca más en términos de tamaño, duración e inversión del proyecto. Hablando de proyectos de construcción se tiene un común denominador pues en estos proyectos se hace una planeación, una programación y un análisis en todo ámbito, lo que comúnmente se conoce como viabilidad del proyecto, por ende se tiende a programar una revisión de lo planeado con lo ejecutado, siendo esto un principio del método del valor ganado. Gerencialmente son muy representativos los indicadores del EVM, pues en una manera sencilla materializan y ejemplifican el desarrollo de un proyecto de construcción.

❖ Se puede determinar que el tamaño del proyecto tiene una relación directa con el sistema de control de costos a usar, pues en los proyectos de gran envergadura, en su mayoría se usan proyecciones estadísticas o evidencias históricas para analizar lo que podría ocurrir en un futuro y estimar las desviaciones de lo planeado con lo ejecutado. Por el contrario en proyectos de

menor tamaño, se opta por un sistema de control más centralizado y maleable, ya que su dirección esta centralizada y esta se encarga de controlar todos los puntos críticos que se pueden presentar en el normal desarrollo del proyecto.

❖ Esta investigación optó por implementar una metodología anteriormente usada en temas científicos enfocados principalmente en la medicina, con el fin de ampliar la visión de la investigación en gestión de la construcción. La amplitud del tema, conlleva a dejar un precedente para que la investigación continúe con el fin de que cada día la ingeniería nacional cuente con un mayor soporte de evidencia investigativa.

BIBLIOGRAFÍA

Knutson K, Schexnayder C, Fiori C y Mayo R, "Construction Management Fundamentals", Chapter 2; Pag 43. Editorial McGraw-Hill Higher Education.

Reichel, C. W. (2006). Earned value management systems (EVMS): "you too can do earned value management" Paper presented at PMI® Global Congress 2006—North America, Seattle, WA. Newtown Square, PA: Project Management Institute.

Universidad de San Martín de Porres (2010). "Control de costos en obras de construcción civil". Informe por Experiencia. Carlos Magno Chavarry Vallejos. Lima; Perú 2010.

ANEXOS

Anexo A. Ambiente de SCOPUS, presentación de resultados por tipo de documento.

