

 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Virgilio W. Hernández	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
	Dependencia	Aprobado		Pág.
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(91)

RESUMEN – TRABAJ. DE GRADO

AUTORES	Yordani Alexis Alvares Sepúlveda		
FACULTAD	Facultad de ingeniería		
PLAN DE ESTUDIOS	Maestría En Construcción		
DIRECTOR	Mgtr. Javier Alfonso Cárdenas Gutierrez- Mgtr. Romel Jesus Gallardo Amaya		
TÍTULO DE LA TESIS	Metodología Para El Análisis De Los Costos De La Calidad En Proyectos De Construcción De Edificaciones Verticales En Cúcuta Norte De Santander		
TITULO EN INGLES	Methodology For The Analysis Of Construction Costs In Vertical Building Construction Projects In Cucuta Norte De Santander		
RESUMEN (70 palabras)			
Los proyectos de construcción son complejos y se implementan en condiciones inciertas, adicionalmente muchos de estos proyectos no cumplen con los objetivos preestablecidos en términos de costo, tiempo, calidad y alcance del trabajo y se enfrentan a problemas como sobrecostos, retrasos, mala calidad y aumento del alcance. Hoy en día, la gestión de la calidad de los proyectos es de particular importancia y la competencia global ha obligado a las industrias a prestar más atención a la calidad.			
RESUMEN EN INGLES			
Construction projects are complex and are implemented under uncertain conditions, additionally many of these projects do not meet pre-established objectives in terms of cost, time, quality and scope of work and face problems such as cost overruns, delays, poor quality and scope creep. Today, project quality management is of particular importance and global competition has forced industries to pay more attention to quality.			
PALABRAS CLAVES	Análisis, Construcción, Planeación, Edificaciones, Calidad		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Analysis, Construction, Planning, Building, Buildings, Quality		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS:91	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:

**Metodología Para El Análisis De Los Costos De La Calidad En Proyectos De Construcción
De Edificaciones Verticales En Cúcuta Norte De Santander**

Yordani Alexis Alvares Sepúlveda

Facultad De Ingeniería, Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña

Maestría En Construcción

Mgtr. Javier Alfonso Cárdenas Gutierrez- Mgtr. Romel Jesus Gallardo Amaya

Ocaña, 26 Abril De 2023

Índice

Capítulo 1. Metodología para el análisis de los costos de la calidad en proyectos de construcción de edificaciones verticales en Cúcuta norte de Santander	9
1.1 Planteamiento del problema	9
1.2 Formulación del problema.....	10
1.3 Objetivos.....	11
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	11
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	11
1.4 Justificación	12
1.5 Delimitaciones	14
1.5.1 <i>Delimitación Operativa</i>	14
1.5.2 <i>Delimitación Conceptual</i>	14
1.5.3 <i>Delimitación Geográfica</i>	14
1.5.4 <i>Delimitación Temporal</i>	15
Capítulo 2. Marco Referencial	16
2.1 Marco histórico	16
2.1.1 <i>Antecedentes</i>	16
2.2 Marco contextual	18
2.2.1 <i>Problema de la gestión de costos</i>	18
2.2.2 <i>Factores que afectan la gestión de costos</i>	20
2.3 Marco conceptual	22
2.3.1 <i>Costo de la calidad</i>	22
2.4 Marco teórico.....	24
2.4.1 <i>Modelos de costos de oportunidades o intangibles</i>	25
2.4.2 <i>Modelos de costos de proceso</i>	25

2.4.3 Modelos ABC	3
2.4.3 Modelos ABC	26
2.4.4 Modelo de Crosby	26
2.5 Marco Legal.....	29
Capítulo 3. Diseño Metodológico	30
3.1 Tipo de investigación.....	30
3.2 Población y muestra.....	30
3.2.1 Población.	30
3.2.2 Muestra.	30
3.3 Diseño de instrumentos de recolección de la información y técnicas de análisis de datos	30
3.4 Análisis de la información	31
3.5 Seguimiento metodológico del proyecto	31
Capítulo 4. Resultados	33
4.1. Establecer los diferentes elementos que integran los costos de calidad que forman parte integral del proceso de producción en empresas constructoras a partir del análisis documental para establecer la línea base de la investigación.....	33
4.1.1. Identificación de factores que afectan el costo de la calidad	36
4.1.2. Caso de estudio: Proyecto Torres ABC	37
4.1.3. Costos relacionados con la calidad considerados en la investigación.....	40
4.1.4. Reducción de costos y su impacto en las estrategias de operación.....	44
4.2. Analizar las diferentes actividades relacionadas con la calidad a partir de los procesos productivos desarrollados en la construcción de una edificación vertical para la identificación de los gastos que genera cada una de ellas.....	46
4.2.1 Costo de la calidad bajo el modelo PAF	46
4.2.2 Características del proyecto	53
4.2.3. Recopilación de datos	55

4.3. Proponer una metodología para la cuantificación del costo de la calidad en proyectos de edificaciones verticales planteando los respectivos procedimientos y formatos correspondientes para gestión y control en cada componente de gestión dentro del modelo propuesto	64
4.3.1. <i>Estado del arte</i>	64
4.3.2. <i>Fundamentos de la Metodología</i>	70
Conclusiones	82
Referencias.....	84

Lista de Figuras

Figura 1. Costo de la Calidad según Categorización PAF	26
Figura 2. Costo vs nivel de Calidad según el Modelo PAF	28
Figura 3. Curva de Lundvall - Juran	34
Figura 4. Modelo de Costo de la Calidad según el modelo PAF	49
Figura 5. Actividades relacionadas con la calidad según el análisis	51
Figura 6. Costo de obra de los diferentes subproyectos.....	54
Figura 7. Costo de la calidad para los diferentes sub-proyectos	58
Figura 8. Costo de la calidad relativa al valor del proyecto.....	59
Figura 9. Costo de prevención y evaluación respecto a los costos de falla	60
Figura 10. Porcentaje del costo total de la calidad.....	61
Figura 11. Costo de prevención en las diferentes fases de los sub-proyectos	62
Figura 12. Costo de Evaluación en las diferentes fases de los sub-proyectos	62
Figura 13. Costo de falla en las diferentes fases de los sub-proyectos	63
Figura 14. CoQ Total en las diferentes fases del proyecto	63
Figura 15. Numero de documentos por año.....	66
Figura 16. Numero de documentos por año y fuente.....	66
Figura 17. Numero de documentos por año y autor.....	67
Figura 18. Principales países que han realizado publicaciones en el tema	68
Figura 19. Tipos de documentos publicados.....	68
Figura 20. Diagramas de co-ocurrencia de palabras	69
Figura 21. Red de colaboradores.....	70
Figura 22. Enfoque de la metodología	72
Figura 23. Clasificación de los costos de la calidad	74
Figura 24. Conformidad de la calidad.....	78

Lista de Tablas

Tabla 1 Indicadores y actividades por objetivos.....	31
Tabla 2 Factores que afectan los costos de la calidad.....	36
Tabla 3 Elementos típicos para el cálculo de costos de prevención	41
Tabla 4 Elementos típicos para el cálculo de costos de evaluación.....	41
Tabla 5 Elementos típicos para el cálculo de costos de fallas internas	42
Tabla 6 Elementos típicos para el cálculo de costos de fallas externas	43
Tabla 7 Resumen de los costos totales relacionados con la calidad	44
Tabla 8 Descripción de las variables correspondientes a las actividades relacionadas con la calidad	51
Tabla 9 Criterios y búsqueda de resultados (Año 2017-2023)	65
Tabla 10 Matriz para la cuantificación de costos.....	74

Introducción

Los proyectos de construcción son complejos y se implementan en condiciones inciertas, adicionalmente muchos de estos proyectos no cumplen con los objetivos preestablecidos en términos de costo, tiempo, calidad y alcance del trabajo y se enfrentan a problemas como sobrecostos, retrasos, mala calidad y aumento del alcance. Hoy en día, la gestión de la calidad de los proyectos es de particular importancia y la competencia global ha obligado a las industrias a prestar más atención a la calidad. Además, se obtienen ventajas financieras mediante la adopción de métodos eficaces de gestión de la calidad.

Las empresas hoy en día prestan mucha atención a la llamada gestión de la calidad, ya que se refiere a diversas prácticas y procesos de gestión que tienen impactos positivos en la calidad, el costo, la productividad, el desempeño y la competitividad. En el contexto de las obras civiles, es necesario reducir el costo de los proyectos de construcción, manteniendo el nivel mínimo esperado de calidad, para seguir siendo competitivos en el mercado. El costo de la calidad (COQ) en un proyecto permite cuantificar y documentar la calidad de los proyectos utilizando el análisis del costo de la calidad para hacer un mejor y más eficiente uso de los recursos e invertir en actividades preventivas y de evaluación para reducir los costos del proyecto.

Determinar los costos necesarios para lograr la calidad y, por el contrario, determinar los costos de la mala calidad permite un mejor control de costos. Además, los gerentes también pueden tomar mejores decisiones al obtener información sobre las medidas preventivas y sus consecuencias en la calidad de los resultados. Estudios anteriores han demostrado que los

esfuerzos por mejorar la calidad conducen a un aumento de los costos del producto o servicio. El propósito de COQ es evaluar y resaltar los beneficios de la mejora de la calidad y su relación con la satisfacción del cliente y vincular los beneficios a los costos de cumplimiento para disminuir los costos generales y aumentar los beneficios de calidad (Iuliana et al. 2013; Alglawe et al. al. 2019).

Capítulo 1. Metodología para el análisis de los costos de la calidad en proyectos de construcción de edificaciones verticales en Cúcuta norte de Santander

1.1 Planteamiento del problema

En general la industria de la construcción suele presentar constantes retrasos en el desarrollo de sus proyectos y problemas de calidad constructiva. Los diferentes retrasos, fallos, reprocesos, averías, entre otras dificultades, en términos de gestión de calidad representan no conformidades que conllevan a sobre costos e insatisfacciones por parte del cliente externo. Algunos estudios desarrollados por (Rudeli et al., 2018) han concluido que el 5% del costo total del proyecto corresponden a la mala calidad y en construcciones residenciales, industriales y comerciales los costos del retrabajo puede llegar a variar entre un 2% y 6% del costo del contrato (Ferrer lavado, 2018; Yap et al., 2017)

En el país se ha percibido en las últimas décadas un crecimiento potencial de la construcción, lo cual hace pertinente que los diferentes proyectos se ejecuten con la mayor eficiencia al menos costo posible cumpliendo además con los requisitos del cliente. No obstante, las empresas constructoras, pequeñas o mediana, no toman en consideración la calidad como un aspecto importante en el desarrollo de sus proyectos. Estos plantean un gran problema para el proyecto, dado que la mala calidad no permite la reducción de costos a causa de reprocesos (Chidiebere & Ebhohimen, 2018; Wu & Loza, 2020). Estos aspectos también se replican en la ciudad de Cúcuta, en la que empíricamente se ha observado cómo se inician diferentes proyectos

de edificación que debido a la mala planeación no se logran finalizar (Díaz Bateca & Rolón Cárdenas, 2020).

La no calidad en la construcción de una obra genera errores, defectos, repetición de trabajos, uso de materiales inadecuados entre otros aspectos que cuestan dinero, tiempo y pérdida de imagen en las empresas y los promotores de las obras (Mohsen Alawag et al., 2022; Thing Leo et al., 2021). Estos aspectos se han evidenciado por el autor en algunas de las obras de la ciudad de Cúcuta, donde se plantea la ejecución de este proyecto de investigación y con el cual se busca que a través de la buena gestión de los proyectos de construcción se puedan desarrollar mecanismos que permitan la implementación de la calidad, empezando por la identificación y cuantificación de los costos que la calidad representa en el proyecto constructivo (Díaz Bateca & Rolón Cárdenas, 2020).

1.2 Formulación del problema

El problema de investigación se plantea mediante los siguientes interrogantes:

- ¿Se tienen en cuenta los costos de calidad en la evaluación de proyectos de edificaciones verticales en la ciudad de Cúcuta?
- ¿Qué impacto tiene la no consideración de los costos de calidad en la planeación y ejecución de proyectos de edificaciones verticales en la ciudad de Cúcuta?

- ¿Cuál será la mejor estructura de una metodología para la identificación y medición de los costos que genera la implementación de la calidad en proyectos de construcción de edificaciones verticales en la ciudad de Cúcuta norte de Santander?

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.*

Diseñar una metodológica para la identificación y cálculo de los costos ocasionados por concepto de calidad, adaptada a las especificidades de la construcción de edificaciones verticales en la ciudad de Cúcuta Norte de Santander.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

- Establecer los diferentes elementos que integran los costos de calidad que forman parte integral del proceso de producción en empresas constructoras a partir del análisis documental para establecer la línea base de la investigación.
- Analizar las diferentes actividades relacionadas con la calidad a partir de los procesos productivos desarrollados en la construcción de una edificación vertical para la identificación de los gastos que genera cada una de ellas.
- Proponer una metodología para la cuantificación del costo de la calidad en proyectos de edificaciones verticales planteando los respectivos procedimientos y formatos

correspondientes para gestión y control en cada componente de gestión dentro del modelo propuesto

1.4 Justificación

En las últimas décadas diferentes países han dado una mayor relevancia sobre el tema de la calidad. Fundamentados en investigaciones que soportan que la calidad es primordial para satisfacer al cliente, pero también conlleva beneficios para los constructores debido a que la mala calidad conlleva a mayores gastos para la empresa constructora (Power et al., 2021).

Según el experto en calidad Philip Crosby, la calidad es gratis. Lo que cuesta dinero son todas las acciones que implican no hacer las cosas bien a la primera. Según Crosby, la calidad se mide por el costo de la calidad, que es el costo de la no conformidad, el costo de hacer las cosas mal. Adicionalmente el concepto de Joseph Juran indica que el costo de la mala calidad como "la suma de todos los costos que desaparecerían si no hubiera problemas de calidad" es similar al de Crosby (Khatatbeh, 2022). La tipología más comúnmente aceptada divide los costos de calidad en costos de prevención, evaluación, fallas internas y fallas externas. Esta tipología a menudo se conoce como PEF (prevención, evaluación y falla) y es uno de los modelos generales de costo de calidad más utilizados.

La conveniencia del desarrollo de una metodología para la cuantificación de los costos de la calidad parten de poder establecer los requisitos al inicio del proyecto, y buscar un equilibrio cuidadoso entre los requisitos del propietario, los costos y el cronograma del proyecto, las

características operativas deseadas, los materiales de construcción, etc. y las necesidades del contratista para el diseño, el cronograma y el presupuesto, los cuales deben ser adecuados para cumplir con esos requisitos durante el proceso de diseño. Los propietarios equilibran sus requisitos con las consideraciones económicas y, en algunos casos, con la posibilidad de falla (Han, 2021).

Ser consciente de la calidad y la necesidad de su implementación tienen diferentes beneficios e implicaciones prácticas que conllevan al éxito de un proyecto, desde la protección de la salud y la seguridad pública en el contexto del proyecto final terminado, además en este contexto el constructor es responsable de los medios, métodos, técnicas, secuencias y procedimientos de construcción, así como de las precauciones y programas de seguridad durante el proceso de construcción (Correa, et al, 2007).

Los requisitos del proyecto son los factores clave que definen la calidad en el proceso de construcción. El proceso de construcción se puede dividir en tres fases principales, a saber, (1) la fase de planificación y diseño, (2) la fase de construcción y (3) la fase de mantenimiento y operación. En este sentido el desarrollo de la nueva metodología planteada permitirá el análisis preciso de los costos de la calidad que permitan potenciar la calidad en el sector de la construcción, particularmente en las edificaciones verticales en la ciudad de Cúcuta, en el cual no hay mucho tiempo ni recursos que desperdiciar y en el que además es necesario reestructurar ciertos procesos a fin de evitar retrasos y reprocesos (Rudeli et al., 2018). Es por ello por la relevancia de este proyecto de investigación para lograr un análisis del costo de la calidad en

proyectos de edificaciones verticales, y a partir de allí establecer una metodología para la cuantificación del costo de la calidad en proyecto de este tipo.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación Operativa.

El desarrollo del proyecto parte de un reconocimiento de las empresas constructoras de la región de Cúcuta, el tipo de sistema constructivo empleado en edificaciones verticales y los procedimientos constructivos de los mismos, de la identificación de un proyecto de construcción sobre el cual pueda desarrollarse el estudio y posteriormente se plantea el procedimiento metodológico para la identificación y cálculo de los costos de la calidad. Todos estos aspectos fundamentados en el marco normativo correspondiente a la serie ISO 9000: ISO 9001, ISO 9002, ISO 9003, ISO 9004 e ISO 12006.

1.5.2 Delimitación Conceptual.

La fundamentación conceptual necesaria para el desarrollo de este estudio se centra en el análisis de conceptos relacionados a costos de calidad, costos de prevención, Costos de evaluación, costos por fallos internos, costos por fallos externos, Gestión de calidad y planes de gestión.

1.5.3 Delimitación Geográfica.

Este proyecto se desarrollará en la ciudad de Cúcuta Norte de Santander, tomando como muestra objetivo las empresas constructoras de la ciudad y los proyectos de edificaciones verticales que se ejecutan en esta locación.

1.5.4 *Delimitación Temporal.*

El proyecto planteado tendrá una duración de 8 meses desde la aprobación de la propuesta por parte del comité curricular

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 Marco histórico

2.1.1 *Antecedentes*

El Costo de Calidad, es el costo relacionado con el número de recursos utilizados para mantener la calidad de los productos (Lou et al., 2016; Smith et al., 2016). También incluye los costos asociados con la detección, corrección y prevención de problemas, tanto interna como externamente. Los costos de calidad pueden ocurrir en cualquier parte de una organización, por lo que es una métrica importante que puede afectar directamente el resultado final (Whyte, 2014). Son diversos las investigaciones que se han desarrollado entorno a este tema, algunas de ellas se mencionan a continuación:

A nivel internacional son diversas las investigaciones desarrolladas desde las universidades, como la universidad peruana de ciencias aplicadas que en 2016 desarrollo el trabajo titulado “Cuantificación del costo de la no calidad en la construcción de dos proyectos de edificación establecimiento del costo y propuesta de mejoras de gestión de calidad para reducirlo” elaborado por González y Vargas (2016). En esta investigación analizaron los costos de dos proyectos de edificación empleando herramientas de gestión de calidad del PMIBok y el APMBok. Y se propuso un procedimiento de análisis y mejora de los costos de la calidad controlables y no controlables en un proyecto para facilitar la toma de decisiones y reducir el impacto de los costos en el proyecto.

Un aspecto que resalta en los antecedentes consultados y una de las áreas clave en las que se hace hincapié en el Sistema de gestión de la calidad (SGC) ISO 9001 es la medición del rendimiento para la mejora continua. Entre las principales herramientas de medición se encuentra el enfoque del costo de la calidad. El costo de la calidad ha sido una buena práctica en el sector manufacturero, pero poco a poco gana importancia en la industria de la construcción. De hecho, el Project Management Body of Knowledge (PMBOK) ha considerado el costo de la calidad como una de las herramientas y técnicas en algunos de sus procesos de gestión (Ren et al., 2017).

Por lo anterior, son diversas las investigaciones para determinar el nivel de conocimiento y práctica sobre el costo de la calidad en el panorama de la construcción, ejemplo de ello es el trabajo desarrollado por Mukhtar Che Ali, et al. (2016). Dirigido a un grupo objetivo de encuestados del equipo de gestión del proyecto. Aprovechando las presentaciones itinerantes de las Iniciativas Nacionales de Licitación Electrónica (NETI) de la Junta de Desarrollo de la Industria de la Construcción (CIDB) que se llevaron a cabo en el año 2007 en todo el país, el autor pudo reunir a 263 encuestados que representaban al equipo de gestión del proyecto. Posteriormente, los datos recopilados de los formularios completados se analizaron utilizando el software Statistical Package for Social Science (SPSS). Los resultados generales indicaron que el nivel de conocimiento y práctica sobre el costo de la calidad entre el equipo de gestión del proyecto era relativamente bajo. Uno de los principales factores contribuyentes fue el escaso conocimiento en el área relacionada con el costo de la calidad. A pesar de tal escenario, la mayoría de los encuestados mostró su interés en adquirir conocimientos en el campo del costo de la calidad. Por lo tanto, el enfoque de costo de calidad está en la etapa inicial en la industria de la construcción de Malasia.

En términos de calidad, como lo han referenciado diversos autores, el retrabajo continúa afectando el desempeño de los costos y los cronogramas en toda la industria de la construcción. Tal como lo establecieron Bon-Gang Hwang, et. al (2017) quienes pudieron establecer que los costos directos por sí solos a menudo representan el 5% de los costos totales de construcción. Usando los datos obtenidos de 359 proyectos de construcción en la base de datos del Instituto de la Industria de la Construcción, evaluaron los impactos del retrabajo en el desempeño de los costos de construcción para proyectos en varias categorías. Además, identificaron las fuentes de este retrabajo, lo que permite análisis posteriores y el desarrollo de iniciativas de reducción de retrabajo. Los resultados de dicho estudio establecieron que los impactos de la reelaboración difieren según las características del proyecto y que las fuentes de reelaboración que tienen el mayor impacto no difieren significativamente entre las categorías de proyectos. Al reconocer los impactos del retrabajo y sus fuentes, la industria de la construcción puede reducir el retrabajo y, en última instancia, mejorar el rendimiento de los costos del proyecto.

2.2 Marco contextual

2.2.1 *Problema de la gestión de costos*

Los proyectos de construcción son un sector enorme en todos los países, porque involucran diferentes tipos de obras que necesitan diversos materiales, experiencias, equipos, técnicas y especializaciones. Estos deben gestionarse y planificarse, por lo que la gestión de costes es importante en los proyectos de construcción. Muchos investigadores estudian el desempeño de los costos en diferentes etapas a lo largo del ciclo de vida de los proyectos de

construcción, el costo del ciclo de vida como una contribución importante al estudio de factibilidad en los proyectos de construcción (Manoj, 2017), un esquema de toma de decisiones para los inversionistas, que permite evaluar no solo los costos de inversión, sino también de los ahorros y beneficios del ciclo de vida es crucial, cambiando así el objetivo de la toma de decisiones basada solo en los costos de construcción hacia los costos del ciclo de vida (Wan, 2018).

El sobrecosto es un problema importante en el desarrollo de proyectos y es una característica habitual en la industria de la construcción (Keshk et al., 2018), una de las razones de los sobrecostos en los proyectos de construcción es el retrabajo. El valor del impacto del costo representa el efecto del costo del retrabajo, si ocurre, y consta de dos partes. La primera parte es la tasa diaria total de la actividad sucesora, que incluye los salarios diarios y los gastos generales diarios. La segunda parte está relacionada con cualquier otro costo (aparte de la tarifa diaria de la actividad sucesora) (Jiao et al., 2019; Manlian Ronald & Lumbantoruan, 2019).

Hay muchos problemas que impactan en el sobrecosto según lo determinado por varios estudios, por ejemplo, Ahmed et al (2017) afirmaron que los retrasos menores a menudo se pasan por alto porque se desarrollan lentamente durante el proceso de construcción, pero su efecto acumulativo afecta financieramente al proyecto. Otro estudio concluyó que los datos básicos insuficientes del proyecto y un retraso en el proceso de preparación, presentación y aprobación de los planos de taller podrían afectar negativamente el cronograma y el desempeño de los costos del proyecto (Johari et al., 2019). Según Sriprasert, la gestión de construcción ineficiente y Los sistemas de control de costos mal establecidos provocan sobrecostos. Koushki et al (2014)

revelaron que los problemas relacionados con los materiales contribuyen al sobrecoste. Además de eso, un proyecto puede enfrentar diferentes problemas debido a información inexacta, incompleta o extemporánea (Rosli et al., 2020).

2.2.2 Factores que afectan la gestión de costos

La gestión de costes es uno de los criterios fundamentales del éxito en los proyectos de construcción, por lo que debe gestionarse y controlarse a lo largo del ciclo de vida del proyecto, el estudio se centró en la evaluación de las prácticas de gestión de costes en grandes proyectos de construcción, los resultados indicaron que la mayoría de las técnicas efectivas de gestión de costes fueron: previsión de flujo de caja, presupuesto/estimación de licitaciones y plan de costes elementales (Lew et al., 2020). Los factores más importantes que afectaron la gestión de costos de los proyectos de construcción fueron: liderazgo deficiente y gestión inapropiada, despliegue ineficiente de recursos, desperdicio excesivo de materiales en los sitios, mecanismos de pago complejos, robo de materiales en los sitios y variación durante la construcción de obras.

Iyer & Jha (2018) indicaron los factores de éxito y fracaso de la revisión de la literatura para encontrar los factores que afectan el desempeño de costos de los proyectos de construcción, los resultados de la encuesta concluyeron que los factores críticos de éxito obtenidos por los análisis fueron: competencia de los gerentes de proyecto; apoyo de la alta dirección; habilidades de coordinación y liderazgo de los gerentes de proyecto; seguimiento y retroalimentación por parte de los participantes; coordinación entre los participantes del proyecto; y la competencia de los propietarios y las condiciones climáticas favorables, por otro lado, los factores que afectaron

el desempeño de costos de los proyectos fueron: conflicto entre los participantes del proyecto; ignorancia y falta de conocimiento; presencia de pobres atributos específicos del proyecto y no existencia de cooperación; condición socioeconómica y climática hostil; reticencia a la decisión oportuna; competencia agresiva en la fase de licitación; y corto tiempo de preparación de ofertas.

La estimación de costos es una etapa importante en la gestión de costos de los proyectos de construcción, como lo menciona (Li, 2020), para estimar el costo de un proyecto de construcción, se debe considerar un elemento importante como: Información completa, conocimiento ampliado, experiencia considerable y mejora continua para tener una estimación precisa, este estudio identificó los factores que afectaron la estimación de costos para aumentar la precisión en la estimación de costos de los proyectos, los factores más importantes que afectaron la precisión en la estimación de costos fueron: dibujos y especificaciones claras y detalladas, experiencia en precios de construcción proyectos, percepción de la importancia de la estimación, equipo (costo/disponibilidad/desempeño), complejidad del proyecto, definición clara del alcance, precisión y confiabilidad de la información de costos, restricciones del sitio (acceso, almacenamiento, servicios), disponibilidad de materiales, capacidades financieras del cliente y disponibilidad de base de datos de ofertas en proyectos similares (datos históricos).

El sobrecosto se observa como el problema más frecuente que se encuentra en los proyectos de construcción que impactan en la gestión de costos de los proyectos en diferentes países, esto de acuerdo con (Vigneault et al., 2020) quien afirmó que, la mayoría de los proyectos de construcción sufren sobre costos, se revisó mediante el estudio de la literatura, sesenta y nueve causas de sobre costos de proyectos clasificadas en tres Categorías, estas causas fueron iniciadas

por: Cliente, Contratista, Consultor, los factores más importantes fueron: corrupción , retraso en los pagos de progreso por parte de los clientes, dificultades en la financiación del proyecto por parte de los contratistas, seguridad y orden de cambio por parte de los clientes durante la fase de construcción.

Los principales factores del sobrecosto en los proyectos de construcción se deben a las fluctuaciones de los precios de los materiales de construcción, los retrasos de los contratistas en la entrega de materiales y equipos, y la inflación, mientras que los factores de importancia de los retrasos fueron los siguientes: huelgas y cierres de fronteras, factores, falta de materiales en los mercados y retrasos en la entrega de materiales al sitio (Chepachenko et al., 2020).

2.3 Marco conceptual

2.3.1 *Costo de la calidad*

La definición del costo de la calidad Comenzó con el fundador de dicho concepto, Juran (1951) y el gurú de la calidad Feigenbaum (1956) los cuales clasifican el costo de la calidad en costos de prevención, evaluación y fallas. Los costos de prevención están asociados con las acciones tomadas para asegurar que un proceso proporcione productos y servicios de calidad, los costos de evaluación se relacionan con el nivel de calidad alcanzado por el proceso y los costos de falla se incurren para rectificar el producto y el servicio previo (internos) y después entrega (externa) al cliente (Ren et al., 2017).

Posteriormente, Crosby (1979) define el costo de la calidad como la suma del precio de conformidad y el precio de no conformidad. El precio de la conformidad es el costo que implica hacer ciertas cosas que se hacen bien la primera vez y el precio de la no conformidad es el dinero desperdiciado cuando las obras no se ajustan a los requisitos del cliente (Schiffauerova y Thomson, 2006).

El enfoque del costo de la calidad en el contexto de la construcción según Low y Yeo (1998) adoptando la definición de Quinn (1989) y con algunas modificaciones, estos términos se pueden definir de la siguiente manera (Ye, 2011):

- Costo de prevención: costos incurridos para reducir, eliminar y prevenir defectos. Costo de tasación: costos incurridos para detectar errores y evaluar la calidad del trabajo realizado
- Costo de fallas internas: costos incurridos para corregir errores (captados en la tasación) antes de entregar la instalación terminada al cliente.
- Costos de fallas externas: costos incurridos en la corrección de errores (no detectados por el proceso de evaluación) después de entregar la instalación completa al cliente.

Hoy en día, el análisis de coste total de vida está cobrando más importancia a medida que los propietarios y clientes de edificios a largo plazo comienzan a exigir pruebas de cuál será su coste de propiedad (You, 2017). Mediante el uso de un enfoque de costo de calidad, mediante el cual la inversión financiera adicional en la etapa de diseño y entrega en un esfuerzo por minimizar los costos operativos y de mantenimiento puede generar valor agregado al proyecto en el futuro. Por lo tanto, existe una correlación entre el costo de calidad.

2.4 Marco teórico

Los beneficios económicos de la mejora de la calidad han sido subrayados durante mucho tiempo por expertos e investigadores en gestión de la calidad (Chaterine & Simanjuntak, 2020; Kharisov et al., 2020). Mejorar la calidad a través de la reducción de actividades de mala calidad trae varias ventajas tales como: mayor productividad y adaptabilidad en el proceso de cambio. Según (Fajar Sitohang et al., 2020), las mejoras en la calidad aumentan la posibilidad de obtener ganancias significativas al proporcionar una mejor calidad de producción, lo que se traduce en una mayor utilidad esperada para el cliente. El coste de la calidad en TQM es una de las herramientas más importantes para la mejora de un sistema de gestión de la calidad. Convertir los problemas de calidad en términos financieros y expresarlos en términos de costos de calidad proporciona una herramienta más significativa para que los gerentes adquieran conocimientos sobre el nivel de calidad en sus organizaciones (Zhang, 2021).

Juran introdujo por primera vez el concepto de costo de la calidad como el "Costo de la mala calidad" en su "Manual de control de calidad" en 1951. Posteriormente, Feigenbaum (1951) derivó la clasificación llamada Prevención, evaluación y falla (PAF) modelo. En este modelo, los costos de calidad se dividen en costos de prevención, evaluación y fallas. Crosby (1979) redefinió aún más el costo de la calidad como la suma del "Precio de la Conformidad y el Precio de la No Conformidad". Varios artículos publicados sobre costos relacionados con la calidad en la construcción se refieren a estas clasificaciones tradicionales al menos en algún nivel (Osobajo et al., 2022; Yao & Hu, 2021).

Se han presentado varios modelos por costo de calidad. Sin embargo, los modelos más significativos se pueden clasificar en los siguientes grupos: que consiste en un método de rehabilitación y un material de sustitución para cada falla en la tubería con un presupuesto limitado. Se crean algoritmos especiales basados en datos como: antigüedad de las tuberías, material, localización (GIS), tipos de suelo y presupuesto.

2.4.1 Modelos de costos de oportunidades o intangibles: $(\text{Costos de prevención} + \text{Costos de evaluación} + \text{Costos de fallas} + \text{Costos de oportunidad}) / (\text{Costo de conformidad} + \text{Costo de no conformidad} + \text{Costos de oportunidad}) / (\text{Tangibles} + \text{Intangibles})$:

Los costos intangibles son costos que pueden ser estimados. Ejemplos de estos incluyen: retrasos y paralización del trabajo debido a defectos y ganancias no obtenidas debido a la pérdida de clientes, así como reducción de ingresos debido a la no conformidad. Cualquier cantidad de reducciones en los costos de fallas externas tangibles se reflejará directamente en la reducción de los costos de fallas intangibles (Abdul-Samad & Kulandaisamy, 2022).

2.4.2 Modelos de costos de proceso: $\text{Costo de conformidad} + \text{Costo de no conformidad}$:

En este modelo, el énfasis está en los procesos más que en los productos o servicios. Y el costo del proceso se calcula como el costo total de conformidad y no conformidad para un proceso específico (Abdul-Samad & Kulandaisamy, 2022).

2.4.3 *Modelos ABC: valor agregado + sin valor agregado:*

Los costos exactos para varios elementos de costo se obtienen identificando recursos de costos para eliminar actividades que no agregan valor (Schiffauerova y Thomson, 2006).

2.4.4 *Modelo de Crosby: Costo de conformidad + Costo de no conformidad:*

Este modelo es similar al modelo P-A-F. Calidad aquí significa “conformidad con los requisitos” y el costo de la calidad se define como la suma del precio de la conformidad y el precio de la no conformidad (Genova, 2022).

2.4.5 *Modelos P-A-F: Costes de prevención + Costes de evaluación + Costes de fallos (internos y externos):*

Este modelo es la categorización de costos de calidad ampliamente aceptada que fue introducida por Feigenbaum (1956) Figura 1.

Figura 1.

Costo de la Calidad según Categorización PAF



Nota. (Roy et al., 2020)

Donde:

El costo de la calidad deficiente (o costo de la no conformidad) incluye:

- Costos internos y externos derivados del incumplimiento de los requisitos.

El costo de la buena calidad (o costo de la conformidad) incluye:

- Costes de invertir en la prevención de la no conformidad con los requisitos.
- Costos para evaluar la conformidad de un producto o servicio con los requisitos.

Costo de la mala calidad: costos de fallas internas: corresponden a costos de reelaboración, demoras, rediseño, eliminación de productos defectuosos, escasez, fallas, análisis, nuevas pruebas, degradación, tiempo de inactividad debido a problemas de calidad, falta de flexibilidad y adaptabilidad y costo neto de desecho (Gu, 2021).

Costo de la mala calidad: costos de fallas externas: corresponde a los reclamos, reparación de bienes y rehacer servicios, garantías, pérdidas por reducción de ventas y costos ambientales (Abdul-Samad & Kulandaisamy, 2022).

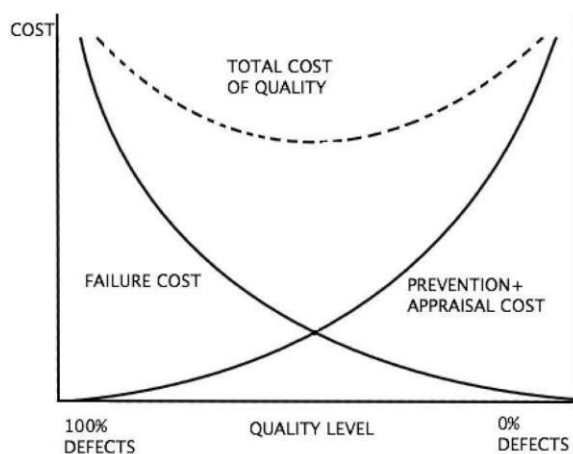
Costo de la Buena Calidad: Costos de Prevención: son los costos de: planificación de calidad, evaluación de proveedores, revisión de nuevos productos, prueba de errores, evaluaciones de capacidad y reuniones del equipo de calidad. (Beste & Klakegg, 2022).

Costo de la Buena Calidad: Costos de Evaluación: son los costos de: verificación y prueba de bienes y servicios comprados, equipos de medición; monitoreo de control de procesos; inspección y pruebas; gastos de equipo de prueba; auditorías de calidad del producto y pruebas de campo..

Un aumento en los costos de prevención y evaluación conduce a una disminución en los costos de fallas como se aprecia en la figura 2. Con el paso del tiempo, el costo de la calidad fue luego reemplazado por el término costo de la mala calidad (COPQ) que se define como la suma de aquellos costos que se desvanecerían si no hubiera problemas de calidad (Thing Leo et al., 2021).

Figura 2.

Costo vs nivel de Calidad según el Modelo PAF



Nota. (Roy et al., 2020)

Tanto los costos de falla internos como externos pueden ser visibles u ocultos. El costo de las fallas visibles es el costo de los errores y sus consecuencias que podemos capturar y registrar

con los conocimientos y métodos actuales. Las causas de la mala calidad, a veces, no son tan obvias como podrían parecer (Thing Leo et al., 2021). Muchos de los costos de mala calidad están ocultos y son muy difíciles de capturar y medir. Los costos de fallas ocultas son costos por los errores y las consecuencias de las fallas, que no tenemos ni el conocimiento ni las métricas para capturar. Mediante el desarrollo de conocimientos y métodos, se pueden hacer visibles más costos ocultos de fallas. Esto también aumenta las oportunidades para reducir el costo de las fallas. Estos costos ocultos son muy importantes debido al hecho de que las decisiones de compra de los clientes dependen en gran medida de estos costos de pérdida de buena voluntad del cliente, pérdida de reputación, insatisfacción del cliente y pérdida de oportunidades. Por lo tanto, uno de los elementos clave de la eficiencia de las investigaciones es resaltar tantos costos de fallas ocultas como sea posible (Le et al., 2022).

2.5 Marco Legal

El conjunto de normas que sustentan el proyecto corresponde precisamente a aquellas que regulan la calidad, como lo son las series ISO 9000, que van desde la ISO 9001 a la ISO 9004, Así como la ISO 12006, 14001, 18001, 10006, 19011, 10019. Otras de referencia como la NTC 6001 y algunas normas ICONTEC relacionadas con la construcción.

.

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación planteada es de carácter cuantitativo con un alcance correlacional, dado que se fundamenta en la medición de variables entorno al componente presupuestal y operativo de los proyectos a cargo de algunas empresas constructoras de la ciudad de Cúcuta, para a partir de allí correlacionar el costo de la calidad para las actividades desarrolladas por dichas empresas.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población. La población corresponde a total de empresas constructoras que desarrollan proyectos de edificaciones en la ciudad de Cúcuta norte de Santander.

3.2.2 Muestra. La muestra seleccionada es de tipo intensional, es decir el tamaño de la muestra se plantea en forma arbitraria por el investigador considerando las limitaciones de la disponibilidad en el acceso a la información, por lo cual para esta investigación la muestra la integran tres empresas de la ciudad de Cúcuta sobre la cual se tendrá acceso a la información técnica en el desarrollo de proyectos de edificaciones verticales.

3.3 Diseño de instrumentos de recolección de la información y técnicas de análisis de datos

Las técnicas de observación para el desarrollo del proyecto incluyen lo siguiente:

- Análisis documental
- Revisión de informes técnicos
- Elaboración de diagramas de valor

3.4 Análisis de la información

Para el desarrollo del análisis de información se plantea lo siguiente:

- Tabulación y análisis estadístico (Diagramas de Pareto)
- Matrices de evaluación

3.5 Seguimiento metodológico del proyecto

En la tabla 1 se indica el conjunto de indicadores y actividades por objetivos que permiten realizar un seguimiento metodológico al proyecto.

Tabla 1

Indicadores y actividades por objetivos

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	ACTIVIDADES POR OBJETIVO	INDICADOR POR ACTIVIDAD
Obj 1. Establecer los diferentes elementos que integran los costos de calidad que forman parte integral del proceso de producción en empresas constructoras a partir del análisis documental para establecer la línea base de la investigación.	Act 1. Definir las empresas constructoras de la ciudad de Cúcuta que servirán de insumo para el desarrollo del proyecto	Ind 1. Base de datos (Identificación de empresas)
	Act 2. Definir los elementos que integran los costos de la calidad	Ind 2. Matriz de identificación de costos
	Act 3. Establecer la situación actual de la empresa respecto a los sistemas de gestión de calidad.	Ind 3. Informe

Obj 2. Analizar las diferentes actividades relacionadas con la calidad a partir de los procesos productivos desarrollados en la construcción de una edificación vertical para la identificación de los gastos que genera cada una de ellas.	Act 1. Realizar una revisión de los expedientes técnicos de las obras ejecutadas por las empresas	Ind 4. Base de datos, Matriz de valoración
	Act 2. Realizar un análisis de Pareto para identificar los procesos críticos y las oportunidades de mejora	Ind 2. Diagrama de Pareto
	Act 3. Identificar los factores de costo de los CDC (Costos de calidad) para las actividades ejecutadas	Ind 3. Diagrama de valor
Obj 3. Proponer una metodología para la cuantificación del costo de la calidad en proyectos de edificaciones verticales planteando los respectivos procedimientos.	Act 1. Organización de la información relacionada con la calidad y los gastos de las actividades desarrolladas por las empresas constructoras.	Ind 5. Informe, base de datos
	Act 2. Establecer las etapas para la metodología de cuantificación de costos de calidad	Ind 6. Modelo metodológico

Capítulo 4. Resultados

4.1. Establecer los diferentes elementos que integran los costos de calidad que forman parte integral del proceso de producción en empresas constructoras a partir del análisis documental para establecer la línea base de la investigación.

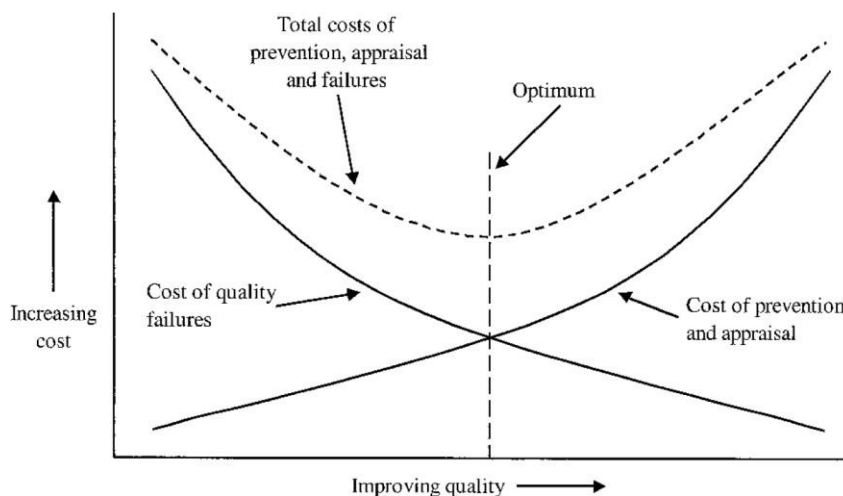
El Costo de la calidad o COQ (por sus siglas en inglés) se deriva de la filosofía, defendida por Philip Crosby y otros, de que "la calidad es gratis", porque es la falta de calidad lo que aumenta los costos (Crosby, 1979). Joseph Juran (1988) de. definió el costo de la mala calidad como “aquellos costos que desaparecerían si nuestros productos y procesos fueran perfectos”. Las estimaciones del costo de la calidad (o, más exactamente, el costo de la mala calidad o el incumplimiento de las especificaciones) varían según las industrias y las empresas. En general, a menos que se realicen esfuerzos enfocados para minimizarlos, se estima que caen entre el 10% y el 30%, y la mayoría de los análisis los sitúan en torno al 20% (Atkinson et al., 1991; Nylén, 1999).

La metodología COQ se establece ampliamente en los estándares británicos BS 6143 - Partes 1 y 2 (BSI, 1990, 1992). Estos documentos introducen el modelo de costos de proceso y el modelo de prevención, evaluación y fallas (PAF). Destacan el vínculo entre costo y calidad: de poco sirve lograr la calidad requerida a un costo prohibitivamente alto y poco competitivo. Igualmente, lograr un costo competitivo degradando la calidad también es inapropiado. La curva de Lundvall-Juran (Figura 3) ilustra la teoría tradicional que subyace al COQ y muestra cómo el costo y la calidad operan como una compensación dentro de la metodología del COQ. Juntos, los costos que surgen por la necesidad de actividades de prevención y evaluación y los costos por

fallas representan el costo adicional innecesario incurrido en el producto si todos los procesos pudieran operar correctamente.

Figura 3.

Curva de Lundvall - Juran



Nota. (Whyte, 2014)

Específicamente, los elementos separados del modelo PAF se pueden definir como:

- prevención: aquellas actividades emprendidas para garantizar que no se produzcan fallos, p. educación, formación, estudios
- tasación: aquellas actividades emprendidas para asegurar que el . producto terminado cumple con la calidad deseada, p. sistemas de control de calidad
- fallas: una medida de las fallas para lograr la calidad requerida de producto terminado y las actividades subsecuentes emprendidas para corregir esas fallas (pueden

subdividirse en fallas internas y externas: interno como chatarra, reelaboración, retrasos y externo, como reparaciones, reclamaciones, indemnizaciones).

El nivel óptimo de defectos, que se muestra en la Figura 3, es donde los costos crecientes de la curva de prevención y evaluación convergen con la curva de costos de fallas decrecientes. Este punto óptimo variará según la naturaleza del proyecto: cuanto más severas sean las consecuencias de la falla, mayor será el requisito de desempeño de calidad. Esta visión de la relación entre prevención, evaluación y costos de falla ha sido cuestionada en la literatura.

La visión moderna ahora está más de acuerdo con Morse y Poston (1989), Atkinson et al. (1991) y Foster (1996). El eje de calidad debe definirse con mayor precisión como el porcentaje de conformidad con la especificación, y luego uno debe reconocer que, aunque la relación en la Figura 3 es ampliamente apropiada para expresar relaciones estáticas, uno debe, durante un período de tiempo más largo, reconocer la dinámica de la tecnología cambiante. y conocimiento, y cómo puede cambiar incluso el grado aceptable de cumplimiento con la especificación. Reconociendo estas dinámicas, el objetivo no es solo estimar las curvas de costos para la evaluación de la prevención y las fallas para encontrar el nivel óptimo de calidad, sino vincular las fallas identificadas y sus causas con mejoras tecnológicas o de procesos de trabajo de manera que se impulsen los costos de fallas, con el tiempo, para estar lo más cerca posible de cero (quizás también con un acuerdo más estricto sobre las especificaciones).

Si se puede confiar en los materiales y procesos para reducir radicalmente la incidencia de fallas, esto permitirá una reducción de las actividades de prevención y evaluación de tal

manera que se puedan eliminar casi todos los costos de PAF (aunque siempre habrá algunos costos de prevención asociados con, por ejemplo, normas de salud y seguridad).

4.1.1. Identificación de factores que afectan el costo de la calidad

Los costos de la calidad (COQ) se ven afectados por varios factores que son manejables o no manejables. Hay diferentes formas de identificar los factores que afectan el costo de la calidad. Uno de los métodos es la revisión de la literatura. Por lo tanto, los factores habituales que afectan el costo de la calidad en los proyectos de construcción se extraen de la literatura, se identifican 21 factores principales con alto impacto en el COQ para los proyectos de construcción como se aprecia en la tabla 2.

Tabla 2

Factores que afectan los costos de la calidad

COSTO DE PREVENCIÓN
• Plan de gestión de la calidad del proyecto • Método de aplicación y control de calidad • Capacitación • Uso de mano de obra de calidad • Comprobación del progreso del diseño en el cumplimiento de los requisitos • Evaluar contratistas y proveedores
COSTO ESTIMADO
• Laboratorio

-
- Labores de control de calidad
 - Evaluación de la organización externa
 - Evaluación de productos y procesos
 - Herramientas de medición

COSTO DE FALLA INTERNA

- Rediseño
- Reelaboraciones
- Reevaluación por reelaboración
- Coste de los residuos generados por retrabajo

COSTO DE FALLA EXTERNA

- Quejas y reclamaciones
 - Penalizaciones por mala calidad
 - Gastos de reparación durante el período de garantía
 - Diseño e implementación de un sistema motivacional
 - Desarrollo y precisión de instrumentos de control y medida
 - Revisar contratos y documentos
-

4.1.2. Caso de estudio: Proyecto Torres ABC

Los datos del proyecto y la empresa a cargo del proyecto se mantienen bajo confidencialidad a solicitud de la gerencia de la constructora. A grandes rasgos el proyecto

seleccionado consistió en la construcción del proyecto Torres ABC (Nombre Asignado por los autores) a cargo de la empresa constructora ABC (Nombre asignado por los autores).

A grandes rasgos el proyecto consiste en la construcción de 4 torres residenciales de 15 pisos, con un presupuesto total de alrededor de \$870 millones (\$595 millones para obra civil). El proyecto tiene una superficie total de terreno de 103 Hectáreas y una superficie edificada total de 1.404.844 m². La selección de este proyecto se realizó dado que:

- Al ser de naturaleza de diseño y construcción, la participación de los consultores fue más fácil, ya que fueron contratados por el contratista principal (el participante directo en el proyecto).
- El proyecto no implicó grandes desafíos técnicos, lo que significa que la empresa se arriesgó menos al pedirle al equipo del sitio que participara en el estudio.
- El equipo del sitio y el cliente estaban entusiasmados por participar en el estudio. Este fue un factor importante teniendo en cuenta su exposición personal y el requisito de que recopilaran la mayoría de los datos.

Dado el interés en desarrollar una mejora continua a través del uso de la metodología COQ, el enfoque del personal del sitio fue registrar y calcular el costo de cualquier falla interna a medida que se observaron, y buscar en ese momento la información adicional que fuera necesaria para hacer estimaciones de costos. e identificar las causas de las fallas. Por lo tanto,

este no iba a ser un procedimiento de estimación de COQ al final de un período de operación o al final de un proyecto, como lo han sido muchos estudios anteriores.

Los datos se proporcionaron a través de la experiencia directa y la observación de personas, mientras que la información complementaria se encontró en los diarios de obra, de facturas y pedidos, el programa del proyecto, las hojas de asignación y la lista de cantidades. Los datos de fallas de calidad fueron complementados con datos de prevención y costos de evaluación del proyecto, adquiridos por un investigador.

El investigador también pasó una cantidad considerable de tiempo brindando asesoramiento sobre la implementación, aseguró la validez de la recopilación de datos, aseguró la confidencialidad y mediación entre individuos y organizaciones para traer rigor académico e integridad a la recolección y análisis de los datos. Se realizaron talleres al principio para explicar la naturaleza de la calidad y la importancia de la medición del desempeño, y para enfatizar que el propósito del estudio es de aprendizaje y comprensión en lugar de monitoreo y vigilancia. También se hicieron esfuerzos para involucrar a todas las partes del contrato. El estudio se presentó a los subcontratistas y proveedores clave en las reuniones iniciales de puesta en marcha, y los consultores también conocieron el ejercicio en una etapa temprana.

4.1.2.1. Características de la empresa seleccionada

Las empresas constructoras, especialmente las empresas con certificación ISO9000, mantienen una gran cantidad de información sobre los tipos de defectos, su frecuencia, su gravedad, sus causas, sus costos de reparación, etc. Las empresas utilizan esta información para

analizar fallas y prevenir que vuelvan a ocurrir. Sin embargo, este tipo de información se considera como información interna, altamente confidencial, que no debe ser revelada a terceros. El análisis interno de los datos solo permite a la empresa comparar sus datos actuales con sus propios datos anteriores, pero carece de la oportunidad de relacionar sus datos con otras empresas en el mismo negocio (es decir, construcción de edificios residenciales).

Teniendo en cuenta la sensibilidad de los datos, esta tasa de respuesta se considera alta, ya que muchas de las empresas se mostraron reacias a revelar sus tasas de falla a pesar de que se les garantizó la confidencialidad.

4.1.3. Costos relacionados con la calidad considerados en la investigación

Los costos totales relacionados con la calidad incluyen inversiones electivas en prevención y evaluación, por un lado, y el costo de resultados no deseados debido a fallas internas y externas, por otro lado. Los primeros costos tienen como objetivo garantizar la calidad, mientras que los últimos costos son gastos adicionales para reparar fallas que de alguna manera lograron infiltrarse a través del sistema de calidad a pesar de los intentos de prevenirlas. Los términos utilizados a lo largo de este estudio se definen de la siguiente manera.

4.1.3.1. Costos de prevención

Costes de las actuaciones destinadas a evitar irregularidades, defectos, errores, etc. en el proceso. La Tabla 3 enumera ejemplos de elementos comunes en esta categoría y presenta (solo por títulos) el método utilizado en este estudio para calcular la suma de sus costos anuales.

Tabla 3

Elementos típicos para el cálculo de costos de prevención

Descripción	Und	Cantidad mensual	Cantidad Anual	Costos por unidad	Costo anual
• Coste del responsable de calidad de la empresa • Costo de los miembros del personal de control de calidad responsables de las actividades centralizadas • Costo de elaboración y actualización de procedimientos y especificaciones • Costo del equipo de control de calidad. • Coste de las auditorías internas de calidad • Costos operativos del control de procesos de rutina • Coste de la planificación del control de compras • Costo de instrucción y capacitación en temas relacionados con la calidad • Coste de acreditación y seguimiento de proveedores y subcontratistas • Otro					
Costos anuales totales de prevención					

4.1.3.2. Costos de evaluación

Costos de las acciones tomadas durante el proceso para asegurar la conformidad con las especificaciones de calidad predeterminadas. La Tabla 4 enumera los elementos comunes en esta categoría.

Tabla 4

Elementos típicos para el cálculo de costos de evaluación

Descripción	Und	Cantidad mensual	Cantidad Anual	Costos por unidad	Costo anual
• Costo de controlar los materiales y productos entrantes					

-
- Costo del control de calidad en proceso (principalmente por el personal del proyecto)
 - Costo de mantenimiento y calibración de equipos de medición
 - Costo de las pruebas de rutina realizadas en las etapas críticas del proceso de construcción
 - Costo de inspecciones exhaustivas antes de la entrega
 - Costes anuales de auditoría externa del sistema de garantía de calidad
 - Otro
-

Costos totales anuales de tasación

4.1.3.3. Costos de fallas internas

Costes de las actuaciones realizadas para corregir irregularidades, defectos, errores, etc. antes de la entrega del producto al cliente. La Tabla 5 enumera ejemplos de artículos comunes en esta categoría.

Tabla 5

Elementos típicos para el cálculo de costos de fallas internas

Descripción	Und	Cantidad mensual	Cantidad Anual	Costos por unidad	Costo anual
• Costo de reelaboración (incluidos materiales, etc.) durante el proceso • Costo de reposición de materiales y productos rechazados • Costo de investigar las causas de las no conformidades • Penalizaciones o créditos por no conformidades • Coste de cambios por no conformidades • Otro					
Costos anuales totales de fallas					

4.1.3.4. *Costos de fallas externas*

Costes de las actuaciones realizadas para subsanar irregularidades, defectos, errores, etc. posteriores a la entrega del producto al cliente. La Tabla 6 enumera ejemplos de artículos comunes en esta categoría.

Tabla 6

Elementos típicos para el cálculo de costos de fallas externas

Descripción	Und	Cantidad mensual	Cantidad Anual	Costos por unidad	Costo anual
- Costo de manejar las quejas de los clientes - Costo de reparación y corrección de defectos, irregularidades y reparaciones en garantía - Costos judiciales, indemnizaciones y multas - Costo del tiempo invertido por el personal de la empresa en el manejo de las no conformidades posteriores a la ocupación - otros					
Costos totales anuales de fallas externas					

4.1.3.5. *Costos totales relacionados con la calidad*

Después de completar las cuatro tablas con los datos relevantes, se pueden estimar los diversos costos relacionados con la calidad, se puede calcular el TQRC y se pueden establecer varios índices. La Tabla 7 presenta una tabla resumen de este tipo.

Tabla 7

Resumen de los costos totales relacionados con la calidad

Descripción	Und	Cantidad mensual	Cantidad Anual	Costos por unidad	Costo anual
• Costos de prevención • Costos de evaluación • Costos de fallas internas • Costos de fallas externas					
Costos totales relacionados con la calidad					

4.1.4. Reducción de costos y su impacto en las estrategias de operación

Antes de decidirse por COQ o cualquier otro programa, los ejecutivos primero deben determinar si el concepto respalda sus objetivos corporativos y su estrategia operativa. Hay dos tipos diferentes de estrategias operativas que una empresa puede elegir seguir: liderazgo en costos o diferenciación de productos. Para competir en el mercado mundial, una empresa debe reducir costos y convertirse en el productor de bajo costo o diferenciar sus productos y agregar más valor para sus clientes. Cualquiera que sea la estrategia operativa, todas las actividades dentro de la organización necesariamente deben girar en torno a la estrategia elegida

La supervivencia de una empresa líder en costos depende de su capacidad para fabricar productos de bajo costo. Una excelente manera de reducir costos es implementar un programa COQ. Una empresa que es nueva en el concepto de calidad puede eliminar las causas principales de la mala calidad y ver una reducción inmediata de los costos de producción. Una empresa que ya produce productos de calidad puede reducir aún más los costos de producción al eliminar los

procesos que no agregan valor. Como resultado de estos ahorros, una empresa podrá rebajar los precios de sus competidores más ineficientes.

Por otro lado, una empresa de diferenciación de productos se enfoca principalmente en agregar valor a sus productos y brindar ese "algo extra" a sus clientes. En este caso, el factor costo es secundario porque los productos de mayor calidad pueden exigir precios más altos. Aunque los objetivos son diferentes, COQ también puede ayudar a estas empresas a producir resultados al garantizar que la calidad se integre en el diseño inicial de los productos y que los productos se fabriquen correctamente la primera vez.

Los tiempos de ciclo reducidos y cero defectos son una gran ventaja para quienes se diferencian en función de la confiabilidad (es decir, el tiempo). Los diseños de calidad son esenciales para quienes compiten en el desarrollo de nuevos productos. Menos configuraciones y un proceso simplificado significan una mayor flexibilidad. Además, la eliminación de procesos que no agregan valor significa que el 100% de los recursos se pueden canalizar a actividades enfocadas en el cliente. Inevitablemente, el resultado será un producto de mayor calidad y una base de clientes más leal.

Por lo tanto, COQ tiene algo que ofrecer a las empresas independientemente de sus estrategias operativas. COQ es como dos caras de la misma moneda. Un programa COQ puede ayudar a una empresa a reducir drásticamente sus costos de producción sin comprometer la calidad de sus productos, o puede ayudar a una empresa a incorporar calidad a sus productos sin

aumentar los costos de producción. El truco es implementar un programa COQ diseñado con objetivos estratégicos individuales en mente y adaptado individualmente a las operaciones.

4.2. Analizar las diferentes actividades relacionadas con la calidad a partir de los procesos productivos desarrollados en la construcción de una edificación vertical para la identificación de los gastos que genera cada una de ellas.

4.2.1. Costo de la calidad bajo el modelo PAF

Las empresas pierden dinero todos los días debido a la mala calidad; desde arreglar una pieza deformada en la línea de montaje hasta tener que hacer frente a una demanda por una máquina averiada o un servicio mal realizado. A Juran, junto con Armand Feigenbaum, se les atribuyó principalmente los escritos que condujeron al desarrollo de los conceptos y modelos actuales de Costos de Calidad (CoQ). En otras palabras, CoQ es la cantidad de dinero que pierde una empresa porque su producto o servicio no se hizo bien en primer lugar.

Según Besterfield (2018), el costo de la calidad se define como el coste asociado a la no consecución de la calidad del producto o servicio definida por los requisitos establecidos por la empresa y sus contratos con los clientes y la sociedad. En pocas palabras, es el costo de productos o servicios deficientes. Con base en las definiciones anteriores, y muchas otras, se puede concluir que se han utilizado diferentes etiquetas para describir los costos relacionados con la calidad. Sin embargo, parece haber acuerdo en cuanto al conjunto básico de categorías de CoQ; prevención, evaluación, falla interna y falla externa.

El análisis CoQ vincula las acciones de mejora con los costos asociados y las expectativas del cliente, y esto se ve como el acoplamiento de costos reducidos y mayores beneficios para la mejora de la calidad. Por lo tanto, una estimación realista de los beneficios de mejora y CoQ, que es la compensación entre el nivel de conformidad y los costos de no conformidad, debe considerarse un elemento esencial de cualquier iniciativa de calidad y, por lo tanto, un tema crucial para cualquier gerente.

Las empresas rara vez tienen una idea realista de la cantidad de ganancias que están perdiendo debido a la mala calidad. Las empresas más pequeñas a menudo ni siquiera tienen un presupuesto de calidad y no intentan monitorear los costos de calidad. Las grandes empresas suelen afirmar que evalúan los costes de calidad; sin embargo, aunque la mayoría de los gerentes afirman que la calidad es su principal prioridad, solo un pequeño número de ellos mide realmente los resultados de los programas de mejora de la calidad. La alta dirección suele ser reacia a establecer una cuenta de reelaboración. Los errores se entierran y los costos adicionales incurridos se tratan como baja productividad. Este acto indica una mala actitud de gestión y elimina cualquier margen de mejora. El costo de la calidad, por el contrario, permite cuantificar los costes de los eventos de fallo y, por tanto, usarlo como un medio para iniciar acciones de mejora.

Hay muchos beneficios operativos que se pueden obtener del uso de la información generada a partir de un sistema CoQ: el reconocimiento de deficiencias en el sistema de calidad de la organización; en relación con el rendimiento de los gastos relacionados con la calidad y la

mejora de la calidad; la identificación y eliminación de las actividades organizativas que no proporcionan o mejoran la calidad; un medio para monitorear el desempeño operativo e identificar áreas de mejora con respecto a los costos; proporcionar justificación financiera para futuras iniciativas de calidad; la introducción de una orientación básica hacia la calidad; una guía para tomar decisiones estratégicas basadas en hechos y relacionadas con los costos; una herramienta de gestión para evaluar los gastos relacionados con los costos, para realizar un seguimiento de los costos y para aumentar otras formas de información en el proceso de toma de decisiones operativas y estratégicas.

El modelo de prevención-evaluación-fallo (PAF) es el modelo más utilizado para determinar el costo de la calidad. Dentro de este contexto, los costes de prevención son aquellos derivados de las actividades de calidad utilizadas para evitar desviaciones y errores. Prevenir la no conformidad antes de que un producto sea fabricado o preparado para servir al cliente es claramente la acción más apropiada para reducir los costos de evaluación y falla porque siempre es el enfoque menos costoso, menos lento y menos problemático para proporcionar un producto de calidad.

Los costos de evaluación incluyen todos los costos asociados con la medición, evaluación o auditoría de productos para determinar si se ajustan o no a sus requisitos. Mientras que los costos de evaluación están asociados con el resultado, los costos de prevención están asociados con la intención. Ambos costos, sin embargo, son inevitables y deben ser asumidos por las empresas constructoras y consultoras si sus productos deben ser entregados a tiempo.

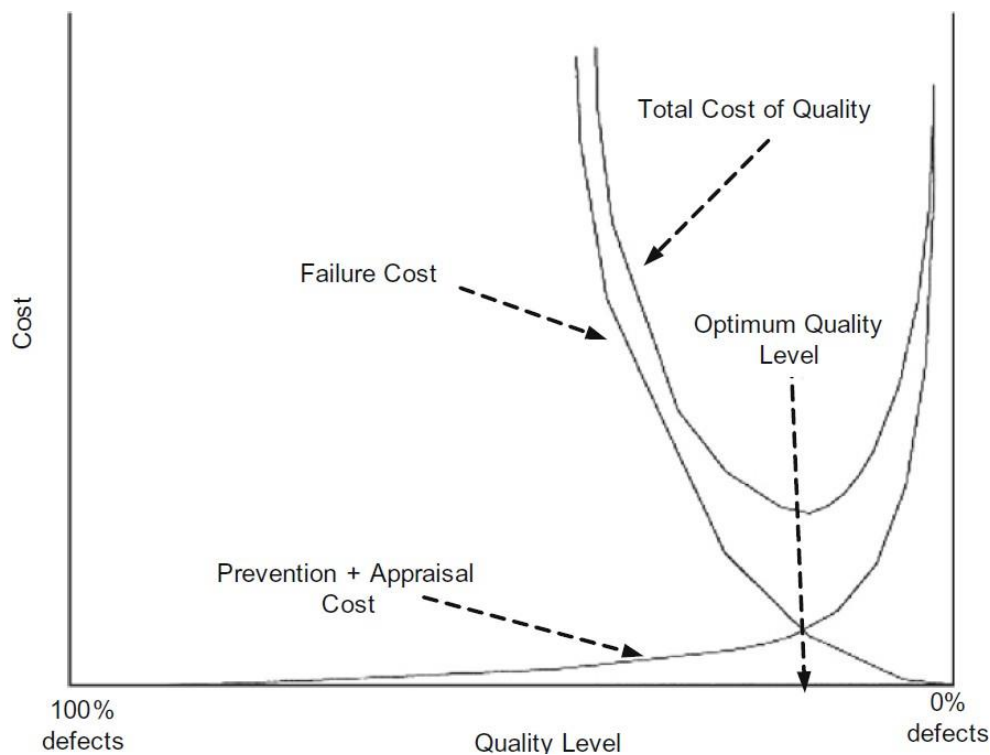
Finalmente, los costos de falla son aquellas pérdidas asociadas con la producción de un producto no conforme. Los costos de falla se pueden dividir en costos internos (asociados con fallas y defectos encontrados antes de la entrega del producto al cliente) y costos externos (que ocurren cuando un producto no conforme llega al cliente).

Juran señala la compensación tradicional que contrasta la prevención más los costos de evaluación con los costos de falla. Los supuestos básicos del modelo PAF son que la inversión en actividades de prevención y evaluación reducirá los costos de fallas, y que una mayor inversión en actividades de prevención reducirá los costos de evaluación. El modelo CoQ, por lo tanto, tiene como objetivo encontrar el nivel de calidad que minimiza el costo total de la calidad.

La figura 4 ilustra el modelo PAF. Como indica la figura, existe una relación inversa entre el esfuerzo de prevención y evaluación y el costo del fracaso. La conformidad óptima con la calidad o el nivel de defectos se encuentra en el punto en que el costo de la prevención más la evaluación es igual al costo de la falla. La curva de costo de calidad total representa la suma de las otras dos curvas y la ubicación del punto mínimo en la curva de costo de calidad total, a veces denominado punto óptimo que depende de las formas de las dos curvas inferiores.

Figura 4.

Modelo de Costo de la Calidad según el modelo PAF



Nota. (Lou et al., 2016)

4.2.1.1. Actividades relacionadas con la calidad según el modelo

No existe una estructura establecida ni un estándar de contabilidad para el costo de la calidad, y la decisión sobre la estructura de costos del modelo CoQ se deja al juicio de los gerentes de calidad o incluso de los recolectores de datos de calidad. Por lo tanto, los elementos incluidos en los modelos CoQ de varias industrias difieren sustancialmente. Los mismos elementos a menudo se colocan en diferentes categorías de costos o incluso se definen de manera diferente para adaptarse a las necesidades particulares de una empresa.

Por lo anterior, esta investigación tuvo que definir las variables de CoQ relacionadas con el proyecto de análisis. Por lo tanto, se desarrollaron en conjunto con el gerente senior de construcción encargado de la administración de proyectos de la empresa ColProyectos SAS, se logró definir mejor el modelo. y sus variables, operacionalizar estas variables y validar la estructura del modelo.

El resultado de este paso fue el desarrollo del marco teórico ilustrado en la figura 5, que posteriormente en la Tabla 8 se amplían las definiciones y comentarios relacionados con cada variable considerada.

Figura 5.

Actividades relacionadas con la calidad según el análisis

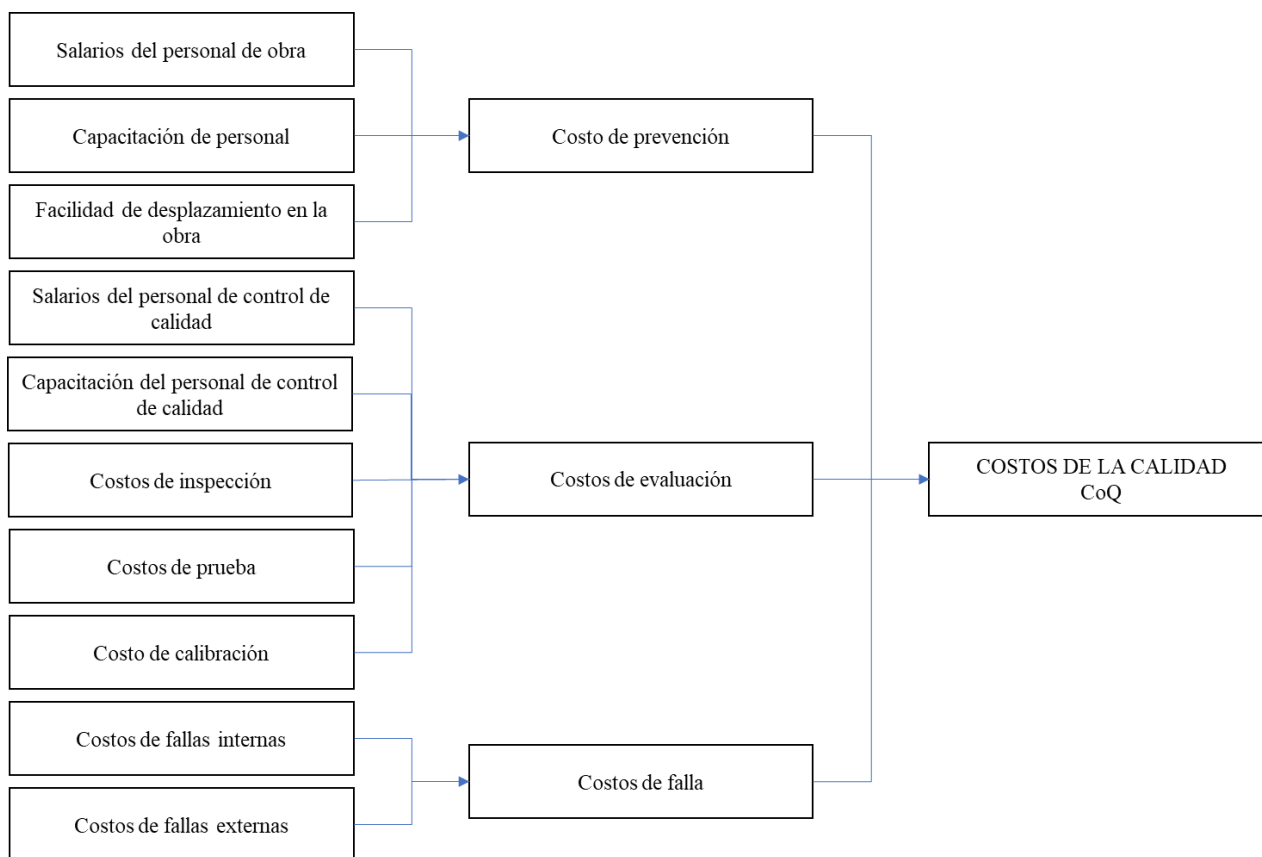


Tabla 8

Descripción de las variables correspondientes a las actividades relacionadas con la calidad según el análisis

VARIABLE	TIPO	DEFINICIÓN
Costo de la calidad (COQ)	Dependiente	La suma de los costos de conformidad más los costos de no conformidad
Costos de Prevención	Dependiente	son los derivados de las actividades de calidad utilizadas para evitar desviaciones y errores
Salarios del personal de obra	Independiente	Los salarios del personal de los contratistas y subcontratistas son uno de los factores clave que afectan los costos preventivos. La palabra personal en el presente se limita únicamente al personal de los contratistas y subcontratistas clave que supervisan, guían y controlan las labores mientras realizan los trabajos asignados de acuerdo con las especificaciones y estándares requeridos.
Capacitación del personal	Independiente	Debido a que la experiencia del personal difiere, y dado que algunos miembros del personal no tienen experiencia previa sobre algunas de las actividades de construcción en el proyecto, la capacitación del personal se vuelve crucial para ayudar al personal sin experiencia a familiarizarse con la especificación del proyecto, procedimientos, dibujos de ingeniería y estándares de calidad
Facilidad de movimiento dentro de la obra	Independiente	Si el personal no tiene un vehículo para trasladarlo de un edificio en el proyecto a otro, esto puede afectar la calidad en el edificio más lejano ya que el ingeniero puede optar por no ir al más lejano construyendo y descuidando la supervisión, diariamente, de las obras que allí se realizan. Cuanto mayor sea el área del sitio y la dispersión de sus edificios, mayor será el efecto de esta variable en la calidad.
Costos de evaluación	Dependiente	Todos los costos asociados con la medición, evaluación o auditoría de productos para determinar si se ajustan o no a sus requisitos
Salarios del personal de control de calidad	Independiente	Los sueldos del personal de control de calidad incluyen todos los sueldos pagados por los contratistas o los subcontratistas a su personal de control de calidad.
Capacitación del personal de control de calidad	Independiente	Como la experiencia del personal difiere, y como parte del personal no tiene experiencia previa sobre algunas de las actividades de construcción en el proyecto, la capacitación del personal de control de calidad se vuelve crucial para ayudar al personal de control de calidad sin experiencia a convertirse en

VARIABLE	TIPO	DEFINICIÓN
		familiarizado con las especificaciones del proyecto, los procedimientos, los planos y los estándares de calidad
Costos de inspección	Independiente	Son los costos pagados por el contratista y su subcontratista para inspeccionar sus obras. Esto incluye el costo de las herramientas de inspección y las tarifas pagadas a terceros para inspeccionar cualquier actividad/obra específica.
Costos de prueba	Independiente	Son los costos pagados por el contratista por la prueba de su trabajo. Esto incluye el costo del equipo de prueba y las tarifas de cualquier tercero para probar cualquier actividad/trabajo específico.
Costos de calibración	Independiente	Incluye los costes incurridos para calibrar y mantener los equipos de medida y ensayo
Costos de falla	Dependiente	Se definen como las pérdidas asociadas con la producción de un producto no conforme
Costos de fallas internas	Independiente	Son los costos asociados con fallas y defectos encontrados antes de que el producto sea entregado al cliente/consumidor
Costos de fallas externas	Independiente	Estos son los costos que ocurren cuando un producto no conforme llega al cliente

4.2.2. Características del proyecto

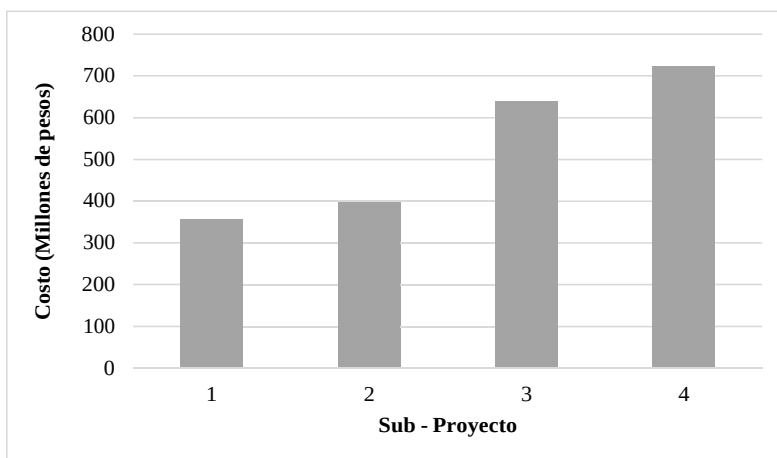
A grandes rasgos el proyecto consiste en la construcción de 2 torres residenciales de 15 pisos, con un presupuesto total de alrededor de \$2.107 millones. El proyecto tiene una superficie total de terreno de 103 Hectáreas y una superficie edificada total de 1.404.844 m². La selección de este proyecto se realizó dado que:

El proyecto se divide en 4 subproyectos, la Figura 6 resume la suma total del contrato para cada uno de estos subproyectos. Todos los subproyectos tienen la misma especificación técnica; por lo tanto, se esperaba el mismo nivel de calidad. A pesar del hecho de que algunos de los edificios en estos subproyectos tienen un esquema arquitectónico diferente, esto no se reflejó

en gran medida ni afectó la elección de los materiales de construcción, las técnicas de construcción, el método de aplicación, el material de acabado y el nivel de calidad. Todos los subproyectos fueron inspeccionados diariamente por el consultor y el personal de control de calidad del equipo de gestión del proyecto (PMT). Cada vez que se notara cualquier desviación en la especificación, el método de declaración, las técnicas de aplicación o el uso del material, el consultor y el PMT debían enviar un aviso al contratista indicando el tipo y la ubicación exacta del problema y solicitando al contratista que tomara las medidas necesarias. acciones correctivas.

Figura 6.

Costo de obra de los diferentes subproyectos



Aunque cada contratista tiene sus propios procedimientos de control de calidad y planes de prueba de calidad, estos tuvieron que ser ajustados y modificados al comienzo del proyecto para obtener la aprobación del PMT y el consultor. Durante la construcción del proyecto, el PMT estuvo auditando, de vez en cuando, a todos los contratistas para verificar que cumplieran con sus procedimientos de control de calidad y planes de prueba de calidad aprobados.

Además de los procedimientos regulares de inspección, cada subproyecto fue inspeccionado diariamente y de forma rutinaria por el consultor y los superintendentes de PMT y el equipo de control de calidad para buscar cualquier defecto que apareciera en los trabajos realizados. Si se observaran defectos o no conformidad con las especificaciones, los planos, el método de aplicación aprobado o el uso del material, se recomienda al contratista, diariamente, que rectifique esta desviación. Como todos los subproyectos comparten el mismo consultor y el mismo PMT, será razonable suponer que todas las obras de todos los subproyectos fueron inspeccionadas con el mismo punto de referencia de control de calidad para lograr el mismo nivel de calidad.

4.2.3. Recopilación de datos

En el proyecto se utilizaban dos tipos de documentos para asesorar a los contratistas en la rectificación de los trabajos defectuosos realizados, estos eran: “aviso de defectos” e “informe diario de campo”. El primero es un formulario para ser utilizado por el consultor o el PMT al notar cualquier defecto en el material, la instalación o los servicios que luego se entrega al contratista con copia a la otra parte (el PMT o el consultor). La reparación de los defectos puede incluir el desmantelamiento de los equipos o materiales instalados, la demolición de la estructura de concreto, la remodelación de algunas actividades de acabado, el desmantelamiento de losetas de cerámica o mármol, etc. La parte que inició la notificación de defectos inspeccionará los artículos o servicios defectuosos y confirmará si los defectos identificados son subsanados o no.

Por otro lado, el “informe diario de campo” es un informe para llenar por los superintendentes del PMT al momento de visitar el sitio e inspeccionar el trabajo del contratista en general y comentarios. El informe se transmitirá a la gerencia para que tome las medidas necesarias para mejorar el desempeño del contratista en todos los aspectos de su trabajo.

Los investigadores verificaron los registros financieros, las facturas y las correspondencias de los contratistas para cuantificar el valor de algunas de las variables. En caso de que faltaran algunos documentos, se estimaron valores aproximados de las variables relacionadas con la ayuda de los aparejadores e ingenieros de control de calidad.

Calcular el costo de la falla interna fue la tarea más difícil en el proceso de recopilación de datos. Esto se debió principalmente a que ningún contratista había llevado un registro de los costos incurridos para rectificar cualquiera de los defectos del subproyecto. Así, los costos de fallas internas fueron calculados por los investigadores con la ayuda de algunos aparejadores en base al costo de reparación de los defectos que aparecían en el proyecto. Teniendo en cuenta la gran cantidad de defectos registrados (alrededor de 830 defectos para todos los subproyectos), da una imagen clara de lo difícil que fue calcular el costo de falla interna para todos los contratistas en estos subproyectos.

4.2.3.1. *Análisis descriptivo*

El costo total de calidad del proyecto fue de \$58.2 millones lo que representa el 2.7% del valor total de la obra civil del proyecto. Este porcentaje se considera relativamente bueno y

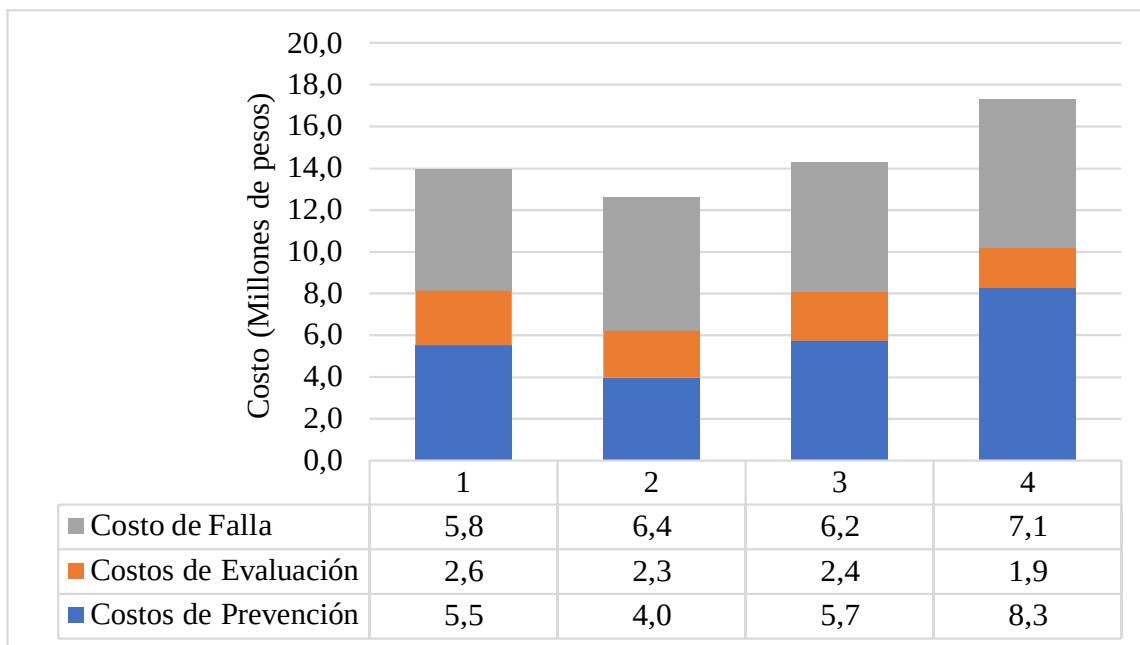
refleja que el CoQ en el proyecto es pequeño en comparación con los porcentajes de CoQ mencionados en otras investigaciones.

El mejor porcentaje de CoQ documentado en las investigaciones encontradas fue del 1%. Este bajo porcentaje de CoQ se puede atribuir a la estrecha y continua interferencia del PMT y del consultor que permitió a los contratistas lograr reducir sus costos preventivos al disminuir el número de ingenieros de aseguramiento/control de calidad y, por lo tanto, incluso, depender de capataces en lugar de ingenieros para ejecutar las actividades diarias del sitio. Esta interferencia, además, evitó la recurrencia de cualquier trabajo defectuoso o la propagación del uso de materiales o declaraciones de métodos no aprobados. Esto ayudó a los contratistas de los subproyectos a reducir sus costos de evaluación sin aumentar sus costos de fallas y, como consecuencia, su CoQ. Teniendo en cuenta que todo el PMT y los honorarios de los consultores corren a cargo del Cliente y no de los contratistas de los subproyectos.

Como indica la Figura 7, diferentes subproyectos tienen diferentes CoQ totales. Determinar el CoQ total en cada subproyecto puede ser engañoso; un CoQ equivalente al 1 % del costo total de un subproyecto grande será definitivamente mayor que un CoQ equivalente al 1 % de un subproyecto relativamente más pequeño. Por lo tanto, el valor relativo de CoQ (en relación con la suma del contrato del subproyecto) es más indicativo al comparar el CoQ de diferentes subproyectos que al comparar solo su CoQ total.

Figura 7.

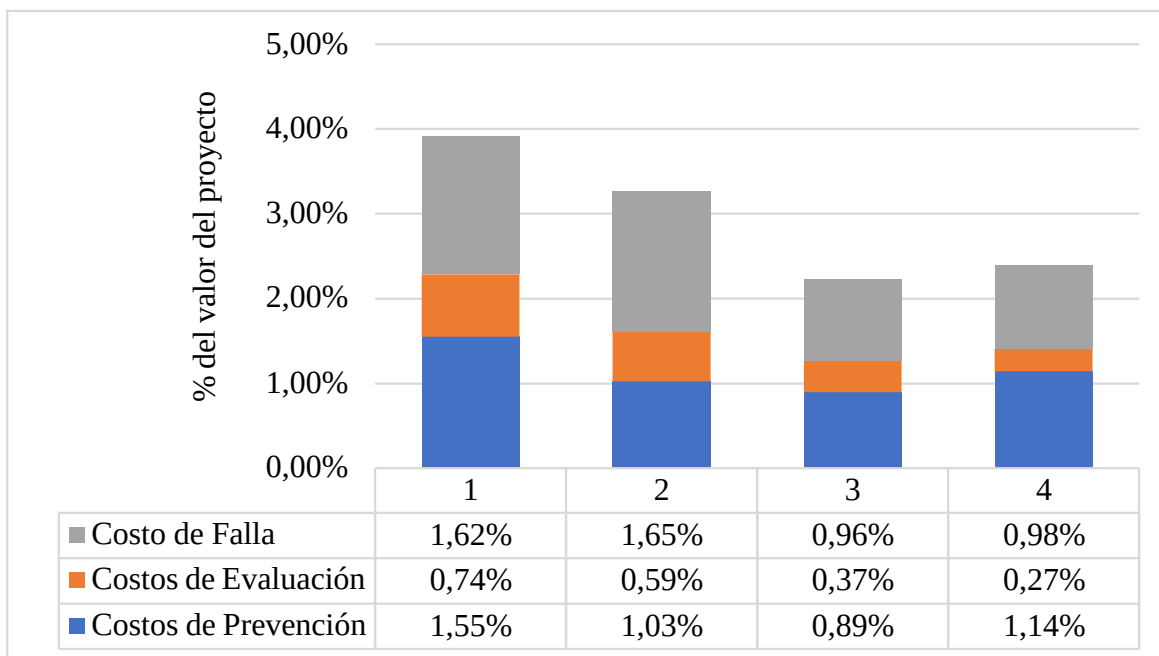
Costo de la calidad para los diferentes sub-proyectos



Como indica la Figura 8, los dos valores de CoQ relativos más grandes se encontraron en los subproyectos 1 y 2. Por otro lado, al comparar el CoQ (y no el CoQ relativo) de los diferentes subproyectos -proyectos, el subproyecto 4 tuvo el mayor valor y el subproyecto 2 tuvo el menor valor. Esta es una indicación de la importancia de considerar el tamaño y el valor del subproyecto al evaluar su desempeño en función de su CoQ.

Figura 8.

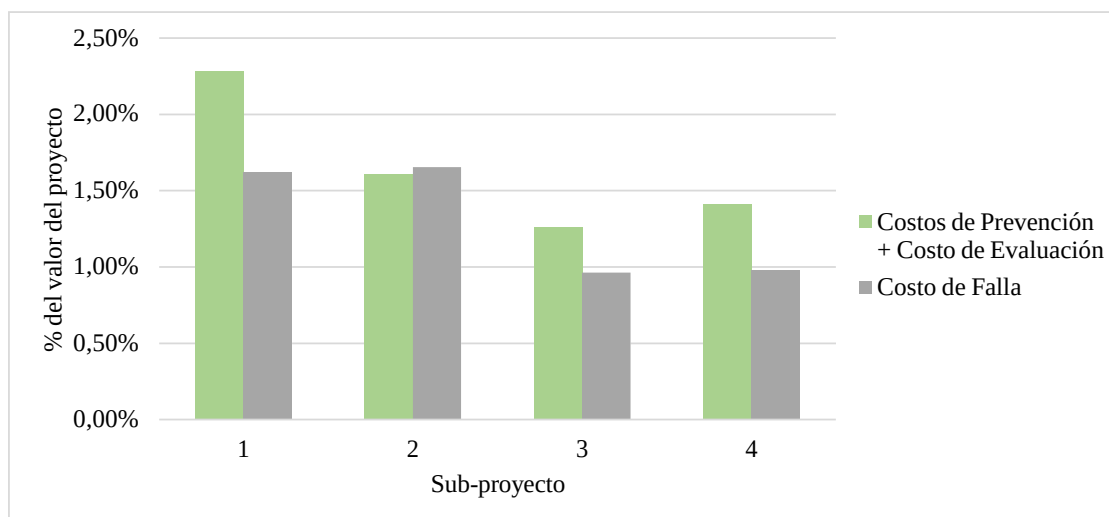
Costo de la calidad relativa al valor del proyecto



La Figura 9 muestra que solo en los subproyectos 1, 3 y 4, los costos de falla fueron menores que los costos preventivos y los costos de evaluación combinados. El aumento de los costos de falla, que indica la ocurrencia de un alto porcentaje de obras defectuosas, puede dañar la reputación del contratista como constructor de proyectos de buena calidad. Esto también puede llevar a aumentar los costos externos al perder la lealtad de los clientes y dañar la imagen de la empresa.

Figura 9.

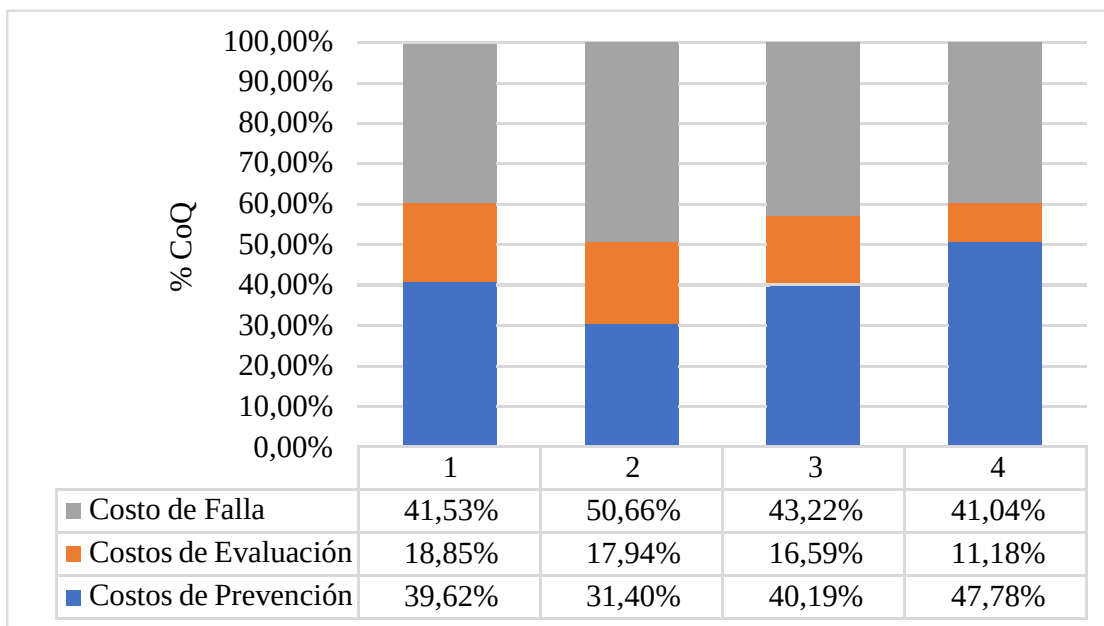
Costo de prevención y evaluación respecto a los costos de falla



Casi en todos los subproyectos, los costos de evaluación fueron inferiores al 20% del CoQ, como se muestra en la Figura 10. Esto era de esperar, principalmente porque los subproyectos dependían de la inspección realizada por un mismo consultor y el PMT como se mencionó anteriormente.

Figura 10.

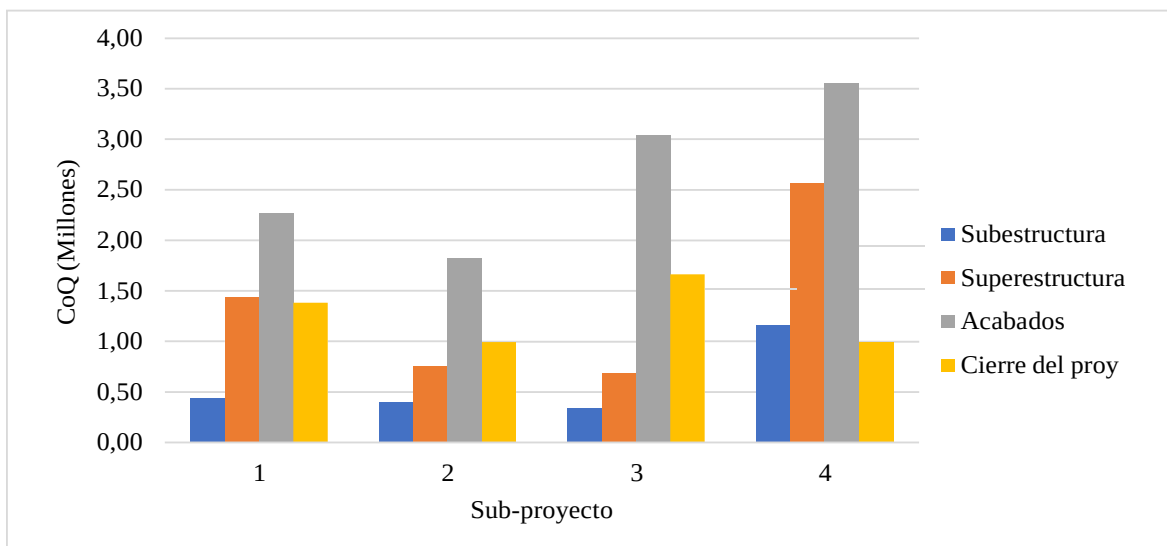
Porcentaje del costo total de la calidad



Un tema que resulta de interés en este análisis es la distribución de CoQ a lo largo de las diferentes fases principales del proyecto; subestructura, superestructura, acabados y cierre del proyecto. Las figuras 11 a 13 ilustran los valores de los costos preventivos, de evaluación y de falla en cada fase principal de diferentes subproyectos, respectivamente. Como muestran las figuras, durante las fases de superestructura y acabados se presenta el mayor costo preventivo, mientras que los mayores costos de evaluación ocurren en la fase de superestructura. Los costos de falla, por otro lado, parecen ser altos en los acabados y las fases de cierre. Aparentemente, el CoQ durante la fase de acabados parece ser el más alto, como se muestra en la Fig. 14, que presenta el CoQ para todo el proyecto.

Figura 11.

Costo de prevención en las diferentes fases de los sub-proyectos

**Figura 12.**

Costo de Evaluacion en las diferentes fases de los sub-proyectos

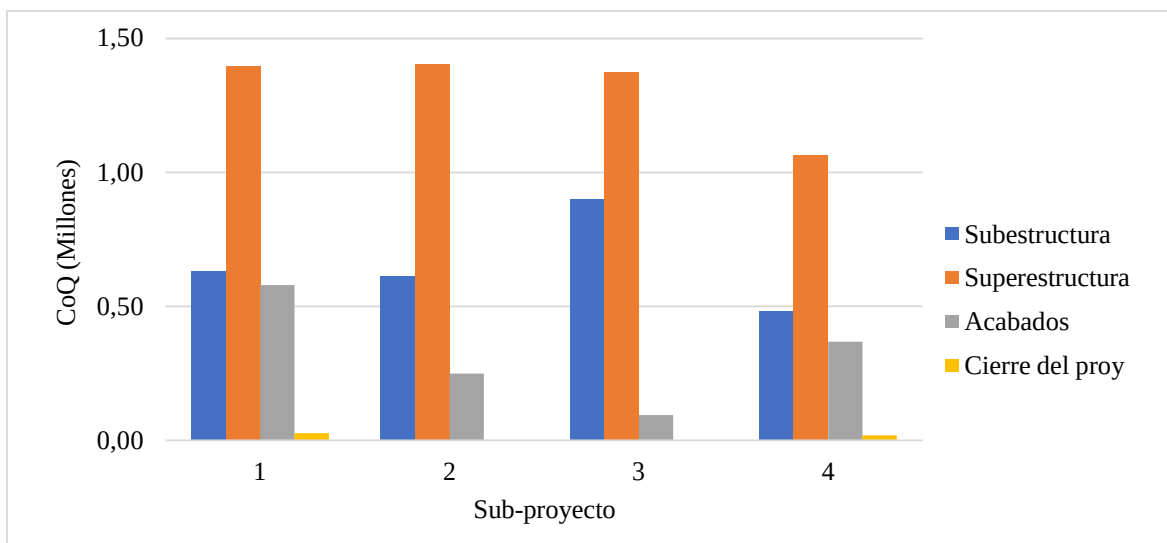
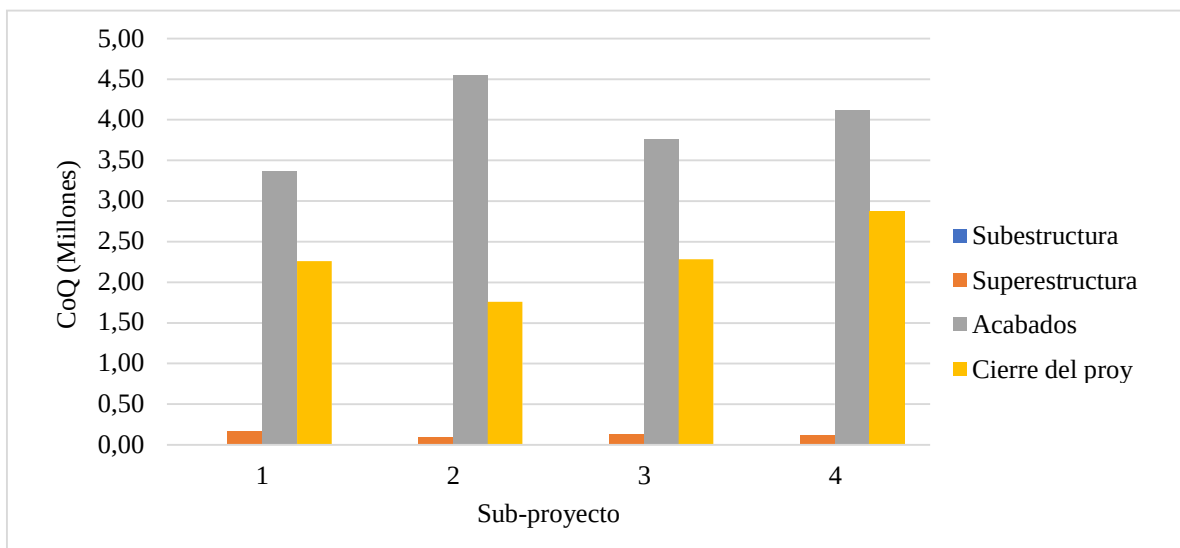
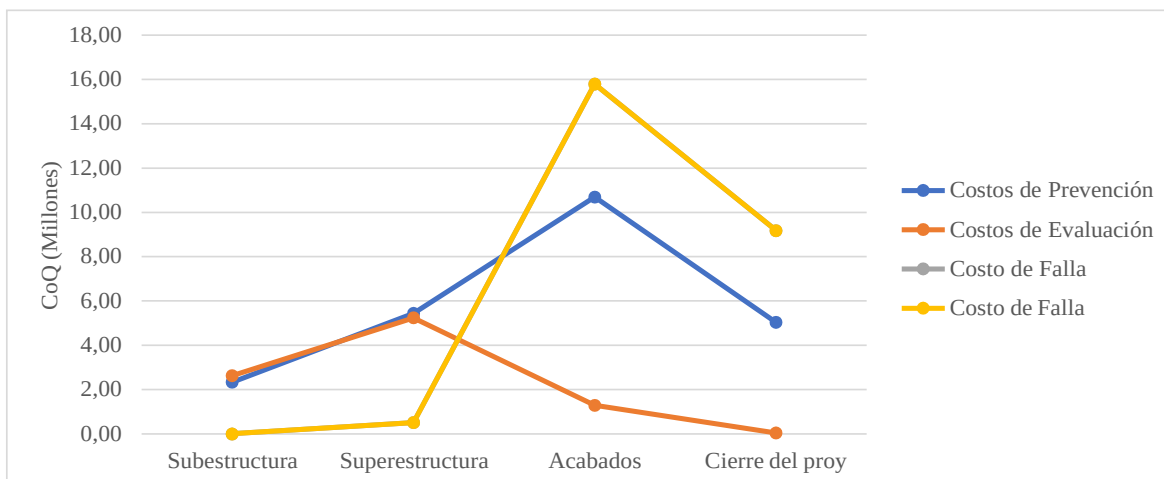


Figura 13.

Costo de falla en las diferentes fases de los sub-proyectos

**Figura 14.**

CoQ Total en las diferentes fases del proyecto



Ningún contratista en todos los subproyectos brindó cursos de capacitación técnica al personal. Aunque esto reduce tanto los costos preventivos como los de evaluación, esto puede haber llevado a aumentar los costos de falla. Obviamente, se esperaría que los cursos de

capacitación mejoren el conocimiento del personal y le presenten mejores técnicas y métodos de construcción, lo que conducirá, a la larga, a una mejor calidad del producto con menos obras defectuosas.

4.3. Proponer una metodología para la cuantificación del costo de la calidad en proyectos de edificaciones verticales planteando los respectivos procedimientos y formatos correspondientes para gestión y control en cada componente de gestión dentro del modelo propuesto

Este objetivo se abordó inicialmente con una revisión del estado del arte referente al tema de análisis, para establecer una línea base respecto a las diferentes metodologías ya existentes para la cuantificación de los costos de la calidad, y partir de allí seleccionar los elementos mas convenientes que permitan establecer una nueva metodología ajustada.

4.3.1. Estado del arte

Se realizó una revisión bibliométrica para analizar documentos en diversas disciplinas, campos, especialidades o individuos y la forma en que están relacionados entre sí. Para este caso, se desarrollaron dos etapas, el análisis bibliométrico y el análisis de red. En la primera, a partir de la base de datos de Scopus, se realizó una búsqueda en analizando los indicadores bibliométricos para posteriormente en la segunda etapa con los documentos recopilados y las referencias realizar la red para el análisis de co-ocurrencias y co-citaciones.

Una vez definidas las limitaciones y la posible identificación de los temas en los cuales se debería profundizar más, se hizo uso de la plataforma científica denominada Scopus, para realizar una búsqueda de documentos relacionados con los criterios de búsqueda indicados en la tabla 1. La búsqueda se limitó al periodo comprendido entre 2017 a 2023, con el objetivo de focalizar la investigación a un periodo específico, relacionable con los sucesos actuales y recientes.

Tabla 9

Criterios y búsqueda de resultados (Año 2017-2023)

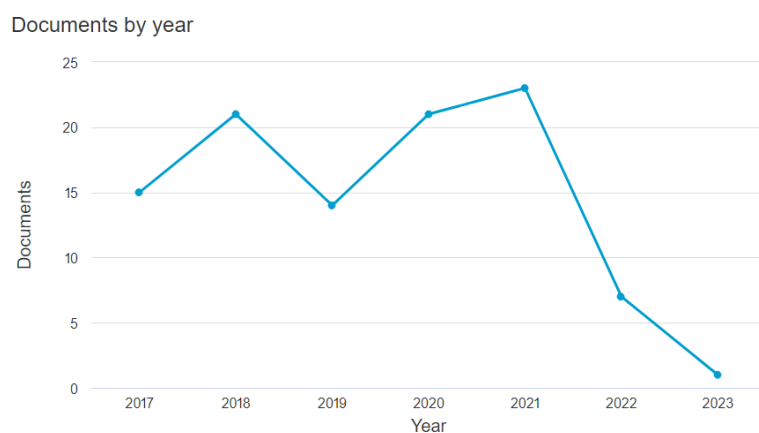
Databases	Scopus
Space of time	2017-2023
Consultation date	Feb 26, 2023
Type of document	Article, Books, Book Chapters and Conferece papers
Type of journal	All types
Search field	Title, abstract, keywords
Search terms	("Quiality Costs") AND ("Construction")
Overall outcomes	102

El análisis de los resultados de búsqueda arrojados por la base de datos Scopus indican los siguientes parámetros:

Inicialmente se realiza un análisis del número de documento publicados por año desde el año 2017, en el cual se observa un valor constante entre 15 y menos de 25 documentos, alcanzando el mayor número en el año 2021, con 24 trabajos publicados.

Figura 15.

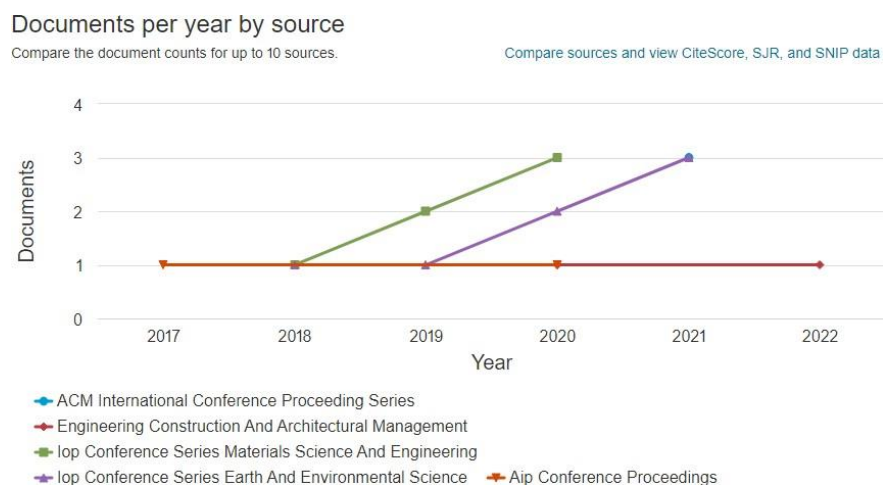
Numero de documentos por año



Con respecto a las revistas y los años de publicación, como se indica en la figura 2 se observa que las principales revistas en las cuales se ha realizado publicaciones en el tema son las correspondientes a las revistas: Iop Conference Series Earth And Environmental Science, Iop Conference Series Materials Science And Engineering, ACM International Conference Proceeding Series y Engineering Construction And Architectural Management.

Figura 16.

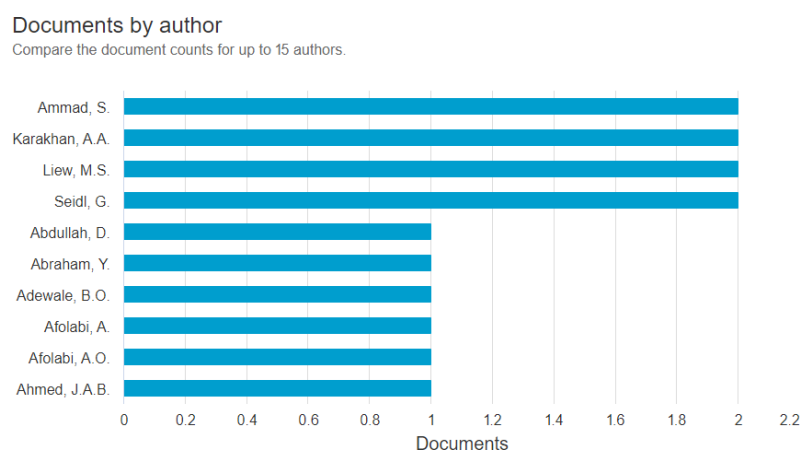
Numero de documentos por año y fuente



El análisis realizado de los autores que han desarrollado importantes avances en el tema analizado en los últimos cinco años, se indica en la figura 17, donde se aprecia que Ammad, S. Karakhan, A.A. Liew, M.S. y Seidl, G. son los cuatro autores que más han realizado aportes en el tema de estudio.

Figura 17.

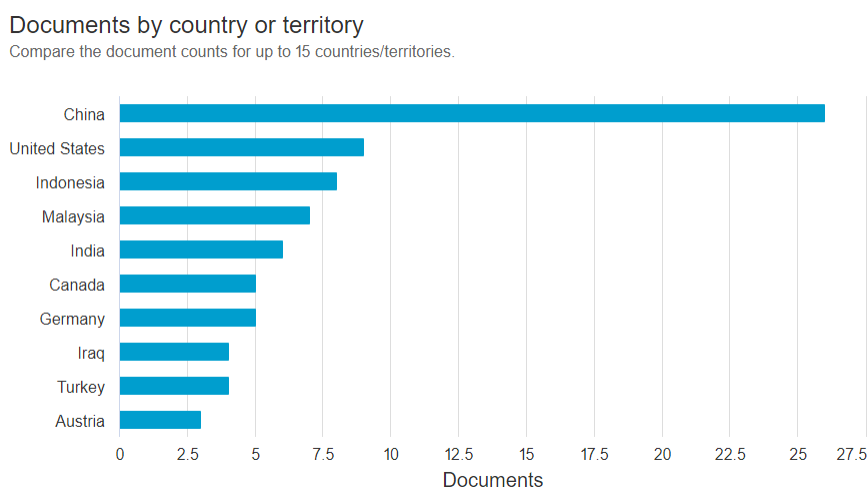
Numero de documentos por año y autor



Con respecto al análisis de las publicaciones por países, como se observa en la figura 18, se observa que los principales países que han realizado publicaciones en sobre costos de calidad en construcción, son China, Estados Unidos, Indonesia y Malasia. Sobresaliendo China con un total de 26 trabajos publicados.

Figura 18.

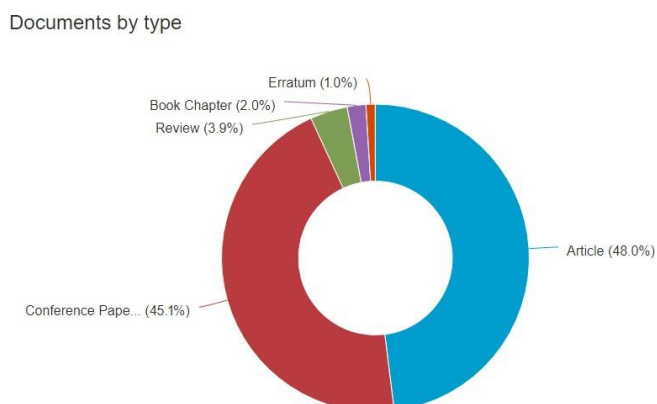
Principales países que han realizado publicaciones en el tema



Los tipos de documento que principalmente se han publicado corresponden como se indica en la figura 19, a Artículos científicos, seguido de publicaciones de conferencias, revisiones de conferencias.

Figura 19.

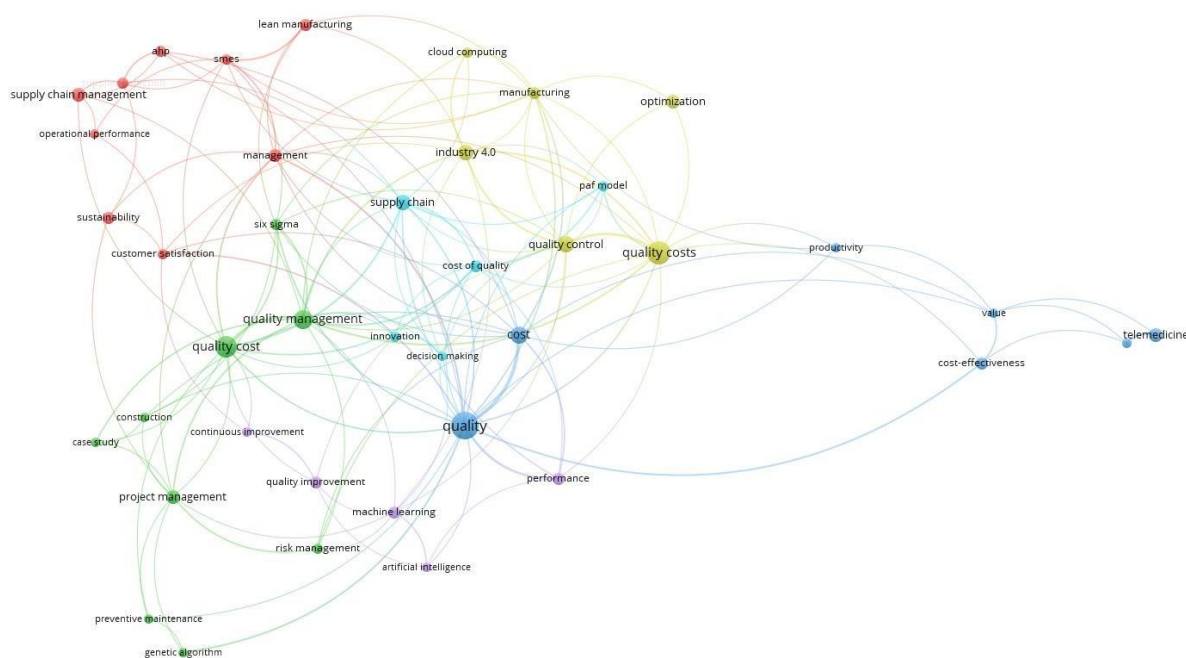
Tipos de documentos publicados



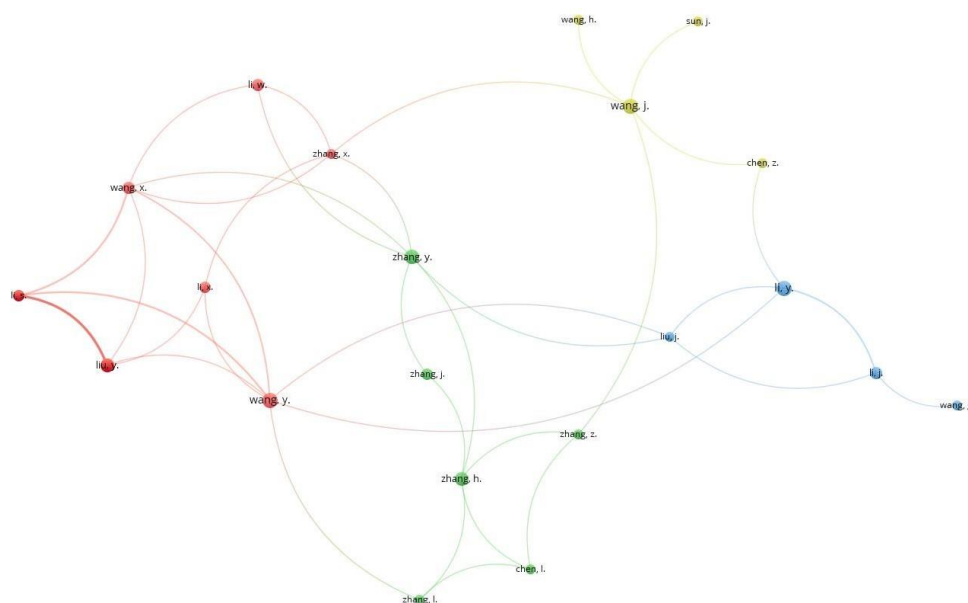
Adicionalmente, y como parte del análisis desarrollado se efectuaron las redes de co-ocurrencia de palabras y co-autores. En la figura 20, se identifica la co-ocurrencia de las principales palabras claves que se suelen emplear en los trabajos publicados, y esta información permite realizar un análisis de las perspectivas o hacia donde se orientan las investigaciones en los últimos 5 años, y vemos que las palabras: Calidad, costo de calidad, Gestión de costos y Gestión de proyectos son las principales palabras comunes entre los documentos analizados.

Figura 20.

Diagramas de co-ocurrencia de palabras



En la figura 21, se indica la red de autores que han trabajado en forma conjunta en los últimos cinco años, y vemos que los principales autores que han colaborado entre si en investigaciones relacionadas con la vulnerabilidad y los deslizamientos son, Ammad, S. Karakhan, A.A. Liew, M.S. y Seidl, G.

Figura 21.*Red de colaboradores*

4.3.2. Fundamentos de la Metodología

Una vez documentada la información concerniente a la investigación, se desarrollaron los fundamentos de la metodología propuesta para el cálculo de los costos de la calidad, que como se muestra en la Figura 22 comprende cuatro enfoques principales:

- **Recopilación y análisis de datos:** A partir del enfoque de investigación emprendido por Love (2002) y Love et al. (2010) es necesario desarrollar un instrumentos de recolección, que dependerá de las condiciones, características y limitaciones, tanto de la empresa como del proyecto analizado. El objetivo de esto será especificar las actividades comunes relacionadas con la calidad y los costos de calidad en los proyectos de edificaciones verticales.

- Desarrollo del modelo de evaluación de COQ: La teoría subyacente al COQ indica que los esfuerzos preventivos y de evaluación están inversamente relacionados con el costo de las fallas (Shank y Govindarajan 1994). Hall y Tomkins (2001) establecieron que la conformidad óptima de la calidad se puede alcanzar cuando los costos crecientes de la curva de prevención y evaluación convergen con la curva de costos de fallas decrecientes. La curva de costo de calidad total representa la suma de las otras dos curvas y la ubicación del punto mínimo en la curva de costo de calidad total. El último punto a veces se denomina punto óptimo, dependiendo de las formas de las dos curvas inferiores (Kazaz et al. 2005). En esta investigación, sobre la base de un enfoque de seis pasos, las curvas de conformidad, no conformidad y costo total de la calidad se trazan ajustando líneas de tendencia polinómica de tercer orden a los datos compilados.

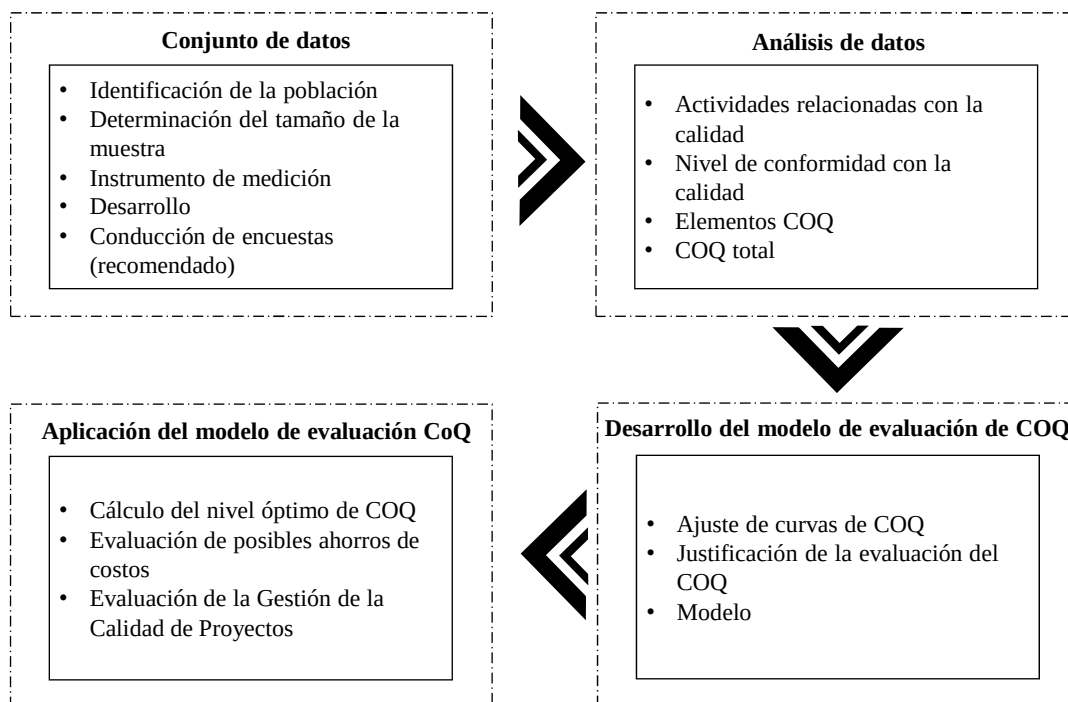
- Aplicación del modelo de evaluación de COQ: El nivel óptimo de COQ, como punto mínimo de la curva COQ, se calcula según la derivada parcial de la curva COQ. De acuerdo con el modelo clásico, este es el punto que los gerentes esperan alcanzar, en el cual el equilibrio entre los costos de prevención y evaluación se equilibra con los costos de falla. Siguiendo a Hall y Tomkins (2001), este punto óptimo variará según la naturaleza del proyecto. Como aplicación del modelo COQ desarrollado, el nivel óptimo de COQ se determina de acuerdo con una ecuación derivada parcial. Luego, los ahorros potenciales en costos de calidad se evalúan de acuerdo con el nivel óptimo de COQ, como resultado posible del enfoque de gestión de calidad al nivel óptimo de COQ.

Estos enfoques se implementan a través de las siguientes etapas:

1. Identificar y clasificar las actividades más importantes relacionadas con la calidad en los proyectos de construcción sobre la base del modelo P-A-F a través de la revisión de la literatura y el estudio de encuestas;
2. Recolectar el costo de las actividades clasificadas relacionadas con la calidad a través de un estudio de encuesta;
3. Analizar los datos de COQ y desarrollar el modelo para evaluar el COQ y su punto óptimo para proyectos de construcción de acuerdo con los datos recopilados; y
4. Estimar el ahorro de costos potencial como resultado de la gestión de la calidad del plan para alcanzar el nivel óptimo de COQ.

Figura 22.

Enfoque de la metodología



4.3.2.1. *Identificación y clasificación de las actividades más relevantes relacionadas con la calidad*

Como se indico anteriormente, se debe desarrollar un instrumento de recolección para el levantamiento de información que dependerá de las condiciones particulares del proyecto y la empresa. Se recomienda generalmente desarrollar un cuestionario basado en el esquema de clasificación P-A-F para determinar los costos de la calidad en este estudio.

Para lograr resultados más confiables de la encuesta del COQ, las actividades relacionadas con la calidad más comunes se clasifican como parte del marco del cuestionario. La figura 23 muestra la lista de actividades clasificadas relacionadas con la calidad. Los elementos del modelo P-A-F se clasifican en costos de conformidad y no conformidad, que consisten en los costos de prevención y evaluación y los costos de falla, respectivamente.

Adicionalmente en la tabla 10 se indica una matriz para la cuantificación de dichos costos con algunos ejemplos de posibles ítems de costos por cuantificar.

Figura 23.*Clasificación de los costos de la calidad*

Tabla 10

Matriz para la cuantificación de costos

IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES					
Costo de Conformidad: Prevención					
Descripción	Und	Cantidad mensual	Cantidad Anual	Costos por unidad	Costo anual
Plan de gestión de la calidad del proyecto					
Método de aplicación y control de calidad					
Capacitación					
Uso de mano de obra de calidad					
Comprobación del progreso del diseño en el cumplimiento de los requisitos					
Evaluar contratistas y proveedores					
Costo de Conformidad: Evaluación					
Laboratorio					
Labores de control de calidad					
Evaluación de la organización externa					
Evaluación de productos y procesos					
Herramientas de medición					
Costo de No Conformidad: Fallas internas					

Rediseño	
Reelaboraciones	
Reevaluación por reelaboración	
Coste de los residuos generados por retrabajo	
Costo de No Conformidad: Fallas externas	
Quejas y reclamaciones	
Penalizaciones por mala calidad	
Gastos de reparación durante el período de garantía	
Diseño e implementación de un sistema motivacional	
Desarrollo y precisión de instrumentos de control y medida	
Revisar contratos y documentos	
	Total Costo de Conformidad
	Total Costo de No Conformidad
	Total Costo de Calidad CoQ

4.3.2.2. *Recolectar información sobre el costo de las actividades clasificadas relacionadas con la calidad*

Este apartado hace referencia al análisis a partir de los datos recolectados en la etapa anterior, que como se indicó en el apartado 4.2.3. Recopilación de datos, consiste en la elaboración de las diferentes graficas que permitan comprender el comportamiento de los costos. Es conveniente aclarar que la cantidad, tipo y estructura de las gráficas dependerá del análisis o los aspectos que se deseen destacar, además de las condiciones del proyecto.

Adicionalmente, según lo consultado en la literatura se puede argumentar que: el grupo de actividades relacionado con la calidad más común es el grupo de evaluación. Este hallazgo indica que las actividades de inspección y prueba para identificar las no conformidades son más importantes para los contratistas de viviendas masivas que su prevención, especialmente durante el período de construcción. Asimismo, el grupo de fallas internas de actividades es más común que el grupo de fallas externas debido al corto período de garantía en los proyectos de construcción.

Nivel de conformidad con la calidad

La eliminación completa de fallas en un proyecto, como solución ideal, puede no ser rentable. En este caso ideal, mientras que el costo de la falla (es decir, la no conformidad) se acerca a cero, los costos de conformidad de la evaluación y la prevención se acercan al infinito. En este sentido, con base en el modelo P-A-F, se puede establecer una gestión de la calidad del proyecto entre dos límites, que incluyen (1) el enfoque del nivel máximo de conformidad con la calidad y (2) el enfoque del nivel mínimo de conformidad con la calidad.

Costo de Elementos de Calidad

Los valores de referencia para cada valor de cada elemento COQ es el siguiente:

- Costos de prevención: en más del 80% de los casos, estos costos son menos del 5% del costo total del proyecto. Se evalúan como 0-5% del costo total del proyecto con una media de 3,2%.
- Costos de evaluación: en más del 90% de los casos, estos costos son menos del 10% del costo total del proyecto. Se evalúan como 2-10% del costo total del proyecto con una media de 5,3%.
- Costos de fallas internas: en más del 80% de los casos, estos costos son menos del 10% del costo total del proyecto. Se evalúan como 2-10% del costo total del proyecto con una media de 6,2%.

- Costos de fallas externas: en más del 80% de los casos, estos costos son menos del 5% del costo total del proyecto. Se evalúan como 0-5% del costo total del proyecto con una media de 3,1%.

COQ total

El COQ total es la suma de los costos de prevención, evaluación, falla interna y falla externa. El COQ total cubre una amplia gama de valores porcentuales, generalmente entre 2,3–12,4 %, para los diferentes tipos de proyectos de construcción.

4.3.2.3. Analizar los datos de COQ y desarrollar el modelo para evaluar el COQ y su punto óptimo

Como primera etapa del estudio del COQ óptimo, se deben trazar las curvas de costo de conformidad, costo de no conformidad y costo de calidad total utilizando los datos compilados. Para este propósito, se desarrolló un enfoque de seis pasos:

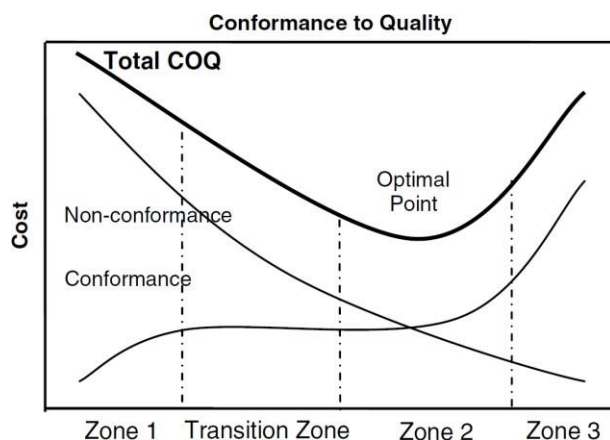
1. Cada proyecto de la misma empresa debe considerarse por separado. Por lo tanto, si hubiera más de un proyecto de una empresa, el promedio de los resultados se consideraría como datos del proyecto;
2. La suma de los costos de prevención y evaluación, así como la suma de los costos de fallas internas y externas, se calcula por separado para cada proyecto como costo de conformidad y no conformidad, respectivamente;

3. El COQ total se calcula sumando los costos de conformidad y no conformidad para cada proyecto;
4. Los valores de los costos de no conformidad de los proyectos se organizan en orden descendente;
5. El nivel más alto de conformidad con la calidad, como valor máximo de x , se asigna al valor mínimo de costos de incumplimiento, y el nivel más bajo de conformidad con la calidad, como valor mínimo de x , se asigna al valor máximo de costo de incumplimiento; y
6. Los valores de costos de conformidad, costos de no conformidad y el COQ total representan tres líneas de tendencia polinómica.

Según Kazaz et al. (2005), se utiliza una línea de tendencia polinómica de segundo orden para la curva de mejor ajuste. El modelo desarrollado de optimización de COQ para cumplir con las condiciones de construcción consta de cuatro zonas de calidad como se aprecia en la figura 24.

Figura 24.

Conformidad de la calidad



- Zona 1: En esta zona, los costos de falla son altos y los costos de prevención son bajos.

Una organización que tiene un sistema de gestión de calidad deficiente puede estar ubicada en esta zona, donde la cantidad de defectos es alta y el COQ está en los niveles máximos;

• Zona de transición: En esta zona, el costo de conformidad es constante; sin embargo, el costo de la no conformidad es variable. Una organización que intente mejorar su sistema de calidad puede ubicarse en esta zona, donde la cantidad de costos de evaluación y prevención son aproximadamente constantes, pero la cantidad de fallas puede reducirse considerablemente. Este no es el caso en el modelo clásico. Según Davis et al. (1989), la gestión de la calidad de la fabricación, como base del modelo clásico, normalmente implica productos de la línea de montaje después de que el proceso de montaje ha sido diseñado, construido y optimizado.

Sin embargo, como base para el modelo desarrollado, la gestión de la calidad de la construcción normalmente involucra un proyecto único con muchos cambios y reelaboraciones durante los procesos de diseño y construcción. Según Hwang et al. (2009), para aquellos proyectos en los que el costo tiende a verse más afectado por la repetición del trabajo, los gerentes de proyecto deben centrarse en minimizar la repetición del trabajo mediante el desarrollo de sistemas para abordar las fuentes de la repetición del trabajo. Por lo tanto, cuando una organización establece el sistema de gestión de la calidad invirtiendo en los esfuerzos preventivos y de evaluación, este sistema recién establecido se puede mejorar centrándose en las fuentes de reprocesos sin una financiación adicional considerable. Obviamente, esta mejora

provoca una disminución de los costos de falla sin mayores costos de prevención o evaluación y crea la "zona de transición";

- Zona 2: Esta zona es el área adyacente del COQ óptimo. Una organización que ha hecho un balance entre los intentos de calidad y sus costos puede ubicarse en esta zona, donde los defectos de calidad están en un nivel razonable pero el COQ está en el nivel mínimo; y

- Zona 3: En esta zona, los costos de falla son bajos y los costos de evaluación son altos. Según Yasin et al. (1999), solo se puede lograr un aumento en el nivel de conformidad a través de acciones de evaluación costosas, en las que los costos de falla están en un nivel aceptable y las medidas preventivas para mejorar la calidad no son factibles o no están disponibles. Una organización que tiene un sólido sistema de gestión de la calidad pero que no tiene en cuenta los costos de la calidad puede ubicarse en esta zona, donde la cantidad de defectos es baja pero el COQ sigue siendo alto.

4.3.2.4. Aplicación del modelo y estimación del ahorro de costos potencial

Una vez definida la ecuación de la calidad en el paso anterior, el valor mínimo de la curva COQ se determina de acuerdo con la siguiente ecuación de derivada parcial:

$$\frac{\partial COQ}{\partial x} = 0$$

El resultado se reemplaza en la ecuación inicial del COQ total y como resultado se obtiene el valor mínimo (u óptimo) de la curva COQ que los gerentes esperan alcanzar, en el que los costos de prevención y evaluación se equilibran con los costos de fallas.

Evaluación de posibles ahorros de costos

Abdelsalam y Gad (2009), afirman que aunque el compromiso del modelo de optimización de COQ proporciona al gerente un marco en la búsqueda de un nivel óptimo, tiene ciertas limitaciones ya que el modelo no incluye los costos ocultos asociados con un desempeño deficiente. calidad, es decir, pérdida de ventas futuras y pérdida de buena voluntad del cliente.

Conclusiones

Se logró desarrollar un análisis detallado del modelo PAF para estudiar el CoQ para los proyectos de construcción de edificaciones verticales. El trabajo incluyó el análisis de un proyecto que consto de dos torres residenciales en la ciudad de Cúcuta. Sobre la cual se llevó a cabo un análisis junto con la gerencia de la empresa para la determinación de los costos totales de calidad.

El caso de estudio analizado en este proyecto consistió en la construcción de 2 torres residenciales de 15 pisos, con un presupuesto total de alrededor de \$2.107 millones. Se observó que en las fases de superestructura y acabados se presentó el mayor costo preventivo, mientras que los mayores costos de evaluación ocurren en la fase de superestructura. Por otro lado, los costos de falla fueron más altos en los acabados y las fases de cierre.

En términos generales, si bien todas las personas en la industria de la construcción conocen la regla que establece que es mejor hacer las cosas bien desde la primera vez, no saben cuánto "mejor" es. Esta investigación concluyó para el proyecto analizado el promedio de fallas fue de 2,7% del costo total del proyecto. Es decir, el contratista debe ser consciente que una fracción del costo total del proyecto se perderá por no hacer las cosas bien desde la primera vez. Por lo tanto, deben tratar de minimizar los defectos y reelaboraciones en sus proyectos. Sin embargo, en su intento de hacerlo, deben considerar el valor óptimo para el costo de la calidad.

Finalmente, con la metodología desarrollada se establecieron 4 pilares fundamentales en el cálculo del costo de la calidad, fundamentados en investigaciones previas sobre el modelo PAF, estos consisten en: Identificar y clasificar las actividades más importantes relacionadas con la calidad en los proyectos de construcción sobre la base del modelo P-A-F a través de la revisión de la literatura y el estudio de encuestas. Recolectar el costo de las actividades clasificadas relacionadas con la calidad a través de un estudio de encuesta. Analizar los datos de COQ y desarrollar el modelo para evaluar el COQ y su punto óptimo para proyectos de construcción de acuerdo con los datos recopilados y Estimar el ahorro de costos potencial como resultado de la gestión de la calidad del plan para alcanzar el nivel óptimo de COQ. Sin embargo, los aspectos relacionados con el cálculo del punto óptimo y el ahorro potencial se abordaron en forma parcial y solo como aspecto teórico dado que no corresponden al alcance de la investigación planteada.

Referencias

- Abdul-Samad, Z., & Kulandaisamy, P. P. (2022). Cost Management for Information and Communication Technology Projects. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 12(2), 166–178. <https://doi.org/10.32738/JEPPM-2022-0015>
- Adamtey, S. A. (2019). Development of quality index for design-build transportation projects. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 14(2), 147–154. <https://doi.org/10.1080/17509653.2018.1528570>
- Beste, T., & Klakegg, O. J. (2022). Strategic change towards cost-efficient public construction projects. *International Journal of Project Management*, 40(4), 372–384. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2022.04.006>
- Chaterine, & Simanjuntak, M. R. A. (2020). Analysis of schedule project management's indicators and cost project management's indicators in interior construction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1007(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1007/1/012083>
- Chepachenko, N. v, Leontiev, A. A., Uraev, G. A., & Polovnikova, N. A. (2020). Features of the factor models for the corporate cost management purposes in construction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 913(4). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/913/4/042075>
- Chidiebere, E. E., & Ebhohimen, I. J. (2018). Impact of rework on building project and organisation performance: a view of construction professionals in Nigeria. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 9(1), 29–43. <https://doi.org/10.30880/ijscet.2018.09.01.003>

- Díaz Bateca, D. C., & Rolón Cárdenas, O. P. (2020). El Lean Construcción como estrategia de mejora continua en empresas dedicadas a la construcción de infraestructura vial en la ciudad de Cúcuta. *Interfaces*, 3(1).
- Fajar Sitohang, Y., Pratami, D., & Fuad Bay, A. (2020). Competency evaluation of project manager performance in network construction projects. *2020 5th International Conference on Informatics and Computing, ICIC 2020*.
<https://doi.org/10.1109/ICIC50835.2020.9288580>
- FERRER LAVADO, W. W. (2018). *Planeamiento y control de los costos de la calidad en la construcción de una edificación multifamiliar, en el distrito de la Molina - Lima* [Trabajo de Pregrado]. Universidad César Vallejo .
- Genova, A. N. (2022). Cost Assignment at Production Enterprises. *Russian Engineering Research*, 42(4), 426–429. <https://doi.org/10.3103/S1068798X22040074>
- Gu, Y. (2021). The application of BIM technology in construction project management. *ACM International Conference Proceeding Series*. <https://doi.org/10.1145/3465631.3465821>
- Han, L. (2021). Optimization and Control Algorithm of Construction Engineering Quality Cost Based on Data Mining Model. *ACM International Conference Proceeding Series*, 855–859. <https://doi.org/10.1145/3510858.3511407>
- Jiao, J., Du, Y., Yang, J., Tian, Y., Hu, L., & Wang, Q. (2019). Cost Management Evaluation of Power Grid Engineering: A Life Cycle Theory. *2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Asia, ISGT 2019*, 2499–2504. <https://doi.org/10.1109/ISGT-Asia.2019.8880881>

- Johari, G. J., Walujodjati, E., Mulyana, S., & Permana, S. (2019). Factors affecting competitiveness small contractors in construction industry. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(2). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/2/022011>
- Keshk, A. M., Maarouf, I., & Annany, Y. (2018). Special studies in management of construction project risks, risk concept, plan building, risk quantitative and qualitative analysis, risk response strategies. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 3179–3187. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.12.003>
- Kharisov, I., Artamonova, I., Bilenko, P., & Sborshikov, S. (2020). Mechanisms for optimizing procurement activities in construction based on cost management of contract works. *E3S Web of Conferences*, 217. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021711011>
- Khatatbeh, A. A. (2022). Quantifying the impact of ISO 9001 standard on the project and engineering management and success factors; A case of construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*. <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2021-0656>
- Le, C., Jeong, H. D., Damnjanovic, I., & Bukkapatnam, S. (2022). Pareto Principle in Scoping-Phase Cost Estimating: A Multiobjective Optimization Approach for Selecting and Applying Optimal Major Work Items. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(8). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002349](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002349)
- Lew, Y.-L., Lai, S.-Y., Toh, T.-C., Tan, O.-K., Felicia, Y.-Y.-Y., & Yow, L.-P. (2020). Quality Performance of Multi-layered Subcontracting Practices in Malaysian Construction Industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 498(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/498/1/012092>

- Li, Z. (2020). Engineering Cost Information Management in Big Data Era. *Journal of Physics: Conference Series*, 1533(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1533/4/042072>
- Lou, A. K. B., Parvishi, A., & Javidi, E. (2016). Cost management in construction projects with the approach of cost-time balancing. *IIOAB Journal*, 7, 157–164.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84997194442&partnerID=40&md5=698bcd592acf52046c4d782c11f19587>
- Manlian Ronald, A. S., & Lumbantoruan, H. (2019). Analysis of Project Cost Management Indicators at Residential Buildings (Case Study: Building Construction Project in Rusun Penggilingan Jakarta). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 508(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/508/1/012044>
- Manoj, P. K. (2017). Cost management in the construction of affordable housing units in kerala: A case study of the relevance of earned value analysis (EVA) approach. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(10), 111–129.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85037724424&partnerID=40&md5=fa505b4f9f41ec5b648582e8003708b8>
- Mohsen Alawag, A., Salah Alaloul, W., Liew, M. S., Ali Musarat, M., Baarimah, A. O., Saad, S., & Ammad, S. (2022). Total quality management in industrialised building system: Implementation and benefits in construction projects. *Ain Shams Engineering Journal*.
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101877>
- Osobajo, O. A., Oke, A., Omotayo, T., & Obi, L. I. (2022). A systematic review of circular economy research in the construction industry. *Smart and Sustainable Built Environment*, 11(1), 39–64. <https://doi.org/10.1108/SASBE-04-2020-0034>

- Power, W., Sinnott, D., & Lynch, P. (2021). Evaluating the efficacy of a dedicated last planner® system facilitator to enhance construction productivity. *Construction Economics and Building*, 21(3), 142–158. <https://doi.org/10.5130/AJCEB.V21I3.7640>
- Ren, M.-M., Ling, N., Wei, X., & Fan, S.-H. (2017). The application of PDCA cycle management in project management. *2015 International Conference on Computer Science and Applications, CSA 2015*, 268–272. <https://doi.org/10.1109/CSA.2015.84>
- Rosli, M. F., Muhammad Tamyez, P. F., & Zahari, A. R. (2020). The effects of suitability and acceptability of lean principles in the flow of waste management on construction project performance. *International Journal of Construction Management*. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1853006>
- Roy, B. C., Guha, T., & Ekambaram, R. (2020). Quality assurance and quality control to ensure durability. *IABSE Congress, Christchurch 2020: Resilient Technologies for Sustainable Infrastructure - Proceedings*, 960–967. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85104696070&partnerID=40&md5=ec569d7e692981cb83631f4e2adaa2be>
- Rudeli, N., Viles, E., González, J., & Santilli, A. (2018). Causas de Retrasos en Proyectos de Construcción: Un análisis cualitativo. *Memoria Investigaciones En Ingeniería*, 1(16).
- Smith, J., Jaggar, S., Love, P., & Olatunji, O. A. (2016). Building cost planning for the design team: Third edition. In *Building Cost Planning for the Design Team: Third Edition*. <https://doi.org/10.4324/9781315695129>
- Thing Leo, G., Mebarki, A., Claude, F., Gobin, C., & el Meouche, R. (2021). On the quality of buildings and construction projects: Metrics and process dynamics. *Journal of*

Information Technology in Construction, 26, 174–192.

<https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.011>

Vigneault, M.-A., Botton, C., Chong, H.-Y., & Cooper-Cooke, B. (2020). An Innovative Framework of 5D BIM Solutions for Construction Cost Management: A Systematic Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 27(4), 1013–1030.
<https://doi.org/10.1007/s11831-019-09341-z>

Wan, K. (2018). Research on the impact of new green building materials on project cost management. *Paper Asia, COMPENDIUM VOL. 1*(4), 153–155.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85055447294&partnerID=40&md5=7cfb1b951e8f35763870d78393a3b5fa>

Whyte, A. (2014). Integrated design and cost management for civil engineers. In *Integrated Design and Cost Management for Civil Engineers*.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85035333898&partnerID=40&md5=71614832852830467dfc4a5e1b4a738b>

Wu, W., & Loza, R. (2020). Exploring the Cost Benefit of Building Information Modeling Implementation in Metal Stud Framing A Central Valley Specialty Contractor's Perspective. *Construction Research Congress 2020: Project Management and Controls, Materials, and Contracts - Selected Papers from the Construction Research Congress 2020*, 823–831. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85096779494&partnerID=40&md5=82f344b310c7378bef868f07623c25e5>

Yao, Y., & Hu, Q. (2021). Research on the new era of construction management mode of using the Internet of Things and big data. *Proceedings - 2021 2nd International Seminar on*

- Artificial Intelligence, Networking and Information Technology, AINIT 2021*, 683–686.
<https://doi.org/10.1109/AINIT54228.2021.00138>
- Yap, J. B. H., Low, P. L., & Wang, C. (2017). Rework in Malaysian building construction: impacts, causes and potential solutions. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 15(5), 591–618. <https://doi.org/10.1108/JEDT-01-2017-0002>
- Ye, X. (2011). The cost risk management and control of construction project. *Proceedings of the 16th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate, CRIOCM 2011*, 287–292. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84928717404&partnerID=40&md5=7aa9d759a901d39b053b9a3e87853dbc>
- You, H. (2017). Optimization of cost management for building construction based on large data analysis. *Boletin Tecnico/Technical Bulletin*, 55(6), 88–94.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85028874502&partnerID=40&md5=6ae7f3713d62d15067a408ca5f294858>
- Zhang, J. (2021). Research on the concept and application of highway cost control and management in the whole process. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 12050. <https://doi.org/10.1117/12.2615473>