RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Alid Johen Linero Gonzáles
FACULTAD	Facultad de ingeniería
PLAN DE ESTUDIOS	Maestría en Construcción
DIRECTOR	Mgstr. Pedro Nel Angarita Uscategui
TÍTULO DE LA TESIS	Desarrollo de una metodología de aseguramiento de la calidad basada en el análisis de factores críticos que afectan el desempeño en proyectos de construcción.
TITULO EN INGLES	Development of a quality assurance methodology based on the analysis of critical factors that affect performance in construction projects.

RESUMEN
(70 palabras)

La calidad en proyectos de construcción constituye un elemento clave que permite de modo directo medir el nivel de éxito de los mismos y, por tanto, la satisfacción del cliente. Históricamente, profesionales en el área han proporcionado distintas definiciones sobre la calidad, éstas inclusive van desde la aprobación de las expectativas del cliente hasta cumplir con las especificaciones ya establecidas.

RESUMEN EN INGLES

Quality in construction projects is a key element that directly measures their success and, therefore, client satisfaction. Historically, professionals in the field have provided various definitions of quality, ranging from meeting client expectations to meeting established specifications.

PALABRAS CLAVES	Desarrollo, metodología, aseguramiento, construcción.
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Development, methodology, assurance, construction.

CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 136	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:

Desarrollo de una metodología de aseguramiento de la calidad basada en el análisis de factores críticos que afectan el desempeño en proyectos de construcción

Alid Johen Linero Gonzáles

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Maestría en Construcción

Mgstr. Pedro Nel Angarita Uscategui

Agosto, 2025

Contenido

Capítulo 1. Análisis de los factores críticos que afectan el desempeño de la calidad en proyectos de construcción 8

1.1. Planteamiento del Problema 8

1.2. Formulación del Problema 10

1.3. Objetivos de Investigación 10

1.3.1. Objetivo General 10

1.3.2. Objetivo Especifico 10

1.4. Justificación 11

1.5. Delimitaciones 12

1.5.1. Delimitación Geográfica 12

1.5.2. Delimitación Temporal 13

1.5.3. Delimitación Conceptual 13

1.5.4. Delimitación Operativa 14

Capítulo 2. Marco Referencial 15

2.1. Marco Histórico 15

2.1.1. Antecedentes 15

2.2. Marco Contextual 16

2.3. Marco Conceptual 19

2.3.1. Gestión de la calidad 20

2.3.2. Building Information Modeling (BIM) 22

2.3.3. Risk Management 24

2.3.4. Métricas de calidad 27

2.3.5. Principios de calidad 31

2.4. Marco Teórico 34

2.5. Marco Legal 46

2.5.1. Contexto internacional 46

2.5.2. Contexto nacional 50

Capítulo 3. Diseño Metodológico 54

3.1. Tipo de investigación 54

3.2. Seguimiento metodológico del proyecto 55

3.3. Población 56

3.4. Muestra 57

3.5. Técnicas de recolección y análisis de la información 57

Capitulo 4. Resultados 59

4.1. Analizar las características organizacionales de las empresas seleccionadas del sector de la construcción en Ocaña, Norte de Santander, identificando tipos de proyectos desarrollados y las políticas de calidad implementadas, con el propósito de establecer una línea del sistema de calidad implementado por las empresas. 59

4.1.1. Datos del sector entre 2023 y 2024 60

4.1.2. Encuestas dirigidas a empresas del sector 61

4.1.3. Análisis de las empresas seleccionadas 70

4.1.4. Línea base en términos de calidad 79

4.2. Determinar los factores críticos que impactan el desempeño de la calidad en proyectos de construcción mediante un análisis comparativo entre los datos reportados en la literatura y los observados en la ejecución de los proyectos de las empresas seleccionadas a fin de establecer aquellos factores que deben ser considerados en el desarrollo de la metodología de aseguramiento de la calidad. 81

4.2.1. Revisión de la Literatura sobre Gestión de Calidad en Proyectos de Construcción 81

4.2.2. Recopilación de Datos de las Empresas Seleccionadas 86

4.2.3. Comparación entre la Literatura y los Proyectos Ejecutados 90

4.2.4. Identificación de Factores Críticos en el Desempeño de la Calidad 90

4.3. Elaborar una guía práctica de la metodología propuesta para el aseguramiento de la calidad para proyectos de construcción, integrando tecnologías innovadoras, buenas prácticas de gestión, y estrategias efectivas que respondan a los factores críticos identificados, y que contribuyan a mejorar la eficiencia y efectividad en la ejecución de los proyectos. 100

4.3.1. Planificación y Definición de Estándares 100

4.3.2. Implementación de Tecnologías Innovadoras 114

4.3.3. Estrategias de Gestión de Calidad 122

4.3.4. Factores Críticos en el Aseguramiento de la Calidad 122

4.3.5. Medición y mejora continua..... 125

5. Conclusiones..... 127

Referencias..... 129

Lista De Tablas

Tabla 1 Modelo Metodológico..... 55

Tabla 2. Factores críticos identificados 85

Tabla 3. Formato de encuesta para evaluación de los factores críticos en las empresas 87

Tabla 4. Resultados de la encuesta 89

Tabla 5. Factores críticos mitigados según los requisitos claves de cada normativa 103

Tabla 6. Indicadores de desempeño KPI en la gestión de la calidad 105

Tabla 7. Indicadores de desempeño KPI en la gestión de la seguridad 105

Tabla 8. Indicadores de desempeño KPI en la gestión de la eficiencia 106

Tabla 9. Matriz de Puntos críticos 108

Tabla 10. Formato modelo para plan de inspección y ensayo PIE 110

Tabla 11. Formato modelo para auditoría interna de calidad 111

Tabla 12. Factores críticos mitigados según la implementación de tecnologías 121

Tabla 13. Estrategias de la gestión de calidad y los factores críticos que mitiga. 124

Tabla 14. Ejemplo de No conformidades y su tratamiento correctivo 126

Lista de Figuras

Figura 1. Tipo de organización 63

Figura 2. Estructura organizativa 64

Figura 3. Áreas principales dentro de las empresas 65

Figura 4. Tipos de proyectos en las empresas 66

Figura 5. Certificaciones de calidad. 67

Figura 6. Metodologías aplicadas. 68

Figura 7. Estrategias de sostenibilidad implementadas 69

Figura 8. Atención postventa 70

Capítulo 1. Análisis de los factores críticos que afectan el desempeño de la calidad en proyectos de construcción

1.1. Planteamiento del Problema

La calidad en proyectos de construcción constituye un elemento clave que permite de modo directo medir el nivel de éxito de los mismos y, por tanto, la satisfacción del cliente (Mohsen Alawag et al., 2022). Históricamente, profesionales en el área han proporcionado distintas definiciones sobre la calidad, éstas inclusive van desde la aprobación de las expectativas del cliente hasta cumplir con las especificaciones ya establecidas (Chidiebere & Ebhohimen, 2018). Esto puede ser un problema en la medida que implantar estos conceptos de calidad a la construcción seria complicado debido a las características de la industria de la construcción.

La gestión de proyectos de construcción en el marco del llamado "triángulo de hierro", debe dar cumplimiento a los plazos, a los precios y la calidad (Rudeli et al., 2018). En este sentido, muchas veces el punto de atención va a estar trasladado hacia el cumplimiento de los plazos y de los precios fijados, lo que puede dar como resultado omitir en cierta medida la calidad del proyecto, lo cual puede resultar ser grave y afrontar consecuencias tales como costos adicionales retrasos en el proyecto y daño en la percepción de las constructoras y perdida de la credibilidad (Prameswari et al., 2021).

Aunque se va percibiendo cada vez más la importancia de la calidad en la construcción, todavía hay problemas generalizados como lo plantena Chaterine & Simanjuntak, 2020; Zhang, 2021, a través de investigaciones recientes informan situaciones de un número elevado de edificios de reciente construcción con deficiencias o defectos, llevando esto a situaciones de tener que gastar más dinero o de tener que esperar aún más en los correspondientes proyectos (Yap et al., 2017). Y hay que tener en cuenta que la falta de atención en cuanto a la calidad puede también ser un problema, el problema puede incluir repercusiones económicas grandes, que sitúan los costos anuales de correcciones de mala calidad en la industria de la construcción en miles de millones de dólares (Ren et al., 2017).

En este ámbito, se da la necesidad de determinar y de identificar los factores que afectan la calidad en proyectos de construcción. Se ha investigado el tema, pero no hay un consenso claro respecto a cuáles son los factores más importantes y qué priorización tienen (Abbasnejad, 2013; Beste & Klakegg, 2022). Hay que mencionar, además, que, en el marco de la construcción industrializada, como el sistema de construcción industrializada (IBS en inglés), se producen efectos complejos que tienen que ver con su implementación efectiva, sobre todo en países en desarrollo como Colombia.

La investigación establece una respuesta a esos vacíos al determinar y priorizar los factores críticos que afectan la calidad en proyectos de construcción, dedicando especial atención a casos de éxito de empresas que han tenido éxito en la aplicación de nuevas tecnologías, procesos o sistemas constructivos innovadores. Comprender estos elementos favorece el avance

hacia la mejora de la calidad del sistema de construcción, facilitando un desarrollo en la industria más eficiente y sustentable.

1.2.Formulación del Problema

¿Cuáles son los factores que inciden críticamente en el rendimiento de la calidad en el sistema de construcción y cómo debe realizarse la priorización para llegar a estrategias que faciliten la mejora de la calidad en la obra, en particular en el marco de la implementación de nuevas tecnologías y sistemas constructivos innovadores?

1.3.Objetivos de Investigación

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar una metodología integral de aseguramiento de la calidad en proyectos de construcción, basada en el análisis de factores críticos que afectan el desempeño de la calidad, mediante el análisis de desempeño de empresas del sector para plantear estrategias que logren mejorar la eficiencia y efectividad en la ejecución de proyectos constructivos en Ocaña Norte de Santander.

1.3.2. Objetivo Especifico

Analizar las características organizacionales de las empresas seleccionadas del sector de la construcción en Ocaña, Norte de Santander, identificando tipos de proyectos desarrollados y las políticas de calidad implementadas, con el propósito de establecer una línea del sistema de calidad implementado por las empresas.

Determinar los factores críticos que impactan el desempeño de la calidad en proyectos de construcción mediante un análisis comparativo entre los datos reportados en la literatura y los observados en la ejecución de los proyectos de las empresas seleccionadas a fin de establecer aquellos factores que deben ser considerados en el desarrollo de la metodología de aseguramiento de la calidad.

Elaborar una guía práctica de la metodología propuesta para el aseguramiento de la calidad para proyectos de construcción, integrando tecnologías innovadoras, buenas prácticas de gestión, y estrategias efectivas que respondan a los factores críticos identificados, y que contribuyan a mejorar la eficiencia y efectividad en la ejecución de los proyectos.

1.4.Justificación

La calidad en los proyectos de construcción es un aspecto fundamental que señala el éxito del propio proyecto y que determina la satisfacción del cliente. A pesar de los avances en técnicas y tecnologías como la introducción de BIM (Modelado de Información de Construcción)

y GIS (Sistemas de Información Geográfica) para la gestión del control de calidad, de la utilización de robots para la realización de la inspección del edificio construido o de la implementación de modelos automatizados de monitorización, continúan existiendo problemas relevantes que perjudican la ejecución y los resultados de estos.

Diversos estudios han ido identificando un conjunto de factores que determinan el éxito o el fracaso de controlar la calidad y han ido desarrollando herramientas novedosas para mejorar la gestión de la calidad (Chaterine & Simanjuntak, 2020; Zhang, 2021), pero la información revisada indica que existe falta de consenso en la priorización de los factores críticos, lo que conduce a la desconexión entre los mismos, a la falta de claridad, etc., en la consideración de los determinantes (Abbasnejad, 2013; Beste & Klakegg, 2022)..

En este sentido, se debe realizar una investigación que no sólo funcione como identificadora y clasificadora de los factores críticos, sino que también mediante la posterior implementación de mecanismos y estrategias se pueda llegar a una adecuada gestión de los factores críticos, y finalmente a una metodología de aseguramiento de la calidad en proyectos de construcción. Esta metodología incluirá herramientas y recomendaciones aplicables, lo que es un gran paso hacia la mejora de la eficiencia y efectividad en la ejecución de los proyectos.

1.5.Delimitaciones

1.5.1. Delimitación Geográfica

El alcance de la investigación se desarrolla en su mayoría en el ámbito de los países en vía de desarrollo, teniendo una especial atención en el caso colombiano, razón por la cual se

considera las regulaciones, políticas y peculiaridades del caso colombiano con el objeto de ofrecer recomendaciones y estrategias de adecuación del contexto. Aunque puede haber extrapolación de algunos hallazgos y recomendaciones para otros países en vía de desarrollo, se centra en la aplicabilidad de las recomendaciones en el caso colombiano.

1.5.2. Delimitación Temporal

El proyecto se basa en la información y datos que están disponibles hasta diciembre de 2023. Se consideran las tendencias, práctica y tecnologías que se han ido sucediendo hasta el momento de la recopilación de la información para su respectiva formulación y seguir así obteniendo las conclusiones y recomendaciones en el contexto actual de la construcción de viviendas autosostenibles en el país colombiano.

1.5.3. Delimitación Conceptual

La investigación se encuentra centrada especialmente en la gestión de la calidad en proyectos de construcción, priorizando la identificación de los factores críticos respecto a su aseguramiento además de integrar las nuevas tecnologías, las técnicas y buenas prácticas para su control. Igualmente se aprecia la forma en como estas herramientas y enfoques pueden influir en la mejora respecto a la eficiencia y sostenibilidad de los proyectos de construcción, como también en asegurar la satisfacción del cliente o bien el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos.

1.5.4. Delimitación Operativa

En el marco operativo, este proyecto se centra en recoger, clasificar y analizar los datos procedentes de la información que se obtiene a partir de fuentes bibliográficas y documentales que pueden encontrarse en bibliotecas, bases de datos de especialidad e información que se obtiene en línea.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1.Marco Histórico

2.1.1. Antecedentes

La investigación, la gestión y la calidad en la construcción han evolucionado significativamente a lo largo de los años debido al desarrollo de la tecnología (Rashed & Othman, 2015; Walker & Keniger, 2002). Las nuevas metodologías, como el uso de drones para las inspecciones visuales, la posibilidad de realizar las inspecciones en tiempo real a través de los sensores IoT aplicados al contexto de la construcción o de aplicar el análisis de datos con inteligencia artificial, han conseguido proporcionar un mayor grado de eficacia, precisión y relevancia en la detección de problemas de calidad. Nuevas investigaciones muestran que los métodos que utilizan tecnologías avanzadas no solo proporcionan una mejor efectividad para la detección de defectos, sino que también se convierten en metodologías que optimizan los procesos de la construcción y reducen los costes a lo largo del tiempo (Nain et al., 2021; Park et al., 2017).

El aumento de la atención a la sostenibilidad en la construcción también afecta a la gestión de la calidad (Anbari Moghadam et al., 2024). La integración de otros criterios asociados a las técnicas de construcción sostenible y a los materiales ecológicos han hecho que los estándares de calidad sean revisados y que dejen de buscar sólo durabilidad y eficiencia para buscar, también, el menor impacto ambiental. Este tipo de enfoque global hace que los diversos

proyectos constructivos no solo conquisten requisitos técnicos, sino que también ofrezcan objetivos de mayor amplitud, como son la sostenibilidad o la responsabilidad social (Abbasnejad, 2013; Vigneault et al., 2020).

La calidad en la construcción ha llegado a superar los límites de las viejas técnicas tradicionales hasta realizar innovaciones tecnológicas en la construcción, considerando factores económicos y medioambientales. Esta evolución también se encuentra relacionada con un enfoque integral que conlleva el equilibrio entre la eficiencia, la sostenibilidad y la normativa normativa/adaptación a las exigencias del sector de la construcción.

Estudios previos sobre la calidad en la construcción abordan diversos temas. Estos incluyen factores que influyen en la calidad de los proyectos de construcción, herramientas y métodos innovadores para la inspección de obras, modelos automatizados de monitoreo de calidad en la construcción, integración de modelos de información de construcción (BIM) y sistemas de información geográfica (GIS) para el control de calidad, implementación de robots para la inspección de calidad, y exploración de los costos de calidad en la construcción (Chen et al., 2017; Kim, 2019; Kim & Park, 2018).

2.2.Marco Contextual

El sector constructor en Colombia representa uno de los ejes arteriales de la economía del país, puesto que al Producto Interno Bruto (PIB) le confiere un alto porcentaje y, debido a tal

razón, produce miles de empleos. No obstante, sí bien es cierto que influye en la economía nacional, esta industria ha evidenciado problemas permanentes relacionados con la gestión de la calidad de los proyectos de construcción. La no aplicación de principios adecuados de calidad ha dejado como resultado numerosos fracasos en diversos proyectos, con perturbações en los flujos económicos, problemas de tipo jurídico y, incluso, algunas tragedias.

La gestión de la calidad de la construcción es un conjunto de prácticas y principios que aseguran que los proyectos de construcción cumplan con las expectativas del cliente y los estándares requeridos. Esta afirmación abarca la planificación y ejecución de los proyectos, la utilización de materiales de calidad, el uso de técnicas constructoras adecuadas y la supervisión del progreso del proyecto (Davies, 2003; Langella et al., 2021). En la experiencia colombiana, la calidad de construcción se vuelve esencial no tanto solo para satisfacer al cliente, sino que, adicionalmente, lo es también para la seguridad y durabilidad de la obra de infraestructura.

Uno de los casos más sonados que se conoce en Colombia ha sido el colapso del Edificio Space en Medellín (2013) que ocasionó 12 muertes. El Edificio Space era un conjunto residencial de lujo de alta calidad y confort. A pesar de ello y al investigar el derrumbe del edificio se dieron a conocer fallos graves en la estructura y deficiencias en la calidad de los materiales empleados. La investigación hecha por expertos estableció que había errores en el diseño del edificio y su estructura y que la supervisión durante la ejecución de la obra no era la adecuada. Esta tragedia no solo hizo víctimas fatales, sino que ha generado una crisis de confianza en la industria de la construcción de Medellín y el país, advirtiendo el grado crítico de la falta de controles de la calidad y supervisión.

La mala calidad, que se expresa en grietas en las paredes, problemas de cimentaciones o terminaciones defectuosas, ha sido un problema frecuente relacionado con los proyectos de construcción de vivienda de interés social en varias regiones del país. Los beneficiarios de estos proyectos, que en su mayoría son familias de escasos recursos, han mostrado su descontento y han tenido que costear las reparaciones, perjudicando su calidad de vida. En los proyectos de vivienda de interés social, VIS, en Bogotá y Cartagena, se dieron a conocer innumerables casos con problemas estructurales que aparecieron poco después de que los residentes se mudaran. Los problemas ocasionan no sólo la inseguridad de las familias, sino que a su vez utilizan ineficazmente los recursos del país diseñados para mejorar la calidad de vida de la población vulnerable.

El colapso del puente Chirajara en 2018 en la vía Bogotá-Villavicencio con la muerte de nueve trabajadores fue parte de un gran proyecto de infraestructura que se construyó con el fin de mejorar la conectividad entre Bogotá y la región oriental. Las investigaciones adquirieron una relevancia significativa, haciéndose eco de los errores de diseño y ejecución, volviendo a reafirmar la necesidad de ajustarse a implicaciones sustanciales en los estándares de calidad y en los procedimientos de control. El puente se encontraba casi a su final cuando se vino abajo, provocando no sólo la pérdida de vidas, sino que también diplomó el retroceso del proyecto y el aumento de los costos; así como también le ha añadido a la mala imagen que la gente puede tener del sector de la construcción y la forma en que puede gestionar los grandes proyectos de infraestructura de forma segura y eficiente.

Dada la influencia de repetidos problemas de calidad que suscita el proyecto de los trabajos de construcción en Colombia, se pone en evidencia la necesidad incluir una evaluación exhaustiva de las normativas y reglamentos vigentes para garantizar que estén alineados con las mejores prácticas internacionales y que aborden las deficiencias identificadas en proyectos anteriores. La capacitación y certificación de profesionales del sector de la construcción en gestión de calidad son cruciales. Esto incluye ingenieros, arquitectos, supervisores de obra y trabajadores de la construcción, quienes deben estar equipados con el conocimiento y las habilidades necesarias para implementar prácticas de calidad de manera efectiva.

2.3.Marco Conceptual

La gestión de calidad de la construcción constituye un proceso muy complicado e implica distintas facetas, siendo éstas la elección de los materiales a utilizar en el proceso constructivo, el uso de determinadas tecnologías a implantar y el cumplimiento de las normativas vigentes. En la última década, diferentes proyectos de construcción de obras en Colombia han llegado a tener serios problemas relacionados con la calidad como consecuencia de fallos estructurales, perdidas monetarias e, incluso, en algunos casos, consecuencias fatales resultantes de una mala ejecución. Con la finalidad de proporcionar respuesta a estos problemas, el marco conceptual que a continuación se presenta integra conceptos asociados a la gestión de la calidad de la construcción a través del uso de modelos de información en la construcción (BIM), sistemas de información geográfica (GIS) y vanguardistas tecnologías; además, se recalca el valor de la formación continua y la certificación de los profesionales del sector, así como de fomentar una cultura organizativa que subraye la calidad en las diferentes etapas del proyecto.

2.3.1. Gestión de la calidad

La gestión de la calidad de la construcción constituye un conjunto de prácticas, principios y procedimientos orientados a garantizar que los proyectos de construcción cumplan los requisitos y expectativas con respecto a la seguridad, durabilidad, funcionalidad y estética del mismo. Se trata de un método global y preventivo que aborda todos los aspectos de cualquier fase que pueda estar en juego a lo largo de la vida del proyecto desde el planeamiento y diseño, a la ejecución, verificación y mantenimiento. Así la planificación de la calidad hace un llamamiento a que se determine el estándar y el conjunto de criterios que ha de cumplir el proyecto, así como forma en la que se pone en práctica el control para el desarrollo y la forma de medir las prácticas de calidad del mismo (Nasirzadeh et al., 2013; Walker & Keniger, 2002; Zhang et al., 2014).

El control de calidad lo lleva a cabo a partir de inspecciones periódicas y de ensayos específicos para asegurar que se ajustan los materiales y los métodos constructivos a los criterios referentes (Agarwal et al., 2021). Es fundamental identificar y corregir desviaciones o fallos antes de que afecten a la calidad final del encargo.En cuanto al aseguramiento de la calidad, tiene como objetivo garantizar el cumplimiento de todas las normas locales, nacionales e internacionales pertinentes y realizar auditorías internas y externas que indiquen que se están respetando los procedimientos de calidad. La mejora continua, por su parte, considera el uso de la retroalimentación y evaluación de los datos de calidad para poder desarrollar las acciones a

mejorar, además de instaurar mejores prácticas desarrolladas de experiencias y conclusiones del pasado e incorporar las nuevas tecnologías innovadoras (Lou et al., 2016).

Uno de los principios fundamentales de la gestión de calidad en construcción consiste en la orientación al cliente. Se centra en dar importancia a la manera de conocer y atender las necesidades y expectativas del cliente y otras partes interesadas, asegurando la entrega de encargos constructivos que cumplan con las especificaciones pactadas y que aporten valor al cliente. El liderazgo es otro principio esencial, ya que, se trata de promover la cultura de calidad en la organización desde la alta dirección a todos los estamentos de la misma y de proporcionar la dirección necesaria y el apoyo para alcanzar los objetivos de calidad (Riaz et al., 2023).

La participación del personal es fundamental; todo el personal ha de estar involucrado en el proceso de calidad y ha de existir formación continua y desarrollo profesional. Un enfoque basado en procesos supone identificar y gestionar las actividades y los recursos que se requieren para conseguir los resultados deseados en calidad, buscando optimizar los procesos para mejorar la eficacia y la eficiencia (Shao et al., 2012). La gestión de la calidad en la construcción también se beneficia de un enfoque de sistema que integra los distintos procesos de calidad en un sistema congruente y alineado con los objetivos organizacionales, facilitando la comprensión y la gestión del control de las interdependencias entre los distintos procesos (Coffey et al., 2011).

La mejora continua se establece como una tarea constante utilizando herramientas y técnicas como Six Sigma y Lean Construction que eliminan desperdicios y mejoran la eficiencia;

tomando decisiones basadas en datos, lo cual obliga a trabajar con datos y análisis informativos, llevándose a cabo un sistema de monitoreo y de medición del rendimiento y la calidad; y generando relaciones mutuamente beneficiosas con proveedores y subcontratistas para mejorar la calidad de los materiales y de los servicios y garantizar que compartan un compromiso con la calidad (Asnaashari & Khodabandehlou, 2023; Gülyaz et al., 2019; Negi et al., 2017; Veena & Prabhushankar, 2019).

Para implementar la gestión de la calidad en la construcción se ha de comenzar por la elaboración de políticas claras que definan el compromiso de la organización con la calidad y comunicarlas a la totalidad de los trabajadores y las partes implicadas; por la capacitación y desarrollo del personal, proporcionando programas de formación para mejorar sus habilidades y conocimientos formales sobre las prácticas de calidad, formando personal con certificación en áreas específicas en la gestión de la calidad; el uso de tecnologías avanzadas como BIM, drones y sensores IoT; el software de gestión de la calidad para programar, seguir y reportar actividades de calidad (Poerschke & Kalisperis, 2007).

2.3.2. Building Information Modeling (BIM)

La metodología conocida como Building Information Modeling (BIM) es una tecnología avanzada utilizada en el ámbito de la construcción para modelizar y gestionar la representación digital de las características físicas y funcionales de un proyecto. BIM no es únicamente un modelo tridimensional, sino que se trata de un proceso basado en datos que permite la

planificación, el diseño, la construcción y la gestión de los edificios y otras infraestructuras a lo largo de todo su ciclo de vida, desde el proceso de diseño inicial hasta su demolición, proveyendo de esta manera una plataforma completa sobre la que pueden colaborar todas las partes involucradas en las que tienen participación arquitectos, ingenieros, constructores y propietarios (Kim, 2019).

El modelado tridimensional de BIM permite crear representaciones con detalle y precisión de todos los elementos de los edificios, como la estructura y la envolvente del mismo, pero también de los sistemas mecánicos, eléctricos y de fontanería. Esas representaciones permiten, además de proporcionar unas visualizaciones claras y realistas del mismo, la integración de datos precisos sobre sus características físicas y funcionales, los cuales son almacenados en una base de datos centralizada que es accesible para todos los participantes en el proyecto (Mirshokraei et al., 2019).

BIM también permite la interoperabilidad entre diversas plataformas y software mejorando, así la colaboración y la coordinación entre los equipos. Una de sus ventajas es la detección de conflictos y colisiones entre diferentes sistemas antes de la construcción y que disminuyen considerablemente los posibles retrabajos y sus costes logísticos. BIM puede también facilitar la realización de análisis del rendimiento energético de los edificios, simulaciones estructurales y otras evaluaciones críticas de los mismos durante las fases del diseño y la construcción. Los modelos BIM permiten planificar y programar todas las actividades del proyecto, optimizar los cronogramas y los recursos, y, como resultado de ello, incrementar la eficiencia operativa (Lee & Kim, 2017).

La gestión de la calidad en la edificación se ve muy favorecida gracias a la metodología BIM. La orientación al cliente es fortalecida por el entendimiento y por la satisfacción de las necesidades y expectativas de todas las partes, garantizando proyectos que se ajusten a las especificaciones y que aporten valor; al mismo tiempo, se propicia el leadership, apoyando una cultura de la calidad en la alta dirección y en todos los niveles de la organización. La implicación del personal es uno de los puntos críticos de este proceso, a partir de la involucración de todo el personal en las prácticas de la calidad y desde el apoyo en su capacitación continua y en el desarrollo profesional (Wang et al., 2022).

2.3.3. Risk Management

La gestión de los riesgos tiene lugar en la edificación mediante un proceso integral y sistemático que intenta promover la identificación, el análisis, la evaluación y la mitigación de los riesgos que puedan impactar en el éxito de un proyecto. Dado que los proyectos de edificación suelen ser complejos y están sometidos a un amplio rango de incertidumbres desde el tiempo, hasta la ruptura de la cadena de suministro, la gestión de riesgos es clave para asegurar que los proyectos se puedan acabar a tiempo, con el presupuesto disponible y bajo las normas de calidad determinadas (Keshk et al., 2018a).

La identificación de los riesgos es el primer paso en la gestión de los riesgos, que es muy intenso porque necesita un análisis de la manera de identificar todos los posibles eventos que

pueden tener efectos negativos en el proyecto. Estos riesgos pueden ser de varias procedencias, tales como, financieros, técnicos, legales, ambientales, y de seguridad. Los equipos de proyectos suelen emplear un amplio rango de técnicas para la identificación de los riesgos, incluyendo el brainstorming, listas de verificación, análisis de escenarios, consulta con expertos (Keshk et al., 2018b).

Una vez que se han determinado los riesgos, se pasa al análisis correspondiente y la evaluación. Así, se estima la probabilidad de que ocurran los riesgos y la magnitud que tendría la amenaza que implican respecto del proyecto. Dicha evaluación puede ser cualitativa y basada en escalas de la probabilidad y del impacto; o bien cuantitativa, considerándose modelos matemáticos y simulaciones. La combinación probabilidad-impacto dará lugar a la priorización de los riesgos, centrándose en aquellos que suponen una mayor amenaza para el proyecto (Keshk et al., 2018b).

En segundo lugar, se encuentra la planificación de las respuestas a los riesgos. Esta es la fase en la cual se diseñan las estrategias para responder ante los riesgos que se han detectado. Así, las estrategias de mitigación tienen el objetivo de disminuir la probabilidad de que se puedan llegar a producir los riesgos o el impacto que implican; las respuestas de trasferencia son aquellas que implican pasar parte del riesgo a otra persona (aseguradoras o contratos con terceras partes, entre otras), aceptar que un riesgo puede llegar a producirse pero, en tal caso, estar preparados para responder ante las consecuencias, o bien cambiar el plan o los planes del proyecto para huir del riesgo (Siraj & Fayek, 2019).

Una parte fundamental de la gestión de los riesgos es la implementación de las respuestas a los mismos, lo que implica la asignación de recursos, la generación de responsabilidad y, en particular, la confirmación del debido cumplimiento de las acciones de mitigación que fueron planificadas. La ejecución efectiva implica, a su vez, la monitorización de los riesgos y de las respuestas a los mismos, para poder adaptarse a situaciones que cambian conforme se desarrollan los planes del proyecto (Siraj & Fayek, 2019).

El seguimiento y el control de los riesgos son parte del conjunto de actividades cíclicas y recurrentes en el ciclo de vida del proyecto. Las actividades de revisión de la recopilación del registro de riesgos, del nivel de calidad que ha mantenido la respuesta ejecutada y de las estrategias de riesgo tienen una importancia fundamental. Herramientas como las auditorías de riesgos o las revisiones periódicas de los riesgos pueden ser herramientas que, adecuadamente usadas, son útiles para dar el estado que se quiere alcanzar para la gestión de los riesgos.

La gestión de los riesgos, en la práctica no sólo sirve para evitar problemas o retrasos, sino que mejora la calidad de la toma de decisiones, así como la forma en que los equipos de proyecto se enfrentan a la incertidumbre. Así por ejemplo, el uso de técnicas avanzadas (BIM, análisis predictivo), contribuyen al conocimiento y la evaluación de riesgos de una forma más profunda y completa. La gestión del riesgo también fomenta una cultura de comunicación abierta y proactiva en la que los miembros de los equipos de proyecto conocen los riesgos y se sienten con capacidad de contribuir a su mitigación (Jayasudha & Vidivelli, 2016).

2.3.4. Métricas de calidad

Las métricas de calidad de la construcción son elementos destinados a evaluar y comprobar que los trabajos ejecutados satisfacen las expectativas y los niveles mínimos de exigencia que había entre los participantes sobre los distintos aspectos de la calidad de la construcción, sea en términos de seguridad, durabilidad, funcionalidad o estética. Las métricas son una forma objetiva, hasta cierto punto, de valorar el propio desempeño de la construcción y, por lo tanto, de acuerdo a ese análisis, la toma de decisiones acerca de cómo mejorar la calidad. A continuación, por ende, se explican extensamente las principales métricas de calidad de la construcción (Riaz et al., 2023; Walker & Keniger, 2002).

La conformidad con las especificaciones tiene la consideración de ser una de las métricas de calidad de la construcción que determina si los materiales y procedimientos que se siguen a través de la ejecución de la obra corresponden con el cumplimiento de lo que se considera requisitos técnicos y las especificaciones que se indican en los documentos del proyecto. Es decir, utilizando esta métrica podemos asegurar que se realiza la construcción de todos los componentes que forman parte del proyecto cumpliendo con los estándares de diseño y de calidad que nos habíamos planteado, aun con un riesgo considerado bajo de obtener defectos o fallos estructurales (Riaz et al., 2023).

El índice de defectos indica la cantidad y el nivel de gravedad de los defectos que se identifican antes y después de la realización de la ejecución de la obra. Incluirá las inspecciones periódicas y las auditorías de calidad para la identificación y documenatción de defectos o irregularidades en relación con las especificaciones del proyecto. Un índice de defectos bajo implica un alto nivel de calidad en la ejecución del proyecto, mientras que un índice elevado alerta de las necesidades de mejora de los procedimientos de construcción y control de calidad (Rashed & Othman, 2015).

La durabilidad de los materiales y componentes, o la vida útil, es otra métrica importante. Esta métrica valora la resistencia de los materiales y sistemas y los diferentes medios para soportar el paso del tiempo y/o el uso. La durabilidad es medida en el laboratorio mediante las pruebas y simulaciones que replican el medio ambiente y el uso al que los componentes de los edificios serán sometidos. La vida útil esperada está relacionada con los estándares del sector para asegurar que los materiales seleccionados poseen un rendimiento adecuado durante su ciclo de vida (Lew et al., 2020).

El rendimiento estructural hace referencia a la capacidad de la estructura para soportar las cargas y fuerzas que estará sujeta durante su vida útil. Esta métrica incluirá la exigencia de pruebas y evaluaciones de resistencia de materiales, estabilidad estructural y comportamiento bajo cargas dinámicas. El rendimiento estructural es fundamental para la seguridad y funcionalidad del edificio; se verifica mediante análisis y simulaciones avanzadas (Thing Leo et al., 2021).

La satisfacción del cliente es otra métrica subjetiva pero importante que valora la percepción que tiene el cliente de la calidad alcanzada en el proyecto terminado. Esto incluye encuestas y entrevistas a propietarios y/o usuarios finales que valoran su satisfacción con el diseño, construcción y funcionalidad del edificio. La satisfacción del cliente proporciona información valiosa sobre la eficacia de los procesos de gestión de calidad y ayuda a identificar áreas de mejora para futuros proyectos (Thing Leo et al., 2021).

Los plazos y costos son otra métrica obligatoria; esta métrica valora si el cumplimiento se ha hecho de acuerdo con los plazos y precios pactados. El cumplimiento de los plazos garantiza que el trabajo se ejecute dentro de lo programado, no produciendo retrasos onerosos y alteraciones en el programa, y el control de costos garantiza que todas las actividades del proceso del proyecto se realicen dentro del costo planeado, teniendo en cuenta el control de recursos utilizados y los máximos riesgos por concepto de costos (Chaterine & Simanjuntak, 2020).

Se mide la eficiencia energética y la sostenibilidad mediante la determinación del consumo de energía así como el impacto ambiental del edificio. Esta métrica valora la eficiencia de los sistemas de energía, de calefacción, de ventilación y de aire acondicionado, y uso de materiales sostenibles y prácticas de construcción de forma ecológica. Siempre es más importante que la eficiencia energética y la sostenibilidad sean factores mayores en el proceso de la construcción como aspectos que permiten la reducción de los costos de operación, conduciendo a la propuesta de legislación medioambientales.

El índice de replanteos, que mide la parte de trabajo que es adicional al trabajo que debe corregir pérdidas o defectos que han sido encontrados a través del desarrollo del trabajo; un alto índice de replanteos indica problemas en los procesos asociados al control de calidad, puede llevar a altos costos y a alteraciones. Reducir índices de replanteo mejoraría la eficiencia del proyecto, así como se reducirían los costos relacionados con correcciones o reparaciones (Coffey et al., 2011).

La seguridad en el sitio de construcción es una de las métricas de salud además de la frecuencia de accidentes y lesiones, y del proceso de construcción. La métrica se refiere al seguimiento de los incidentes de seguridad y a la prospección de seguridad mediante la formación y la práctica sobre el trabajo en seguridad en el lugar de la construcción. Un lugar de construcción seguro no sólo protege a los trabajadores, sino que al mismo tiempo proporciona productividad y moral a la práctica (Sergesketter, 1997).

Las métricas de calidad en la construcción son métodos básicos para comprobar que los proyectos se aproximan a los estándares establecidos de calidad. Se refiere a aspectos como la conformidad a especificaciones; índice de defectos; durabilidad y vida útil de materiales; capacidad portante; satisfacción del cliente; cumplimiento de plazos y coste; eficiencia energética y sostenibilidad; calidad del aire del hogar; índices de retrabajos; y seguridad en el lugar de la construcción. El seguimiento y medición de métricas de calidad en la construcción

mejora la calidad de los proyectos de construcción y su eficacia, y proporciona la satisfacción del cliente y el éxito a largo plazo de los proyectos en el tiempo.

2.3.5. Principios de calidad

Los principios de calidad en la construcción son vitales para garantizar que los proyectos se desarrollen de la manera más efectiva, segura y con los mayores niveles de calidad. Los principios de calidad aportan una base sólida sobre la cual trabajar y constituyen la base para la mejora continua de la industria de la construcción en términos de procesos y resultados. Se presenta a continuación una descripción detallada, continua y con la parquedad característica de los principios de calidad aplicados a la construcción (Juliani & de Oliveira, 2020).

Orientación al cliente: es uno de los principios más importantes, pues pone de relieve la necesidad de identificar y atender las necesidades y expectativas que tienen los clientes. En la construcción, significa colaborar estrechamente con los clientes para lograr el diseño y la ejecución del proyecto conforme a sus expectativas y especificaciones. La orientación al cliente no solo hace referencia a un mero cumplimiento de los requisitos del contrato, sino que forma parte del proceso de satisfacción que excede las expectativas generando un valor añadido y ayudando a que las relaciones con estos sean de largo plazo (Juliani & de Oliveira, 2020).

Liderazgo: es de gran importancia para la creación y el mantenimiento de una cultura de calidad dentro de una organización. Los líderes en la construcción deben establecer una visión

clara y comprender la importancia de la calidad y comunicarla a todos los niveles de la organización. Para ello, deben proporcionar los recursos adecuados, hacer que existir una cultura de mejora continua o bien de reconocer los logros en calidad. Un buen liderazgo asegura que todos los miembros del equipo estén alineados con los objetivos de calidad y en el compromiso de alcanzarlos (Veena & Prabhushankar, 2019).

Participación del personal: es un principio que establece que todos los empleados, independientemente de su nivel o función, contribuyen a la calidad del proyecto. Para impulsar la participación y el empoderamiento del personal es necesario que los trabajadores se sientan responsables y comprometidos con la calidad de su trabajo. Para lo cual es necesario realizar capacitaciones continuas, tener vías de comunicaciones abiertas y realizar el reconocimiento de las contribuciones individuales y colectivas (Crump, 2015).

Enfoque basado en procesos. Se traduce en forma de gestionar las actividades y recursos como procesos interrelacionados entre sí y operando juntos para la obtención de resultados. En construcción, esto significaría comprender y optimizar los procesos desde la planificación y diseño, hasta la construcción y mantenimiento. Un enfoque basado en procesos permite el que cada una de las fases de trabajo dé lugar a unos resultados de manera eficiente y eficaz, es decir, disminuir al máximo el número de errores y retrocesos (Juliani & de Oliveira, 2020).

Mejora continua. Es un principio que reza la búsqueda de la mejora continua de los procesos, productos y/o servicios. En construcción, esto podría significar adoptar nuevas tecnologías, trabajar de forma más eficiente, e ir revisando continuamente procedimientos con objeto de determinar oportunidades de mejora. La mejora continua permite mantener la competitividad y adaptarse a las demandas que van apareciendo en el mercado (Velezmoro-Abanto et al., 2024).

Toma de decisiones es un principio que se torna crítico para el éxito de los proyectos en construcción, puesto que ellas involucran a muchas partes interesadas, clientes, proveedores, contratistas, comunidad, etcétera, el construir relaciones sólidas y cooperativas con todas las partes implicadas contribuye positivamente a asegurar una buena comunicación, a asegurar una buena coordinación y a salvar la satisfacción de todas las partes. Toma de decisiones también significa el negociar y realizar acuerdos garantizando la justicia teóricamente teórica entre todos (Uluskan, 2016).

Enfoque hacia la sostenibilidad: es un principio que cada vez cobra mayor protagonismo en el sector de la construcción. Este principio supone reconocer la necesidad de prácticas que minimicen el impacto medioambiental al tiempo que favorecen la sostenibilidad en el futuro. Incluye materiales ecológicamente adecuados, diseños con una alta eficiencia energética, una gestión responsable para los recursos naturales; un enfoque hacia la sostenibilidad no solo conduzca a una mejora de la calidad del proyecto sino que ayuda a la salud del entorno, el bienestar de la sociedad (Parrish, 2012).

Flexibilidad y adaptabilidad: son principios que resultan esenciales en el sector de la construcción dada la naturaleza dinámica e incluso a menudo impredecible del desarrollo de los proyectos. El ser flexible y adaptable permite que los equipos de construcción respondan rápidamente ante los cambios que se van produciendo en las condiciones del proyecto, como serían cambios en el clima, cambios en las especificaciones realizadas por el cliente, problemas inesperados en el área de trabajo. La capacidad de adaptarse y ajustarse a nuestras necesidades resulta fundamental para mantener la calidad y además también la eficacia de las estrategias de gestión de la calidad (Parrish, 2012).

2.4.Marco Teórico

A partir de los aportes de autores como Harrington, 1996, podemos entender que la gestión de la calidad está relacionada con un enfoque global y sistemático de la gestión organizacional centrado en la mejora continua de la calidad de los productos, servicios y procesos, que compromete a todos los miembros de la organización y que se fundamenta en principios básicos del que depende su implementación y práctica. En el ámbito de la construcción, la calidad total o TQM (a la que hace referencia la abreviatura inglesa TQM) se establece como la filosofía que asegura la finalización eficiente y con los máximos estándares de calidad de los proyectos a realizar.

El TQM establece una forma de administración de la que se obtiene la mejora de los productos o servicios o de los procesos a partir de la participación de todos los miembros de la organización. La filosofía del TQM se basa en la idea de que la calidad es responsabilidad de todos en la organización y no sólo de una sección. Los campos básicos en los que se apoya el TQM son la orientación al cliente, el liderazgo, la participación del personal, la mejora continua, la toma de decisiones mediante datos y la dirección de relaciones (Babatunde & Pheng, 2015; Bryde, 1997).

La orientación al cliente es uno de los principios básicos del TQM que pone de resalto la importancia de conocer y satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes, que en el ámbito de la construcción se entiende cómo ejecutar proyectos que se adapten a los requisitos de calidad, de plazos y de presupuesto de sus clientes. La satisfacción del cliente se convierte en el fin complementario del TQM, y alcanzarlo exige el cumplimiento de los requisitos contractuales, pero también superar las expectativas del cliente (Jong et al., 2019).

Las normas TQM también proponen el liderazgo, esto es: los "líderes definen la visión y traducen la importancia de la calidad" al contexto de la construcción, se entiende cómo construir una cultura de la calidad, cómo fomentar el uso de los recursos y la orientación de los empleados para alcanzar los objetivos de calidad, en sus palabras: "El liderazgo hace que las personas del equipo estén alineadas con los objetivos de calidad y que sean conscientes de su papel para conseguirlos" (Ullah et al, 2017).

En la misma línea, la participación del personal es otro de los principios de TQM, dado que debe ser una dimensión que involucre a todos los miembros de la organización, y que se puede llevar a cabo mediante el reconocimiento de las contribuciones individuales, la formación y la constitución de un canal de comunicación externo adecuado. En la construcción, la participación del personal es importante para hacer partícipe a cada uno de los trabajadores de su papel y función en el proyecto, ya que fomentar la participación y el empoderamiento de los colaboradores es importante para que cada uno de los trabajadores se sientan responsables y con la calidad de su trabajo por bandera.

Un tercer principio hace referencia al enfoque basado en procesos, esto es gestionar las actividades y recursos como procesos que se interrelacionan y funcionan juntos para lograr los resultados deseados. En la construcción este enfoque se puede convertir en un tipo de metodología que hace que sean los propios líderes quienes entiendan y optimicen los procesos desde la propia planificación, pasando por el diseño, hasta la construcción y el mantenimiento. Un enfoque basado en procesos asegura que cada una de las etapas del proyecto se lleven a cabo de una manera más eficaz y eficiente, reduciendo la cantidad de errores y retrabajos (Sabet et al, 2016). El último principio es el de la mejora continua, puesto que se hace hincapié en "la búsqueda de formas de mejorar los procesos, productos o servicios de manera continua". Esto también se puede interpretar en la construcción como que es preciso establecer la investigación de nuevas tecnologías, técnicas de construcción y llevar a cabo revisiones regular de los procedimientos que sirvan para poder encontrar nuevas áreas de mejora.

La toma de decisiones apoyada por la información en el lugar de trabajo es un pilar fundamental de TQM; las decisiones deben tomarse basándose en el análisis de datos e información. En el sector de la construcción, por ejemplo, abarca el uso de definiciones de calidad, auditorías, evaluaciones de calidad, para sustentar las decisiones que se tomen. La toma de decisiones apoyadas por la información garantiza que todas las acciones que se tomen no solo estén basadas en la información sino en información correcta y relevante, incrementando así la eficacia de las decisiones que tome la dirección sobre gestión de calidad (Rokke & Yadav, 2012).

La gestión de las relaciones es fundamental para garantizar el éxito de los proyectos de construcción ya que en el mismo intervienen un número elevado de interesados (potenciales clientes, proveedores, contratistas y la comunidad). Tener buenas relaciones con todos los interesados es una forma de garantizar una buena comunicación, una buena coordinación y una buena satisfacción de todas las partes que intervienen. Por otra parte, la gestión de las relaciones implica negociar y llegar a acuerdos justos y beneficiosos para todas las partes (Roy et al., 2020).

La implementación de TQM en la construcción reviste un nivel organizacional y la integración de sus principios en todas las actividades y en todos los procedimientos. Esto incluye la formación continua de todos los trabajadores sobre los principios y sobre departamentos de TQM, establecer vías de comunicación adecuadas y abiertas, incorporar tecnologías avanzadas como Building Information Modeling (BIM) o sistemas de gestión de proyectos, llevar a cabo evaluaciones periódicas e inspecciones de calidad, incorporar prácticas sostenibles tanto para mejorar la calidad como para reducir el impacto medioambiental (Mohsen Alawag et al., 2022).

La TQM (Total Quality Management), también conocido como gestión total de la calidad, supone un enfoque basado en la mejora continua de la calidad. En la construcción, TQM nos permite disponernos de un marco que permita garantizar la ejecución de los proyectos de forma eficaz, segura y con los máximos niveles de calidad posibles.

La TQM, Medio de alcanzar la mejora de los procesos y resultados de las organizaciones de construcción, incluye los pilares de la orientación al cliente, el liderazgo, la participación del personal, el enfoque basado en procesos, la mejora continua, la toma de decisiones fundamentadas en datos y la gestión de las relaciones, asegurando así la satisfacción de los clientes y el éxito (Mohsen Alawag et al., 2022).

Por otra parte, sin entrar en la descripción del control de calidad y del aseguramiento de la calidad (Walker & Keniger, 2002), son un par de aspectos a los que atender en el contexto de la construcción, y que son necesarios para el garantizar de realiza la gestión de la calidad en cualquier industria. Esto requiere de un entendimiento de las diferencias y de las similitudes y complementariedades que se han de producir entre ambas, en el sistema de gestión de calidad, a fin de garantizar la mejora de los trabajos realizados en los proyectos de construcción.

El Control de Calidad hace referencia a las inspecciones, pruebas y evaluaciones que se realizan a lo largo del proceso de construcción para asegurar que materiales, procesos y productos finales se verifica que provienen de acuerdo a las especificaciones y estándares

exigidos previamente. Se entiende cómo un concepto preventivo, en sentido de que se encuentra basado en detectar defectos una vez se han dado, lo que equivale a decir que se basa en inspecciones. En la construcción, el control de la calidad es todo aquello que comprende, entre otros, la revisión de los planos y especificaciones técnicas, la inspección de los materiales que están llegando a la obra y la supervisión de la construcción en curso para determinar si existe algún incumplimiento de los estándares de calidad especificados. (Rashed & Othman, 2015).

Por poner un ejemplo, en la construcción de un edificio, el control de calidad puede incluir la inspección de la mezcla de concreto antes de su anclaje, verificar la instalación de los sistemas eléctricos y de fontanería, y llevar a cabo pruebas de resistencia de los materiales utilizados. Cuando existen problemas o defectos, un equipo de inspectores tiene que tomar acciones correctivas con el objeto de corregir la situación y también huir para que esas calidad del resultado final del proyecto no se vea perjudicando. Eso asegura que cualquier error o defecto, entonces, se va a solucionar antes de que el proyecto se vea afectado, y con eso se asegura que el producto final del proyecto cumple con los requisitos del cliente y, también, con la normativa de los aspectos de seguridad e higiene (Pheng & Teo, 2004).

El aseguramiento de la calidad va, en cambio, más allá, porque tiene un enfoque proactivo, es decir, necesariamente busca la medicina a los problemas o defectos de calidad en el sentido de que la mejor medicina es, sin duda, una prevención que aplique a sistemas, procesos de calidad y tener un dandide en el proyecto. El aseguramiento de la calidad requiere incluir específicamente políticas, procedimientos y estándares de calidad que acompañan todas las actividades del proyecto desde el inicio y hasta el fin del mismo. Es un enfoque de la

planificación, es la planificación del proyecto, pero es la planificación de construir ese entorno para conseguir la calidad.

El aseguramiento de la calidad en su sentido más práctico tiene que ver con la realización de planes de calidad que describen qué requisitos se han de cumplir, qué requisitos tiene cada miembro del equipo productivo y el procedimiento que tienen que seguir para realizar el cumplimiento de los estándares y requisitos. Por ejemplo, eso puede ir asociado a formar a las personas en las mejores prácticas de la construcción, o en la aplicación de nuevas tecnologías y métodos de trabajo, o con la realización de auditorías y reviews del día a día para conseguir saber hasta qué punto están funcionando los procesos.

Un ejemplo claro de aseguramiento de la calidad es el hecho de que se adopte un sistema de gestión por calidad, por ejemplo el que se basa en ISO 9001, pero como un hecho organizado de gestión por calidad para proporcionar un marco claro y estricto para la gestión por calidad y la planificación de la mejora continua de la misma (Pheng & Teo, 2003).

La interconexión que existe entre el control de calidad y el aseguramiento de la calidad es sinérgica. Mientras que el control de calidad está centrado en los problemas de detección y corrección, el aseguramiento de la calidad está enfocado en los defectos relacionados con la prevención a través de la pertinente implementación de los sistemas y procesos adecuados para tal fin. Ambos controles son importantes y necesarios para la excelencia en la construcción de proyectos, dado que combinados determinan que los problemas sean prontamente detectados y

solucionados y también que se apliquen prevenciones para no tener que volver a sufrirlos (Peansupap et al., 2008).

Un ejemplo claro sobre la forma de cómo se interrelacionan estos controles en la práctica de un proyecto de construcción es el uso del Building Information Modeling (BIM). El BIM es una tecnología relacionada con la planificación y la gestión del proyecto de construcción, facilitando la elaboración de un modelo digital muy detallado mediante la utilización de los cuales se pueden prever y abordar los problemas antes de que aparezcan. A través del BIM, los grupos de trabajo de la construcción están en disposición de mejorar su coordinación y detección de posibles conflictos e implementar soluciones anticipadas necesarias para el aseguramiento de la calidad. A la vez que durante la ejecución del proyecto surgen procesos de inspección y ensayos continuos que son propios del control de calidad, garantizando que el trabajo se ejecute de acuerdo con los estándares marcados y que a la vez las variaciones operativas sean rápidamente corregidas (Gu, 2021). El control de calidad y el aseguramiento de la calidad constituyen procesos complementarios en la gestión de la calidad en el ámbito de la construcción. En este sentido, el control de calidad está relacionado en el proceso de detección y corrección a través de las inspecciones y los ensayos, mientras que el aseguramiento de la calidad está relacionado con los defectos de la prevención, siendo el control de calidad el proceso que determina que una obra se ejecute de manera eficiente, segura y con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción del cliente y el éxito a largo plazo de la empresa constructora (Riaz et al., 2023).

Todo lo anteriormente mencionado se encuentra dentro de la metodología Lean construction, la cual transpone los principios de la manufactura (Gülyaz et al., 2019; Veena & Prabhushankar, 2019). El objetivo fundamental de Lean Construction es generar el máximo valor con el mínimo desperdicio a lo largo de todo el proceso de construcción: desde el diseño y la planificación espacial hasta la entrega final del proyecto. En Lean Construction hay que tener en cuenta cómo una metodología que busca generar proyectos más eficaces y más eficientes fomentar la colaboración entre los participantes, la transparencia y la mejora continua.

Los Principios Fundamentales de Lean Construction son:

1. Valor Definido por el Cliente: El valor es definido desde el punto de vista del cliente. Todo el trabajo está orientado a comprender y satisfacer las necesidades y las expectativas del cliente.

2. Identificación y Eliminación de Desperdicios: Lean Construction busca identificar y eliminar los desperdicios en todas las fases del proyecto. Los desperdicios pueden ser esperas, transporte, exceso de inventario, movimientos, sobreproducción, defectos y sobreprocesamiento.

3. Flujo Continuo: Crear un flujo continuo de trabajo es uno de los aspectos esenciales para llegar a algo en paralelo y con el fin de mejorar la eficiencia. Esto es posible a través de una detallada planificación y coordinando todas las actividades que hay en el proyecto.

4. Producción Justo a Tiempo (Just-in-Time): Los materiales y recursos deben llegar al lugar de construcción justo cuando se necesitan reduciendo el inventario y evitando costes.

5. Mejora Continua (Kaizen): La mejora continua es uno de los pilares de Lean Construction, se busca la mejora del proceso, reducción de los desperdicios y el desarrollo de la eficiencia.

6. Respeto por las Personas: Lean Construction valora las aportaciones y conocimientos de todos los trabajadores. Promueve un entorno de trabajo de respeto y de colaboración donde todos los miembros del equipo tienen la oportunidad de mejorar el proyecto.

Algunas de las Herramientas y Técnicas de Lean Construction son:

Last Planner System (LPS): Un sistema fundamental en Lean Construction que contribuye en gran medida al proceso de planificación y programación de proyectos. El LPS ayuda a incluir a todas las personas involucradas en la organización en el proceso de planificación - desde la dirección hasta los trabajadores en el lugar de la construcción - y para ello debemos llegar a una mejor planificación y diferentes formas de coordinar las actividades. El proceso de Last Planner, en el que los grupos de planificación de forma perfectamente

conjunta van explicando sus trabajos y planificando, incluso si se llega a interferir en la planificación de otros grupos, genera al mismo tiempo procesos de producción más predecibles.

Value Stream Mapping (VSM): Es una técnica para visualizar y describir el flujo de materiales y la información de un proyecto. El VSM permite aprender rápidamente los desperdicios del proceso de producción de la construcción y las posibilidades para mejorarlas.

5S: Es una metodología cuyo objetivo es organizar el espacio de trabajo a través de un sistema de orden y limpieza con el fin de aumentar la eficacia e intentar disminuir los desperdicios que puedan sobrevenir.

Las 5S son: Seiri (clasificar), Seiton (ordenar), Seiso (limpiar), Seiketsu (estandarizar) y Shitsuke (Sostener).

Kanban: Es un método de gestión visual que ayuda a controlar el flujo de trabajo y asegurar materiales y tareas con un punto de acción - juste à temps o justo a tiempo. Kanban se sirve de las tarjetas visuales para especificar cuándo es necesario reabastecer el inventario o comenzar una tarea nueva.

Integrated Project Delivery (IPD): es un modelo desarrollado para promover una colaboración entre todos los implicados en el proyecto, a saber: propietarios, diseñadores, contratistas y proveedores. El IPD pretende generar alineación en los objetivos de cada parte

implicada y una compartición de los riesgos y de los resultados del proyecto (Veena y Prabhushankar, 2019).

El Lean Construction se puede aplicar a cualquier tipo de proyecto de construcción, desde unas pequeñas reformas hasta grandes aplicaciones. Aplicando el Last Planner, los grupos pueden mejorar la precisiones del proceso de planificación y programación, reduciendo los retrasos y las interrupciones. Estas mejoras son el resultado de una reunión de planificación periódica donde todos los implicados se comparten y coordinan los diferentes trabajos y sus posibles formas de resolver los problemas de la planificación en el lugar de trabajo. Como consecuencia de ello, debemos también implementar un sistema Just-in-time para bajar los gastos de inventario y así disminuir el desperdicio de material. Esto implica coordinar estrechamente con los proveedores para asegurar que los materiales lleguen justo cuando se necesitan (Erdil et al., 2018).

A través del uso de Value Stream Mapping y de la filosofía Kaizen, los equipos pueden visibilizar ineficiencias y experiencias de oportunidades de mejorar el proceso de construcción. Esto puede dar lugar a una reducción del tiempo de ciclo, a un incremento de la calidad y a una disminución de costos. La participación de todos los miembros del proyecto a través de un trabajo colaborativo, como sostiene la filosofía Lean Construction promovida con el Integrated Project Delivery, asegura que todos y cada uno de los participantes del proyecto trabajen hacia objetivos comunes. Esto conlleva una reducción de los conflictos, una mejora en la toma de decisiones y un aumento en la satisfacción del cliente (Crump, 2015).

Lean Construction puede aportar muchos beneficios a los proyectos de construcción; se pueden reducir considerablemente los costes de construcción como consecuencia de la eliminación de los desperdicios y de la mejora de la eficiencia. Un enfoque hacia la mejora continua y la prevención de defectos produce proyectos de construcción de mayor calidad. La mejora de la planificación y de la programación ayuda a que los plazos del proyecto sean cumplidos. Centrarse en el valor que el cliente haya definido para el proyecto y en asegurar la calidad del proyecto puede incrementar la satisfacción del cliente. Eliminar desperdicios y organizar mejor el espacio donde tiene lugar la construcción puede contribuir a mejorar las condiciones de seguridad en el sitio de construcción.

Lean Construction es una metodología que puede transformar la forma en que los proyectos de construcción son gestionados. Adoptando sus principios y técnicas, las empresas de construcción pueden conseguir una mayor eficiencia, reducir sus costos y mejorar la calidad y la satisfacción del cliente en sus proyectos. Implementar Lean Construction requiere un compromiso con la mejora continua y la colaboración, pero los aprovechamientos que se pueden conseguir son significativos y sostenibles (Goh & Goh, 2019).

2.5.Marco Legal

2.5.1. Contexto internacional

La ISO 9001 es una norma base de la Gestión de la Calidad ya que establece unos requisitos para la definición de un sistema de gestión de la calidad (SGC) y es ampliamente conocida y aplicada en todo el mundo, ya que tal norma se fundamenta en la satisfacción del cliente y en la mejora continua. ISO 9001 fija un marco que ayuda a las organizaciones a asegurar que sus productos y servicios cumplen de manera continua con los requisitos del cliente y de la normativa de aplicación. La ISO 9001 aplicada al sector de la construcción se exemplifica como un documento fundamental para asegurar que los proyectos se desarrollen con estándares de calidad elevados y evitar errores magnos, así como mejorar la eficiencia operacional de la organización responsable de la obra ya que es una norma que obliga a hacer procesos documentados, a tratar la gestión del riesgo e impulsar la cultura de la mejora continua, todo ello va a resultar en una mayor satisfacción del cliente y de mejor reputación para las empresas constructoras.

La ISO 14001 está relacionada con la gestión ambiental y es un requisito básico para aquellas organizaciones que buscan mejorar su comportamiento ambiental; establece unos requisitos para un sistema de gestión ambiental (SGA) ya que ayuda a las empresas a identificar, controlar y reducir los impactos ambientales que sus actividades pueden generar. ISO 14001, en el área de la construcción, es un documento clave ya que se pueden generar potenciales efectos perjudiciales como consecuencia de los proyectos (residuos, el aire contaminado, el uso de recursos, etc.). La implementación de una ISO 14001 permite que las organizaciones cumplan con la normativa ambiental, reduzcan su huella ecológica, promuevan prácticas sostenibles en cuanto a la gestión de residuos y el uso de recursos.

La norma ISO 45001 define los requisitos para un sistema de gestión de la salud y la seguridad en el trabajo (SGSST). La norma ISO 45001 proporciona un marco para la mejora de la seguridad y salud de los trabajadores luchando contra los riesgos y bien gestionando el entorno para poder mejorarlo. La ISO45001 pone el foco en la identificación, evaluación, control de peligros, así como las promover la participación de los trabajadores en su propia gestión de la seguridad y la prevención de accidentes y enfermedades laborales.

En el sector de la construcción, donde los peligros y riesgos son altos, la norma ISO 45001 es esencial para poder fomentar la salud y seguridad de los trabajadores en el cumplimiento de las leyes de seguridad y disminuyendo el número de incidentes e incidentes y lesiones en el sitio de construcción.

Regulaciones de Seguridad y Salud Ocupacional

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) ha promulgado diferentes convenios sobre la seguridad y salud en los lugares de trabajo. Un documento fundamental es el Convenio 155, referente a la seguridad y la salud de los trabajadores que fomenta la mejora de las condiciones laborales y la protección del bienestar de los trabajadores. Exige a los estados miembros adoptar las medidas necesarias para garantizar la seguridad y salud en el trabajo, lo que incluye la evaluación y el control de riesgos. El Convenio 167 se refiere, en singular, a la seguridad y salud en la construcción como sector en el que da recomendaciones para la protección de los trabajadores en un trabajo que destaca por sus elevados riesgos. Ambos

convenios contribuyen a formar parámetros internacionales que prescriben a los países de adoptar medidas para conseguir cuellos de botella más seguros y saludables y, en general, pasan toda la dinámica de fomentar la cultura de prevención y la protección en la industria de la construcción.

Por su parte, en la Unión Europea, la Directiva 92/57/CEE de 24 de junio establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo temporales o móviles. Esta Directiva establece el parámetro para que las obras de construcción cumplan unas exigencias de seguridad estrictas y una planificación y organización del trabajo que protejan a los trabajadores de los riesgos en especial aquellos más específicos. La aplicación de estas directivas hace que los proyectos de construcción en la UE se lleven a término cumpliendo los máximos estándares de seguridad, asegurando la salud de los trabajadores y reduciendo la probabilidad de accidentes y enfermedades relacionadas con el trabajo.

Normas Ambientales y de Sostenibilidad

Se requiere que para el cumplimiento de los acuerdos, los países adopten políticas y medidas para la reducción de la huella de carbono desde la opción por prácticas sostenibles para la construcción, en la que los proyectos de construcción deben declararse para efecto de asegurarse que sus prácticas van orientadas a la reducción de emisiones, el cuidado del medio ambiente, lo que puede implicarse en la introducción de tecnologías más limpias, el uso intermitente de los recursos hasta conseguir reducir residuos.

El sistema LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) desarrollado por el US Green Building Council es una certificación reconocida a nivel mundial que proporciona un marco para el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de edificios ecológicos. El sistema LEED proporciona la evaluación y certificación de la sostenibilidad de los edificios en aspectos como el uso eficiente de la energía, gestión del agua, el uso de materiales sostenibles y la calidad del entorno interior. La certificación LEED en proyectos de construcción permite a las organizaciones afirmar su compromiso con la sostenibilidad, mejorar la eficiencia operativa y reducir el impacto ambiental de sus edificios.

2.5.2. Contexto nacional

Ley 400 de 1997. Establece disposiciones para el ordenamiento y el control de la construcción en Colombia, promoviendo la calidad y la seguridad en la construcción de edificaciones. La Ley 400 establece requisitos para la ejecución de obras de construcción, la supervisión, y obliga a los constructores a cumplir los requisitos deseados por las entidades que así lo estimen.

Ley 1796 de 2016. Conocida con la Ley de Vivienda. Lleva con ella la regulación en lo que concierne calidad y seguridad de las edificaciones. Introduce disposiciones en torno a la responsabilidad de los constructores y propicia la garantía de calidad de la construcción,

estableciendo medidas de protección en relación al comprador de la vivienda y sus usuarios en relación a los proyectos de construcción.

Normas Técnicas y Códigos

Código de Construcción Colombiano: El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR) establece un conjunto de requisitos técnicos y directrices destinadas a garantizar que los edificios en Colombia sean resistentes a los sismos. Este código es fundamental para asegurar que las estructuras cumplan con los estándares necesarios que permiten soportar eventos sísmicos, priorizando así la seguridad estructural.

Normas Técnicas Colombianas (NTC): Las NTC son directrices que determinan los requisitos y criterios para la construcción de edificaciones en Colombia. Estas normas abordan aspectos relacionados con los materiales, los procesos constructivos y los métodos para asegurar la calidad y seguridad de los proyectos. La adhesión a estas normas es obligatoria en todos los desarrollos de construcción.

Normas Ambientales y de Sostenibilidad

Ley 99 de 1993: Esta ley fundó el Ministerio del Medio Ambiente y creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Regula diversas cuestiones ambientales vinculadas a la

construcción, abarcando la gestión de residuos, la protección de los recursos naturales y el cumplimiento de las normativas ambientales en los proyectos de edificación.

Ley 1801 de 2016: También conocida como el Código de Policía Nacional, esta ley establece disposiciones para la protección del medio ambiente en las actividades de construcción, incluyendo la gestión de residuos y el control de las emisiones contaminantes.

Normas Sobre Responsabilidades Y Garantías

Ley 1150 de 2007: Los principales aspectos de la ley son los siguientes: como línea general establece la probation de la ley 80 de 1994, regula la contratación estatal y sus disposiciones sobre la ejecución de contratos de obra pública en su título VIII, ley que regula la forma de realizar obras públicas, en su artículo 36 señala, los requisitos de la garantía de calidad, establece las cláusulas sobre las garantías contractuales y la responsabilidad ante el contratista respecto de la calidad de la obra pública.

Ley 1480 de 2011 (Estatuto del Consumidor): Establece la protección de los derechos de los consumidores en Colombia, de los aspectos que se enmarcan para el caso de la compra de vivienda y de edificaciones, ha creado garantías respecto de la calidad de los bienes y servicios a favor de los consumidores de los bienes y de los servicios relacionados con la ejecución de la obra.

Órganos y Entidades Reguladoras

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio: Los principales aspectos de la ley 1150 se exponen en el artículo 1 de la ley 1150.

Unidad Administrativa Especial de Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC): Su principal objetivo es la acreditación en todos los sectores, en este sentido, la ONAC esta consolidada en el ámbito de la certificación de entidades de la calidad, en la industria y en toda la certificación que se otorga en el proceso de la construcción.

Instituto de Normas Técnicas de Colombia (ICONTEC): Esta institución es la responsable de fijar normas técnicas y a la complementación del cumplimiento de la calidad de los productos. Esta entidad desarrolla y publica normas técnicas de la construcción, de seguridad, orientadas las exigencias de aseguramiento de la calidad de los productos para cumplir con la obra.

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1.Tipo de investigación

El tipo de investigación planteada es de carácter cuantitativo y se centra en la identificación, análisis y dimensionamiento de los factores críticos que afectan al desempeño de la calidad en proyectos de construcción. Dichos factores se identificarán a partir de una busca de bibliografía que posteriormente se validará y soportará con proyectos de construcción ejecutados por tres empresas de la ciudad de Ocaña, dichas empresas corresponden a CONESPACIOS, ARDICO y INGEBAMER SAS. Adicionalmente, se plantean una serie de fases para lograr alcanzar los objetivos planteados:

- Fase 1: Revisión de literatura y marco teórico
- Fase 2: Caracterización de las empresas seleccionadas
- Fase 3: Identificación y análisis de factores críticos
- Fase 4: Diseño de la metodología de aseguramiento de la calidad
- Fase 5: Elaboración de la guía

El enfoque cuantitativo, siendo acompañado de las técnicas de recolección de los datos primarios y secundarios, propiciará la realización de un análisis riguroso y sistemático y permitirá la obtención de conclusiones que serán fundamentadas y aplicables en el contexto

específico de Ocaña. La incorporación de datos reales de proyectos igualmente ejecutados asegura que la metodología desarrollada sea tanto relevante como práctica para las empresas del sector construcción de la región.

3.2.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

Modelo Metodológico

Objetivos de la investigación	Actividades por objetivo	Indicador por actividad
Obj 1. Analizar las características organizacionales de las empresas seleccionadas del sector de la construcción en ocaña, norte de santander, identificando tipos de proyectos desarrollados y las políticas de calidad implementadas, con el propósito de establecer una línea del sistema de calidad implementado por las empresas.	Act 1. Recolección de información documental y organizacional	Ind 1. Informe levantamiento de información
	Act 2. Entrevistas y encuestas a representantes clave	Ind 2. Encuestas
	Act 3. Elaborar un diagnóstico inicial y línea base.	Ind 3. Línea base
Obj 2. Determinar los factores críticos que impactan el desempeño de la calidad en proyectos de construcción mediante un análisis comparativo entre los datos	Act 4. Identificación y análisis de variables críticas.	Ind 4. Número de variables críticos identificados a partir del análisis.

reportados en la literatura y los observados en la ejecución de los proyectos de las empresas seleccionadas a fin de establecer aquellos factores que deben ser considerados en el desarrollo de la metodología de aseguramiento de la calidad.	Act 5. Recolección de datos a partir de cuestionarios estructurados	Ind 5. Encuesta
	Act 6. Análisis estadístico de los datos	Ind 6. Análisis de correlación y anova
Obj 3. Elaborar una guía práctica de la metodología propuesta para el aseguramiento de la calidad para proyectos de construcción, integrando tecnologías innovadoras, buenas prácticas de gestión, y estrategias efectivas que respondan a los factores críticos identificados, y que contribuyan a mejorar la eficiencia y efectividad en la ejecución de los proyectos.	Act 7. Desarrollo de la metodología	Ind 7. Metodología
	Act 8. Desarrollo y redacción de recomendaciones prácticas basadas en los factores críticos identificados y estrategias evaluadas.	Ind 8. Guía practica

3.3.Población

La población objeto de investigación está constituida por las empresas del sector de la construcción que están radicadas en la ciudad de Ocaña, en el departamento de Norte de Santander; empresas que están orientadas al desarrollo de proyectos residenciales, comerciales e infraestructurales sin restricción del tamaño o capacidad.

3.4.Muestra

La muestra se seleccionará de manera intencionada, es decir, atendiendo a criterios de pertinencia y de representatividad, y que estará conformada por las siguientes empresas previamente identificadas:

• CONESPACIOS

• ARDICO

• INGEBAMER SAS

Estas empresas son elegidas por su trayectoria en la construcción en la región y por su capacidad para aportar información pertinente sobre la implementación de sistemas de calidad en proyectos locales.

3.5.Técnicas de recolección y análisis de la información

- Revisión documental

Descripción: Consiste en realizar la recolección y análisis tanto formal como contextual de la documentación entregada por las empresas seleccionadas; se trata de manuales de calidad, informes de proyectos, los registros de certificaciones (ISO 9001, otras más específicas), documentación sobre políticas internas.

Instrumentos: Se usará una guía de revisión de la documentación que está estructurada para extraer información que sea relevante.

- Entrevistas semiestructuradas

Descripción: Se desarrollarán entrevistas a gerentes, supervisores y responsables de calidad, a fin de profundizar en las características de cómo se organizan las empresas, además de las políticas de calidad que se encuentran implementadas.

Instrumentos: Un guión de entrevistas con preguntas abiertas y centradas en las áreas de interés (estructura organizacional, tipologías de proyectos, sistemas de calidad).

Frecuencia: Una entrevista por cada figura clave de las tres empresas seleccionadas para el estudio.

- Encuestas estructuradas

Descripción: Aplicación de encuestas al personal administrativo y operativo de empresas seleccionadas a fin de obtener información cuantitativa sobre las percepciones y experiencias con sistemas de calidad.

Instrumentos: Un cuestionario estructurado con preguntas cerradas, escalas tipo Likert, con el fin de medir la implementación de políticas de calidad desde la óptica de sus responsables, lo mismo que la efectividad de las mismas.

Población objetivo: Muestreo representativo del personal de las empresas seleccionadas.

Capítulo 4. Resultados

4.1. Analizar las características organizacionales de las empresas seleccionadas del sector de la construcción en Ocaña, Norte de Santander, identificando tipos de proyectos desarrollados y las políticas de calidad implementadas, con el propósito de establecer una línea del sistema de calidad implementado por las empresas.

El sector de la construcción en Colombia se encuentra en un momento crucial de su evolución. Si bien históricamente ha sido un motor fundamental del desarrollo económico y social del país, enfrenta importantes retos y oportunidades en el contexto actual. Como refleja el último informe de la Superintendencia de Sociedades a corte de inicios de 2024, se estima que 539 compañías del sector se encuentran en insolvencia y adeudan más de 20 billones de pesos, en comparación con inicios de 2023, cuando los procesos de reorganización involucraban más de 450 empresas, afectando a más de 16.000 empleos y $14.935 millones COP en activos a cierre del año.

Para comprender a fondo la dinámica del sector, es fundamental analizar los indicadores clave de eficiencia, como el tiempo de construcción, el uso de recursos y la reducción de residuos. Según el DANE, el valor agregado del sector en 2023 fue de $57.9 billones de pesos, reflejando una disminución del 2.5% en comparación con 2022. Sin embargo, la venta de vivienda experimentó un crecimiento del 4%, con 250.000 unidades comercializadas, según la Cámara Colombiana de la Construcción (Camacol). Esta dualidad de tendencias resalta la

necesidad de examinar cómo las empresas han adaptado sus prácticas para mejorar la eficiencia operativa y garantizar su sostenibilidad.

4.1.1. Datos del sector entre 2023 y 2024

Durante 2023, el sector generó un promedio de 1.033.000 empleos formales, representando el 7.2% del total en Colombia, según el DANE. Su aporte al PIB fue del 4.3%. Estas cifras indican la importancia del sector como dinamizador económico y social, por lo que es esencial evaluar los mecanismos implementados por las empresas para optimizar sus operaciones y mejorar la gestión de calidad en los proyectos constructivos.

Para comprender la eficiencia del sector, es necesario desglosarlo en cuatro subsectores: construcción de obras civiles, construcción de vivienda y edificaciones, cemento y concreto, y ladrillos y enchapes. Cada uno está interconectado, por lo que la dinámica de uno afecta directamente a los demás. Específicamente, el ámbito de las obras civiles está sufriendo y enfrentando retos, de hecho, los recursos empleados en obras de infraestructura han ido igualmente en decremento, lo que ha afectado muy especialmente el consumo de cemento y de concreto; lo que pone de manifiesto la necesidad de evaluar cuáles son las estrategias utilizadas por las empresas del sector para hacer frente a los efectos negativos y mejorar el rendimiento de un segmento orientado mayoritariamente hacia el crecimiento.

El subsector de la construcción de viviendas, por su lado, que representa más del 50% del PIB total del sector, se encuentra en un proceso de desaceleración. De hecho, en términos comparativos, se ha registrado una contracción del 18% en el primer trimestre de 2024 respecto al mismo trimestre de 2023. Entre otros motivos, debido a la disminución de subsidios, tasas de interés elevadas y la brecha entre la oferta y la demanda. Sin embargo, algunas empresas están desarrollando estrategias para mejorar su eficiencia y su sostenibilidad, tales como la optimización del recurso y la utilización de nuevas tecnologías constructivas.

El acceso a la vivienda continúa siendo un problema, dada la diferencia existente entre la demanda anual de 370.000 unidades frente a una oferta de 170.000. Esta balanza genera sobreprecios en la vivienda y una difícil planificación de proyectos sostenibles. La gestión de los materiales y la mejora en los sistemas constructivos son aspectos importantes si lo que se pretende es reducir el coste y mejorar la calidad de los edificios. La utilización de materiales novedosos y prácticas constructivas sostenibles pueden ser elementos diferenciadores para las empresas del sector.

4.1.2. Encuestas dirigidas a empresas del sector

A continuación, se presentan los resultados de las encuestas aplicadas a empresas del sector de la construcción de Ocaña. Estas encuestas se realizaron con el objetivo de recopilar información sobre la tipología de las empresas, las características de los proyectos llevados a

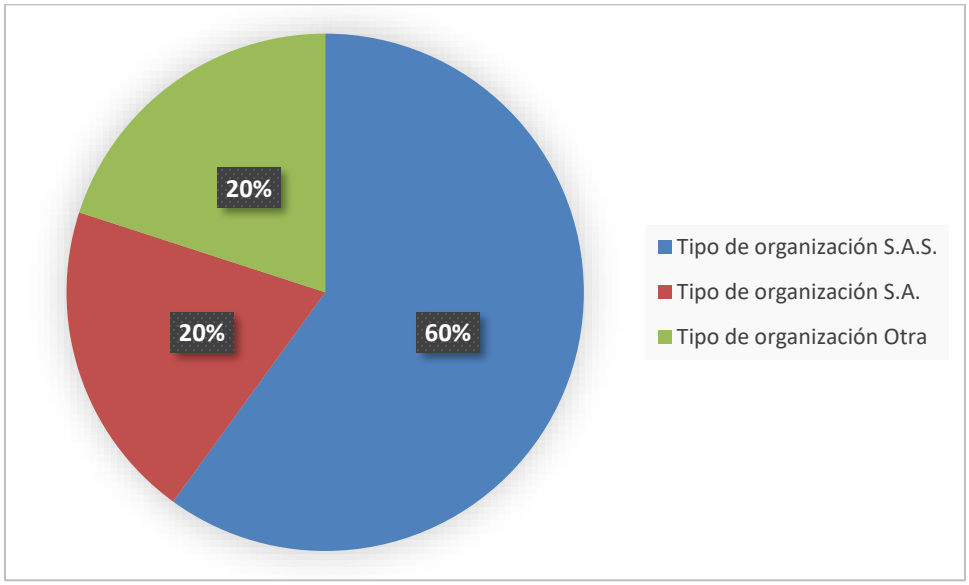
cabo, las políticas de calidad y las estrategias de sostenibilidad que han sido adoptadas por las empresas del sector.

La realización de estas encuestas se limitó únicamente a las empresas que han desarrollado proyectos con enfoque en la calidad. Esta limitación de las empresas encuestadas da como resultado que el número de datos recolectados no fue muy grande, lo que limita el análisis. Sin embargo, con los resultados obtenidos es posible extraer tendencias y factores clave que favorecen la gestión y desempeño de la calidad de los proyectos de construcción. En las líneas siguientes se muestran los principales resultados obtenidos de las respuestas recogidas.

En cuanto al tipo de organización, la mayor parte de las empresas encuestadas son de tipo Sociedad por Acciones Simplificada (S.A.S), dado que tres de las cinco respuestas recogidas así lo manifiestan. Una de las empresas se autodenomina Sociedad Anónima (S.A.), mientras que otra se clasifica en otro tipo de organización, lo que parece indicar que el tipo de organización que predomina en el sector de la construcción en Ocaña es la Sociedad por Acciones Simplificada (S.A.S).

Figura 1.

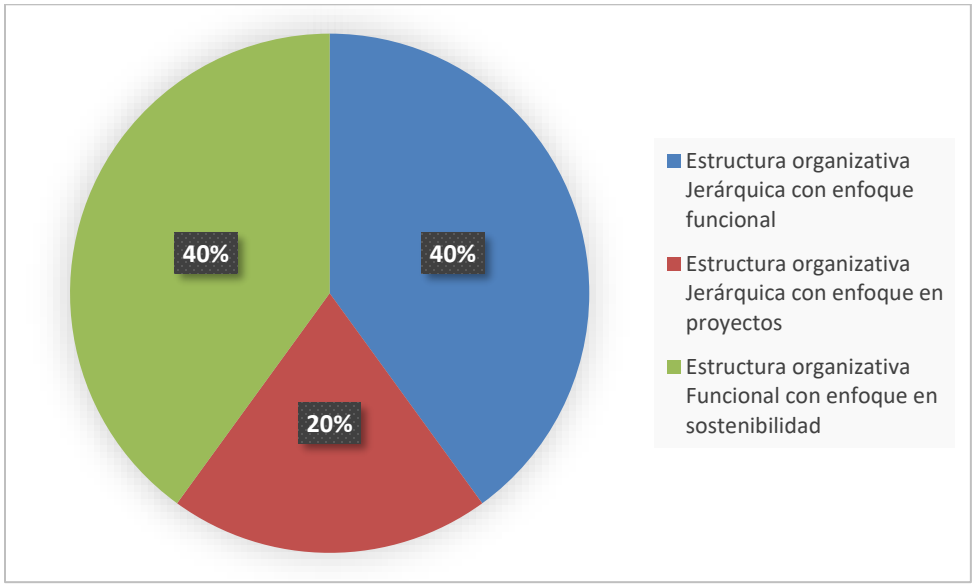
Tipo de organización



Respecto a la estructura organizativa, se observa que dos empresas operan bajo un modelo jerárquico con enfoque funcional, mientras que otras dos han adoptado una estructura funcional con enfoque en sostenibilidad. Solo una empresa sigue un esquema jerárquico con enfoque en proyectos. Este hallazgo indica una tendencia hacia la sostenibilidad dentro de la organización empresarial en el sector.

Figura 2.

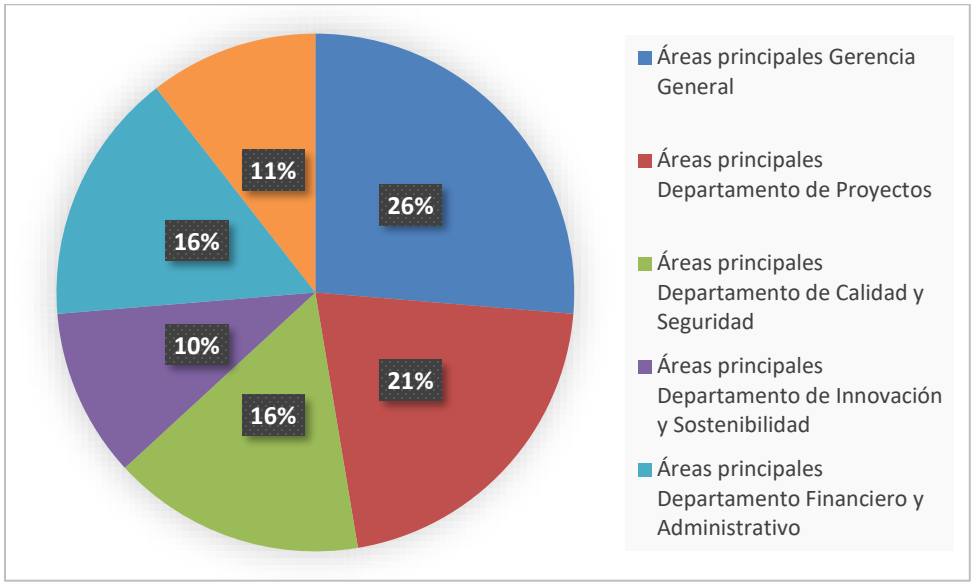
Estructura organizativa



En cuanto a las áreas principales dentro de las empresas, todas cuentan con una Gerencia General, lo que demuestra una estructura administrativa centralizada. Cuatro empresas cuentan con un Departamento de Proyectos, mientras que tres disponen de un Departamento de Calidad y Seguridad, un Departamento Financiero y Administrativo, y un Departamento de Recursos Humanos. Por su parte, dos empresas han incorporado un Departamento de Innovación y Sostenibilidad, lo que refleja un interés creciente en nuevas tendencias del sector.

Figura 3.

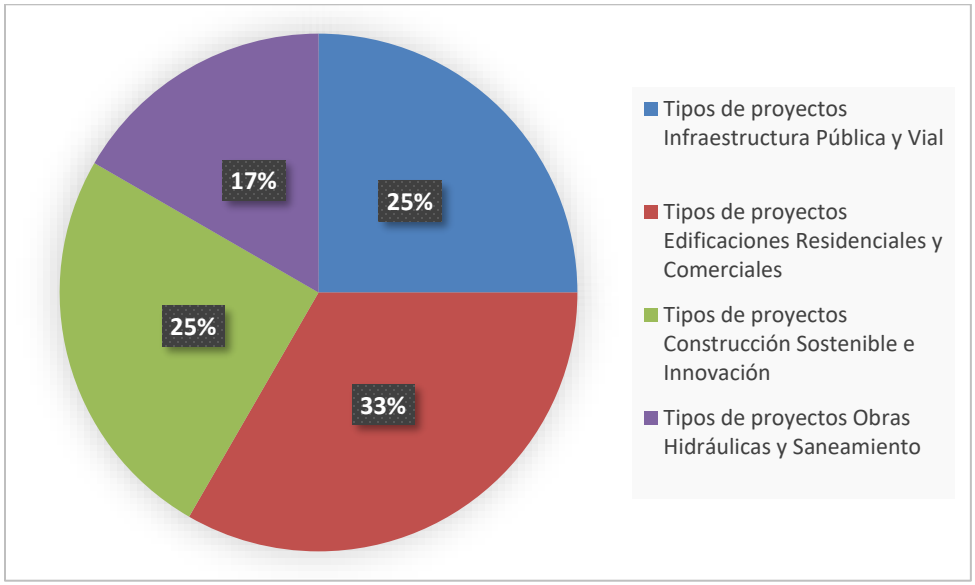
Áreas principales dentro de las empresas



En lo referente a los tipos de proyectos desarrollados, cuatro empresas han trabajado en edificaciones residenciales y comerciales, lo que representa la categoría más común. Tres empresas han ejecutado proyectos de infraestructura pública y vial, así como de construcción sostenible e innovación. Solo dos empresas han desarrollado proyectos en el área de obras hidráulicas y saneamiento, evidenciando un menor enfoque en este tipo de iniciativas.

Figura 4.

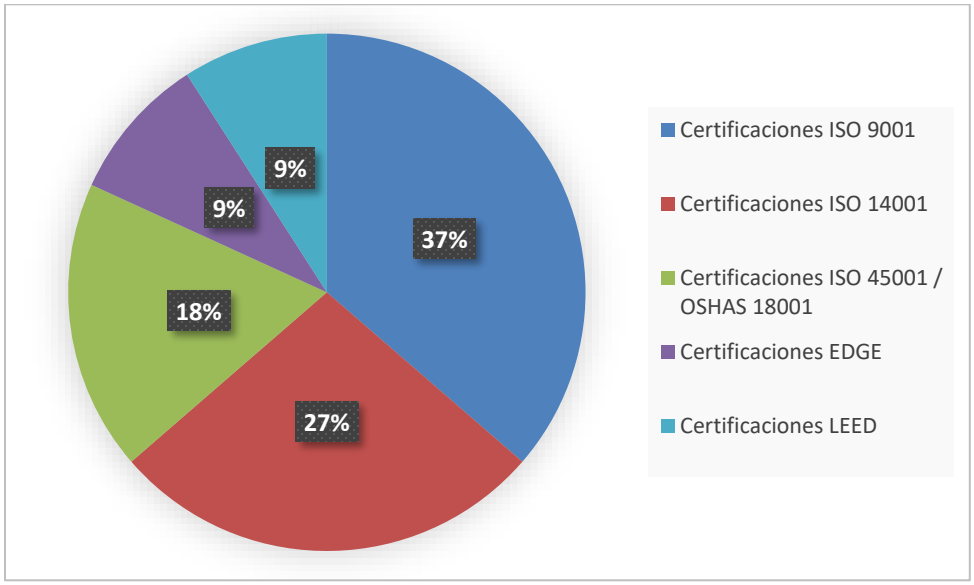
Tipos de proyectos en las empresas



En relación con las certificaciones de calidad, la más implantada es la ISO 9001, dado que cuatro empresas la han obtenido, seguida por la ISO 14001 con tres empresas. Dos empresas han sido certificadas ISO 45001 / OSHAS 18001; la certificación EDGE ha sido adoptada por una empresa y la certificación LEED también ha sido adoptada por una empresa. Estos datos parecen demostrar que hay un mayor compromiso con la gestión de la calidad, dado que la sostenibilidad no parece ser una prioridad generalizada en cuanto a certificaciones se refiere.

Figura 5.

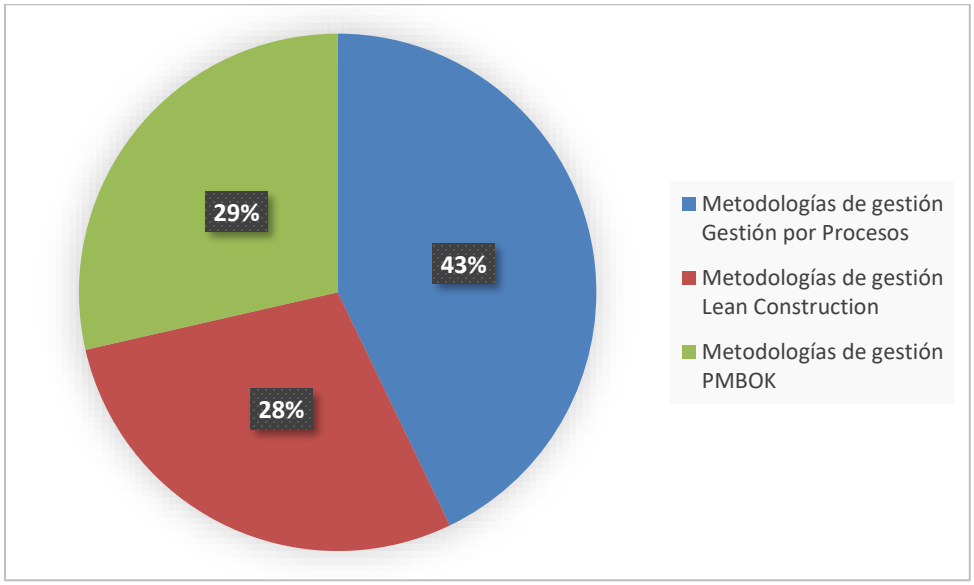
Certificaciones de calidad.



Respecto a este apartado de metodologías de gestión, la Gestión por Procesos sigue siendo con 3 empresas la más recurrente. En el caso de Lean Construction y PMBOK están presente en 2 empresas cada uno, lo que viene a mostrar que las metodologías de gestión más tradicionales siguen dominando el sector.

Figura 6.

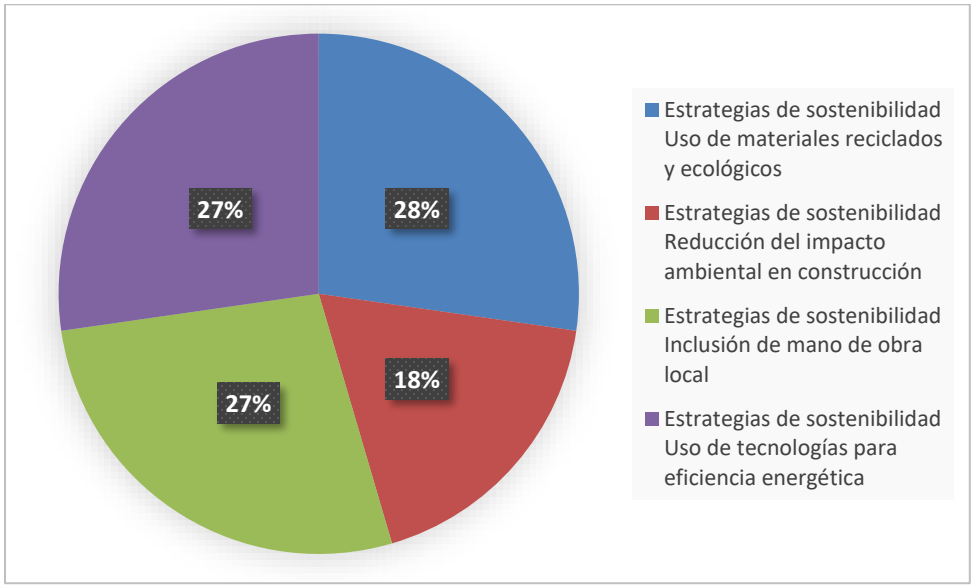
Metodologías aplicadas.



En cuanto a estrategias de sostenibilidad, 3 empresas han implementado la utilización de materiales reciclados y ecológicos, la incorporación de mano de obra local y tecnologías para eficiencia energética; mientras que sólo 2 había optado por la reducción del impacto ambiental en la construcción, lo que también hace entender que la sostenibilidad va adquiriendo un mayor valor, aunque la forma en que cada empresa la aplica depende de las estrategias adoptadas para ello.

Figura 7.

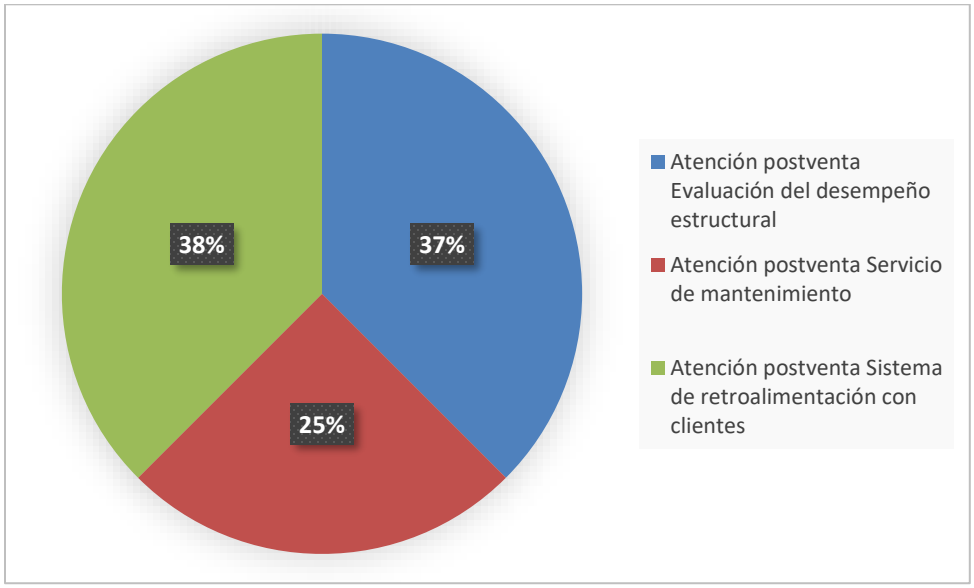
Estrategias de sostenibilidad implementadas



Por otro lado, respecto a la atención post-venta, 3 empresas evaluaron el desempeño estructural y procedieron a poner en marcha un sistema de retroalimentación con los clientes; 2 tienen sistema de mantenimiento post-venta. Estas características reflejan un interés por garantizar la calidad y la satisfacción del cliente, aunque se debería tener en cuenta que el mantenimiento post-venta no está constituido como una práctica habitual en todas las empresas que han sido estudiadas.

Figura 8.

Atención postventa



4.1.3. Análisis de las empresas seleccionadas

De las 5 empresas solamente fue posible obtener una mayor información de 3 empresas, que aceptaron poder ofrecer información más detallada en el proyecto de calidad que desarrollan. Para comprender mejor las prácticas organizacionales y las estrategias de calidad utilizadas se hará con estas 3 empresas del sector, evaluando sus características organizativas, qué tipo de proyectos son los desarrollados por cada una de ellas, así como las políticas de calidad que aplican; y así se reconocerán fortalezas, debilidades y buenas prácticas que ayudan con la eficiencia y sostenibilidad de las operaciones y la imagen sobre la gestión y el rendimiento de las empresas del sector, en la práctica, así como en el contexto de localización donde se desarrollan y las características que lo determinan. A continuación, se encuentra la información obtenida.

4.1.3.1. Empresa 1: CONESPACIOS

Características organizacionales: Es una empresa de construcción con sede en Ocaña, especializada en proyectos de infraestructura sostenible y edificaciones residenciales y comerciales. Su estructura organizacional está basada en la integración de procesos eficientes, tecnología avanzada y sostenibilidad.

- **Tipo de Organización:** Sociedad por Acciones Simplificada (S.A.S.)
- **Estructura Organizativa:** Jerárquica con enfoque funcional
- **Áreas Principales:**
    - **Gerencia General:** Dirección estratégica y toma de decisiones.
    - **Departamento de Proyectos:** Planificación, diseño y ejecución de obras.
    - **Departamento de Calidad y Seguridad:** Implementación de normas y estándares de calidad.
    - **Departamento de Innovación y Sostenibilidad:** Desarrollo de nuevas tecnologías y materiales.
    - **Departamento Financiero y Administrativo:** Gestión de costos y recursos.
    - **Departamento de Recursos Humanos:** Selección y capacitación de personal.

Tipos de Proyectos Desarrollados: CONESPACIOS se enfoca en tres líneas de negocio principales:

1. **Infraestructura Pública y Vial:**
    - Construcción de carreteras y puentes.
    - Infraestructura para el transporte urbano.
    - Obras de saneamiento básico.
2. **Edificaciones Residenciales y Comerciales:**
    - Viviendas de interés social (VIS) y de alto estándar.
    - Centros comerciales y oficinas.
    - Proyectos de construcción modular sostenible.
3. **Construcción Sostenible e Innovación:**
    - Edificaciones con certificaciones ambientales (LEED, EDGE).
    - Implementación de materiales innovadores como concreto reciclado y bio-concreto.
    - Desarrollo de proyectos con eficiencia energética y sistemas de aprovechamiento de agua.

Políticas de Calidad Implementadas: CONESPACIOS ha adoptado un enfoque basado en la mejora continua y la satisfacción del cliente, fundamentado en estándares internacionales.

- **Cumplimiento Normativo:** Se rige por normativas nacionales e internacionales como ISO 9001 (Gestión de Calidad), ISO 14001 (Gestión Ambiental) y OSHAS 18001 (Seguridad y Salud en el Trabajo).
- **Gestión de Procesos:** Implementa un sistema de gestión por procesos para garantizar la eficiencia en cada etapa del proyecto.
- **Control de Materiales y Técnicas de Construcción:** Supervisión rigurosa de materiales y metodologías para garantizar calidad y durabilidad.
- **Seguridad y Salud en el Trabajo:** Protocolos de seguridad en obra, capacitaciones y auditorías internas.
- **Sostenibilidad y Responsabilidad Social:** Estrategias para minimizar el impacto ambiental y promover la inclusión de mano de obra local en los proyectos.
- **Atención al Cliente y Postventa:** Sistema de retroalimentación y gestión de garantías para asegurar la satisfacción del cliente.

4.1.3.2. Empresa 2: ARDICO

Características organizacionales: Es una empresa constructora con sede en Ocaña, especializada en grandes proyectos de infraestructura vial y urbana. Su estructura organizacional está diseñada para garantizar la eficiencia en la ejecución de proyectos de alta complejidad.

- **Tipo de Organización:** Sociedad Anónima (S.A.)
- **Estructura Organizativa:** Jerárquica con enfoque en proyectos

- **Áreas Principales:**
    - **Gerencia General:** Dirección y planificación estratégica.
    - **Departamento de Infraestructura y Obras Públicas:** Desarrollo y ejecución de proyectos viales y urbanos.
    - **Departamento de Calidad y Seguridad:** Supervisión y cumplimiento de normativas técnicas.
    - **Departamento de Ingeniería y Diseño:** Desarrollo de soluciones innovadoras y planificación de obras.
    - **Departamento Financiero y Administrativo:** Gestión presupuestaria y control de costos.
    - **Departamento de Logística y Suministros:** Gestión de materiales y equipos de construcción.

2. Tipos de Proyectos Desarrollados

ARDICO se especializa en proyectos de gran escala, con un enfoque en el desarrollo de infraestructura sostenible y segura.

- **Infraestructura Vial y Urbana:**
    - Construcción y mantenimiento de carreteras y puentes.
    - Infraestructura para transporte público y movilidad sostenible.
    - Desarrollo de parques y espacios públicos urbanos.

- **Obras Hidráulicas y Saneamiento:**
    - Construcción de sistemas de alcantarillado y acueductos.
    - Obras de mitigación de inundaciones.
    - Plantas de tratamiento de aguas residuales.
- **Infraestructura Industrial y Comercial:**
    - Zonas logísticas y bodegas.
    - Edificaciones para empresas y parques industriales.
    - Construcción de centros de distribución y almacenamiento.

3. Políticas de Calidad Implementadas

ARDICO trabaja bajo un enfoque de excelencia operativa y cumplimiento normativo.

- **Normatividad y Certificaciones:** Cumple con ISO 9001 (Gestión de Calidad), ISO 14001 (Gestión Ambiental) e ISO 45001 (Seguridad y Salud en el Trabajo).
- **Gestión de Proyectos:** Aplicación de metodologías PMBOK y Lean Construction para optimización de tiempos y recursos.
- **Supervisión y Control:** Inspección rigurosa de materiales, técnicas constructivas y procesos de ejecución.
- **Seguridad en el Trabajo:** Protocolos estrictos para prevenir accidentes y garantizar condiciones seguras en obra.

- **Innovación y Sostenibilidad:** Uso de tecnologías de pavimentación ecológica y materiales reciclables en proyectos viales.
- **Atención Postventa:** Evaluación del desempeño estructural y servicio de mantenimiento para infraestructuras construidas.

4.1.3.3. Empresa 3: INGEBAMER SAS

Características organizacionales: Es una empresa con sede en Ocaña, especializada en edificaciones residenciales y comerciales con un enfoque en sostenibilidad y eficiencia energética. Su estructura organizacional está diseñada para garantizar calidad, innovación y cumplimiento de normativas ambientales.

- **Tipo de Organización:** Sociedad por Acciones Simplificada (S.A.S.)
- **Estructura Organizativa:** Funcional con enfoque en sostenibilidad
- **Áreas Principales:**
    - **Gerencia General:** Dirección y planificación estratégica.
    - **Departamento de Proyectos y Construcción:** Diseño, planificación y ejecución de obras.
    - **Departamento de Calidad y Seguridad:** Implementación y supervisión de normativas técnicas y ambientales.

- **Departamento de Innovación y Eficiencia Energética:** Desarrollo de soluciones de construcción sostenible.
- **Departamento Comercial y Atención al Cliente:** Gestión de ventas y servicio postventa.
- **Departamento Administrativo y Financiero:** Control de costos y presupuesto de proyectos.

2. Tipos de Proyectos Desarrollados

INGEBAMER SAS. se especializa en la construcción de edificaciones sostenibles y eficientes, integrando tecnologías para el ahorro energético y la reducción del impacto ambiental.

- **Edificaciones Residenciales y Comerciales:**
  - Viviendas de interés social (VIS) con eficiencia energética.
  - Edificios multifamiliares con certificaciones ambientales.
  - Centros comerciales y oficinas con diseño bioclimático.
- **Construcción de Proyectos Sostenibles:**
  - Edificaciones con sistemas de captación y reutilización de agua.
  - Proyectos con fachadas y techos verdes para la reducción del efecto isla de calor.
  - Uso de materiales ecológicos y reciclables en la construcción.

- **Infraestructura Urbana y Paisajismo:**
    - Desarrollo de parques urbanos sostenibles.
    - Construcción de senderos ecológicos y ciclovías.
    - Restauración de espacios públicos con materiales de bajo impacto ambiental.

3. Políticas de Calidad Implementadas

INGEBAMER SAS se basa en altos estándares de calidad y sostenibilidad para garantizar edificaciones eficientes y duraderas.

- **Normatividad y Certificaciones:** Cumple con ISO 9001 (Gestión de Calidad), ISO 14001 (Gestión Ambiental) y certificaciones EDGE y LEED en eficiencia energética.
- **Diseño Bioclimático:** Integración de estrategias pasivas para mejorar la eficiencia térmica y reducir el consumo energético.
- **Control de Materiales:** Uso de insumos con menor huella de carbono y certificaciones ambientales.
- **Eficiencia en la Construcción:** Aplicación de metodologías Lean Construction para optimización de tiempos y reducción de residuos.
- **Seguridad y Bienestar Laboral:** Implementación de protocolos para la seguridad en obra y bienestar de los trabajadores.
- **Atención Postventa y Mantenimiento:** Evaluaciones periódicas de las edificaciones para garantizar su óptimo desempeño.

4.1.4. Línea base en términos de calidad

- **Normas y Certificaciones:** Todas las empresas implementan sistemas de gestión de calidad basados en normas internacionales como ISO 9001, ISO 14001, y normas de seguridad como OHSAS 18001 o ISO 45001. Además, la Empresa 3 incluye certificaciones EDGE y LEED en eficiencia energética y sostenibilidad.
- **Gestión de Procesos:** Las tres empresas adoptan metodologías estructuradas para la gestión de proyectos y la calidad, como sistemas de gestión por procesos (Empresa 1), PMBOK (Empresa 2), y Lean Construction (aplicado por todas, pero destacado en las empresas 2 y 3).
- **Control de Materiales y Técnicas de Construcción:** La supervisión y control de los materiales son una prioridad en todas las empresas, buscando asegurar la durabilidad, seguridad y sostenibilidad de los proyectos.
- **Seguridad y Salud en el Trabajo:** Todas las empresas implementan protocolos rigurosos de seguridad en obra, con capacitaciones y auditorías internas para prevenir accidentes y garantizar el bienestar de los trabajadores.
- **Innovación y Sostenibilidad:** Las tres empresas están comprometidas con la sostenibilidad, cada una con un enfoque único. La Empresa 1 se destaca en el uso de materiales innovadores como concreto reciclado y bio-concreto, la Empresa 2 apuesta por la pavimentación ecológica, y la Empresa 3 integra estrategias bioclimáticas y materiales ecológicos.

- **Atención al Cliente y Postventa:** Todas las empresas tienen sistemas orientados a la satisfacción del cliente, que incluyen la atención postventa y la evaluación periódica de los proyectos para asegurar su desempeño a largo plazo.

4.2. Determinar los factores críticos que impactan el desempeño de la calidad en proyectos de construcción mediante un análisis comparativo entre los datos reportados en la literatura y los observados en la ejecución de los proyectos de las empresas seleccionadas a fin de establecer aquellos factores que deben ser considerados en el desarrollo de la metodología de aseguramiento de la calidad.

Para determinar los factores críticos que impactan el desempeño de la calidad en proyectos de construcción mediante un análisis comparativo entre los datos reportados en la literatura y los observados en la ejecución de los proyectos de las empresas seleccionadas, se deben seguir los siguientes pasos:

4.2.1. Revisión de la Literatura sobre Gestión de Calidad en Proyectos de Construcción

El *Construction Industry Institute* (CII), con sede en Austin, Texas, y su *Quality Management Task Force* (Fuerza de Tarea de Gestión de Calidad) llevaron a cabo una investigación para identificar las organizaciones y técnicas de gestión de calidad que se están empleando para mejorar el desempeño de calidad en la industria de la ingeniería y la construcción (Matthews y Burati, 1989).

La *gestión de calidad total* (TQM) es un esfuerzo a nivel de toda la empresa que involucra a todos los miembros de la organización en un esfuerzo por mejorar el desempeño. Permea todos los aspectos de la empresa y convierte la calidad en un objetivo estratégico

primordial. El TQM se logra mediante un esfuerzo integrado entre el personal de todos los niveles para aumentar la satisfacción del cliente mediante la mejora continua del desempeño.

4.2.1.1. Antecedentes

La gestión efectiva de la calidad y la productividad, definida dentro del concepto japonés de *control total de calidad* (TQC), es en gran parte reconocida como el catalizador detrás de las extraordinarias mejoras en la calidad y las simultáneas reducciones en costos que la industria japonesa ha experimentado desde 1950 (*The leading*, 1988). El concepto japonés de TQC ha pasado a ser conocido como TQM (gestión de calidad total) a medida que ha sido adoptado y aplicado en los Estados Unidos. La base del concepto moderno japonés de TQC tiene sus raíces en las enseñanzas de los Drs. W. Edwards Deming y Joseph Juran, dos figuras clave en la evolución de la gestión de calidad en Japón. En agradecimiento por sus esfuerzos, Juran fue galardonado con la Orden del Tesoro Sagrado en 1981 por el Emperador Hirohito (Teresko, 1982).

Durante la década de 1950, expertos en calidad de los Estados Unidos, notablemente Deming y Juran, aceptaron ayudar a los japoneses a mejorar la calidad de sus productos y aumentar sus exportaciones. Deming realizó varios viajes a Japón, a petición de la *Japanese Union of Scientists and Engineers* (JUSE), para impartir seminarios sobre control estadístico de procesos y cómo incorporar la calidad al proceso. Deming subrayó que el 85% de los problemas que se encuentran en la manufactura están relacionados con el proceso y que se pueden usar

estadísticas para controlar ese proceso. Su filosofía se centra en que la calidad no puede ser inspeccionada en el proyecto, ya sea un automóvil o un edificio, y que la gestión debe concentrarse en mejorar el proceso. La gestión no está encargada de resolver todos los problemas del sistema, pero tiene la responsabilidad de proporcionar a los trabajadores las herramientas necesarias para abordar efectivamente los problemas del sistema.

Con el objetivo de lograr más mejoras, en 1954 JUSE invitó a Juran a realizar un seminario sobre gestión de control de calidad. Las conferencias de Juran presentaron un enfoque gerencial para el control de calidad y se enfocaron en lograr la satisfacción del cliente mediante un enfoque de trabajo en equipo de proyectos, con mejoras proyecto por proyecto. Juran destacó la importancia de la capacitación y el liderazgo práctico por parte de la alta dirección para que se logren mejoras en la calidad. Este concepto fue muy atractivo para los japoneses, y "por primera vez, el término QC (Control de Calidad) fue posicionado como una herramienta vital de gestión" (Imai, 1986).

Los japoneses continuaron adaptando las enseñanzas de los expertos para satisfacer las necesidades específicas de sus industrias. El concepto TQC en Japón ha continuado evolucionando de tal manera que ahora la mayoría de los nuevos conceptos, sistemas y herramientas que se utilizan ampliamente en Japón hoy en día han sido desarrollados en Japón y representan mejoras cualitativas sobre el control estadístico de calidad y el control total de calidad de los años 60 (Deming, 1986). TQC ahora cumple un doble rol en Japón: como un potente mecanismo de marketing para garantizar la calidad de sus productos y como un mecanismo para mejorar la efectividad de la gestión (Smith y Smalley, 1988).

En reacción a esta nueva forma de competencia basada en la calidad y la productividad, la última década ha visto un aumento dramático en la atención prestada a la gestión de calidad en los Estados Unidos (Smith, 1988). La gestión de calidad ahora es reconocida como "una variable estratégica principal en la batalla por la cuota de mercado" (Leonard y Sasser, 1982). Desde la publicación de *Quality is Free* en 1979, Philip Crosby se ha unido a Deming y Juran en el aumento de la conciencia sobre la calidad en los Estados Unidos (Crosby, 1979). La filosofía de Crosby se enfoca en transformar la cultura de gestión para que sea receptiva a la mejora de la calidad. Su enfoque comienza desacreditando la suposición de que existe una correlación entre calidad y costo. Crosby mantiene que hacer el trabajo bien desde el principio es más rentable que cometer errores, rastrearlos y corregirlos. Las empresas que no tienen esta sabiduría "probablemente gastan más haciendo trabajo de calidad inferior que si adoptaran un estándar claro, intransigente y de alta calidad de cero defectos" (Dumas et al., 1987).

4.2.1.2. Factores críticos encontrados en la literatura

La calidad en los proyectos de edificación constituye un factor determinante de la sostenibilidad, seguridad y eficiencia de las edificaciones. Obtener niveles altos de calidad en los proyectos implica un enfoque sistemático a la hora de la planificación, ejecución y control de cada una de las fases del proyecto. Sin embargo, factores de gravedad y técnico-operacionales pueden influir en el rendimiento de la calidad.

Reconocer estos factores críticos a la vez que las empresas constructoras y los responsables del proyecto utilizan y reducen los errores darán pie a la mejora de la satisfacción del cliente para el uso de las estrategias de gestión. Por otro lado, el proceso de identificación de estos factores críticos también será fundamental para poder establecer metodologías de control y de cumplimiento en relación a la legislación y la propia legislación de los países en los que la empresa constructora opere, ya sea de forma nacional como internacional.

En el momento de escribir estas líneas, se describen los principales criterios que van a contribuir a conformar el rendimiento de la calidad en los proyectos de edificación:

Tabla 2.

Factores críticos identificados

Factor Crítico	Descripción
Planificación Estratégica	Establecer objetivos claros, cronogramas realistas y estrategias de mitigación de riesgos para evitar sobrecostos y deficiencias en la ejecución.
Liderazgo y Compromiso de la Dirección	La alta dirección debe fomentar una cultura de calidad, asignar recursos adecuados y supervisar el cumplimiento de estándares.
Capacitación y Participación del Personal	Brindar formación continua, fomentar la participación y establecer incentivos para garantizar un equipo comprometido con la calidad.
Enfoque en el Cliente y Cumplimiento de Expectativas	Asegurar que el proyecto cumpla con las necesidades y expectativas del cliente, manteniendo comunicación constante y entregando resultados de calidad.
Diseño y Gestión de Procesos	Validar planos y especificaciones antes de la ejecución, implementar BIM y controlar el cumplimiento de estándares técnicos.

Mejora Continua y Evaluación de Desempeño	Aplicar auditorías internas y externas, establecer indicadores de calidad y documentar lecciones aprendidas.
Gestión de Recursos y Materiales	Seleccionar materiales certificados, inspeccionar su calidad y garantizar la disponibilidad de herramientas y equipos adecuados.
Comunicación Efectiva	Implementar plataformas digitales, realizar reuniones periódicas y mantener registros claros de toda la documentación del proyecto.
Evaluación y Control de Calidad	Implementar planes de inspección, contar con equipos de supervisión y aplicar certificaciones como ISO 9001.
Adaptabilidad al Entorno y Cumplimiento Normativo	Actualizarse sobre normativas, adoptar nuevas tecnologías y garantizar el cumplimiento de regulaciones locales e internacionales.

4.2.2. Recopilación de Datos de las Empresas Seleccionadas

Una vez identificados los factores críticos que son reportados en la literatura, se decidió contrastar los datos con las empresas que accedieron a suministrar información respecto a los proyectos que han desarrollado en la región. Para ello se desarrolló una encuesta estructurada para identificar qué factores críticos impactan más el desempeño de la calidad según cada empresa. Se utiliza una escala de Likert de 1 a 5, donde:

- 1 = Muy en desacuerdo
- 2 = En desacuerdo
- 3 = Neutral
- 4 = De acuerdo
- 5 = Muy de acuerdo

Para ello se diseñó el siguiente formato, lo cual se muestra en la tabla 3

Tabla 3. *Formato de encuesta para evaluación de los factores críticos en las empresas*

Factor Crítico	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Planificación Estratégica					
1. Nuestra empresa dedica tiempo suficiente a la planificación y evaluación de riesgos antes de iniciar los proyectos.					
2. Los cronogramas de trabajo en los proyectos suelen ser realistas y bien establecidos desde el inicio.					
Liderazgo y Compromiso de la Dirección					
3. La alta dirección de la empresa tiene un compromiso activo con la calidad en los proyectos.					
4. La cultura organizacional promueve la mejora continua de los procesos de calidad.					
Capacitación y Participación del Personal					
5. Los empleados reciben formación continua sobre normas de calidad y seguridad.					
6. El personal de la empresa está motivado para participar en la mejora de la calidad del proyecto.					
Enfoque en el Cliente y Cumplimiento de Expectativas					
7. Nuestra empresa tiene un enfoque claro en cumplir con las expectativas de calidad del cliente.					
8. Mantenemos una comunicación constante con el cliente para garantizar que sus necesidades sean atendidas.					
Diseño y Gestión de Procesos					
9. Los diseños y especificaciones del proyecto son validados antes de la ejecución.					
10. Implementamos herramientas como BIM (Building Information Modeling) para mejorar la gestión de los proyectos.					

Mejora Continua y Evaluación de Desempeño

11. Realizamos auditorías internas para asegurar que se cumplan los estándares de calidad.

12. Se evalúa regularmente el desempeño del proyecto para implementar mejoras.

Gestión de Recursos y Materiales

13. Garantizamos la calidad de los materiales mediante una rigurosa selección y prueba.

14. Disponemos de equipos y herramientas en buen estado para realizar las obras.

Comunicación Efectiva

15. La comunicación interna entre los equipos de trabajo es clara y eficiente.

16. Utilizamos plataformas digitales de gestión para facilitar la coordinación y el seguimiento.

Evaluación y Control de Calidad

17. Se implementan planes de inspección y pruebas de calidad durante el desarrollo del proyecto.

18. Contamos con equipos de supervisión que verifican el cumplimiento de los estándares de calidad en cada fase del proyecto.

Adaptabilidad al Entorno y Cumplimiento Normativo

19. Nuestra empresa se mantiene actualizada sobre las regulaciones y normativas locales e internacionales.

20. Adoptamos nuevas tecnologías que optimizan los procesos de construcción y mejoran la calidad.

De cada empresa se encuestaron 5 funcionarios entre la planta administrativa, arrojando en la siguiente tabla, los resultados correspondientes.

Tabla 4.

Resultados de la encuesta

Empresa	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
CONESPACIOS	5	5	5	4	4	4	5	4	5	4	3	4	5	4	4	3	5	5	4	3
CONESPACIOS	5	5	5	3	3	4	4	3	5	3	3	5	5	4	5	3	5	4	3	3
CONESPACIOS	5	5	5	4	3	4	4	4	5	3	4	4	5	5	5	4	5	5	4	4
CONESPACIOS	4	5	5	3	4	5	4	4	5	3	4	5	5	5	3	4	5	5	4	3
CONESPACIOS	4	5	5	3	3	4	5	3	5	4	4	5	5	5	4	3	5	5	4	3
ARDICO	4	5	5	3	4	4	5	3	5	3	3	4	5	5	4	3	5	4	4	4
ARDICO	5	4	5	3	4	5	4	3	5	3	3	4	5	5	4	4	5	5	4	3
ARDICO	4	5	4	4	4	4	4	3	5	3	4	4	5	5	4	3	5	5	4	4
ARDICO	4	5	5	3	4	4	5	4	5	3	3	4	5	5	4	4	5	5	4	4
ARDICO	5	4	5	4	4	4	5	3	5	3	3	5	5	4	4	3	5	5	4	3
INGEBAMER SAS	4	5	5	4	3	4	5	4	5	5	4	5	5	5	4	4	5	5	4	3
INGEBAMER SAS	5	4	5	3	3	4	4	3	5	4	3	4	5	4	5	4	4	5	4	4
INGEBAMER SAS	4	5	5	4	3	4	4	3	5	3	3	5	5	5	4	3	5	4	4	4
INGEBAMER SAS	4	5	4	3	4	4	5	3	5	3	4	4	5	5	4	4	5	4	4	3
INGEBAMER SAS	4	5	5	3	5	3	4	4	5	3	4	4	5	5	4	3	5	5	4	4
Promedio	**4,4**	**4,8**	**4,87**	**3,4**	**3,67**	**4,07**	**4,47**	**3,4**	**5**	**3,33**	**3,47**	**4,4**	**5**	**4,73**	**4,13**	**3,47**	**4,93**	**4,73**	**3,93**	**3,47**

4.2.3. Comparación entre la Literatura y los Proyectos Ejecutados

Una vez recopilados los datos de las empresas, se deben realizar análisis comparativos, identificando coincidencias y discrepancias entre los factores reportados en la literatura y los observados en los proyectos ejecutados por las empresas. Esto permitirá identificar:

- **Factores comunes**: Aquellos que están presentes en la literatura y son también implementados correctamente en los proyectos de las empresas seleccionadas.
- **Brechas**: Factores de la literatura que no están siendo implementados adecuadamente o que no se están observando en los proyectos ejecutados, lo cual puede afectar la calidad.
- **Buenas Prácticas**: Elementos o métodos observados en las empresas que no están ampliamente cubiertos en la literatura, pero que contribuyen positivamente al desempeño de la calidad.

4.2.4. Identificación de Factores Críticos en el Desempeño de la Calidad

En base a los resultados de la encuesta aplicada a las tres empresas de construcción, se puede observar un patrón en cómo los diferentes factores críticos impactan el desempeño de la calidad en sus proyectos. A continuación, se realiza un análisis detallado de cada factor crítico, basado en las respuestas obtenidas. Para cada factor, se analizan las respuestas proporcionadas,

interpretando las puntuaciones de la escala de Likert y extrayendo conclusiones sobre los puntos fuertes y áreas de mejora en la gestión de la calidad.

Con respecto a la planificación y evaluación de riesgos, el promedio es de 4.4, lo que demuestra que las empresas consideran importante y eficaz la planificación y evaluación de riesgos previos al arranque de los proyectos. Esto hace suponer que existe un enfoque apropiado en la identificación y mitigación de riesgos, lo que es fundamental para asegurar el éxito del proyecto desde el arranque del mismo. El promedio acompaña la evaluación de la afirmación, aunque podría subrayarse más la formalización del proceso, especialmente en las empresas con menores valoraciones que podrían ser favorecidas por un mayor esfuerzo y dedicación a dicha evaluación de riesgos.

Para la segunda pregunta: “Los cronogramas de trabajo de los proyectos suelen ser realistas y bien definidos desde el inicio de los proyectos.” El promedio obtenido es de 4.8, lo cual es un promedio muy positivo y muestra que las empresas logran establecer cronogramas realistas y bien definidos desde el inicio de los proyectos. De este modo parece que la gestión del tiempo es una de las principales fortalezas que tienen las empresas objeto de nuestro estudio. Por lo que debemos recomendar para este contenido del cual obtuvimos una valoración positiva que sigan dedicando esfuerzos y recursos a la planificación efectiva de los tiempos, así como el uso de herramientas adicionales como software de gestión de proyectos, implementar alguna metodología de gestión que les ayude todavía más en la creación de cronogramas.

Con respecto al Liderazgo y Compromiso de la Dirección, con respecto a la tercera pregunta “La alta dirección de la empresa tiene un compromiso activo con la calidad en los proyectos.” El promedio que se obtiene es 4.87 lo que indica que la alta dirección de las empresas encuestadas tiene un compromiso activo con la calidad en los proyectos. Esto sugiere que la dirección no sólo tiene una idea clara de la importancia de la calidad, sino que actúan en consecuencia para promoverla dentro de las organizaciones. Se puede afirmar que el compromiso activo es clave para construir una cultura organizacional que valore la calidad a todos los niveles. Por lo que se recomienda continuar con el liderazgo activo y visible sobre la calidad. Se podrían desarrollar iniciativas adicionales a las que ya tenemos, por ejemplo, garantizar la participación directa de la alta dirección en la evaluación y mejora continua de los procesos para estrechar aún más este compromiso.

En relación con la pregunta 4: “La cultura organizacional promueve la mejora continua de los procesos de calidad.” el promedio de 3.4 indica una percepción algo neutra respecto a la cultura organizacional relacionada con la mejora continua. Las empresas no están plenamente convencidas de que la cultura interna promueva de manera efectiva la mejora de la calidad, lo que podría indicar que los procesos de mejora continua no están lo suficientemente arraigados en las organizaciones. Es razonable invertir en fortalecer la cultura organizacional, promoviendo actividades de sensibilización sobre la importancia de la mejora continua y capacitando a los empleados para que se involucren activamente en este proceso.

En lo que respecta a la Capacitación y Participación del Personal y en específico a la pregunta “Los empleados reciben formación continua sobre normas de calidad y seguridad.” El

promedio es de 3.67. esto indica un bajo compromiso con la formación continua en normas de calidad y seguridad lo cual no es una prioridad para muchas empresas. La falta de capacitación constante puede generar brechas en el conocimiento del personal y afectar la calidad de los proyectos. Por lo anterior es fundamental implementar programas de capacitación más robustos, asegurando que todos los empleados, especialmente aquellos en roles clave, reciban formación periódica sobre estándares de calidad y seguridad.

En relación a la pregunta seis “El personal de la empresa está motivado para participar en la mejora de la calidad del proyecto.” El promedio de respuestas es de 4.07, Un promedio moderadamente positivo indica que existe una motivación general para la mejora de la calidad dentro del personal. Sin embargo, aún hay margen para fortalecer el compromiso del equipo en la mejora continua. Se debe fomentar la participación activa del personal a través de incentivos o reconocimientos para aquellos que contribuyan de manera significativa a la mejora de la calidad.

El criterio que corresponde al enfoque en el Cliente y Cumplimiento de Expectativas, por lo que se analiza la pregunta: “Nuestra empresa tiene un enfoque claro en el cumplimiento de las expectativas de calidad del Cliente”. El promedio es de 4.47, que es un promedio bastante alto lo que significa que las empresas reconocen la importancia del cumplimiento de las expectativas de calidad del Cliente, algo que demuestra un enfoque orientado al Cliente en la forma en que se llevan a cabo los procesos de trabajo. Esto deriva en la conveniencia de continuar enfocados en las expectativas del Cliente incorporando herramientas de alimentación y mejorando las relaciones con los Clientes para identificar y cubrir mejor sus expectativas.

En relación a la pregunta 8 “Mantenemos una comunicación constante con el Cliente para asegurar el cumplimiento de sus necesidades.” El promedio de respuesta es de 3.4, entendiendo que al ser un promedio bajo, es un indicador de que aunque existe un enfoque en las expectativas del Cliente, la comunicación constante podría estar bastante lejos de ser lo esperable y que eso pudiera generar malentendidos y una posibilidad de desconexión entre expectativas del Cliente y los resultados finales a los que pueda llegar el proyecto, por lo tanto se sugiere mejorar los canales de comunicación con los Clientes asegurando que exista una interacción constante y eficiente a lo largo del ciclo del proyecto.

Por otro lado, el criterio 5, sobre Diseño y Gestión de Procesos y en relación a la pregunta 9: “Los diseños y especificaciones del proyecto son objeto de validación antes de su ejecución”. El promedio de respuesta es de 5, en otras palabras, la validación de los diseños y especificaciones es una prioridad clara para el conjunto de las empresas, lo que demuestra una buena práctica en la forma en que las empresas entienden que resulta clave para asegurar que los proyectos se ejecuten de acuerdo a los diseños que se han establecido.

La pregunta 10 "Aplicamos herramientas como BIM (Building Information Modeling) para mejorar la gestión de los proyectos." tiene un promedio de 3.33. Un promedio bajo en esta área podría indicar que las empresas no están aplicando adecuadamente tecnologías avanzadas como BIM, lo cual podría limitar su potencial para mejorar la eficiencia y calidad de los proyectos técnicos; por lo cual, se aconseja que se apliquen herramientas como BIM, debido a

que éstas permiten una gestión más eficiente de los proyectos y garantizan una mejor coordinación y planificación de las actividades.

En este criterio 6 referente a la Mejora Continua y Evaluación de Desempeño, al preguntar sobre "Realizamos auditorías internas para asegurar que se cumplan los estándares de calidad". El promedio es de 3.47; ello indica que registrar la realización de auditorías internas es importante, sin embargo, este promedio indica que no se hacen efectivamente o de manera continua, sería importante mencionar que es necesario implementar un sistema de auditorías internas de manera regular para que puedan detectar desviaciones en los estándares de calidad y, así la organización pueda aplicar medidas correctivas.

La pregunta 12: "Se evalúa regularmente el desempeño del proyecto para implementar mejoras." El promedio es de 4.4, esto indica que la evaluación periódica del desempeño es una práctica positiva, lo que puede significar que las empresas están orientadas a la mejora continua, sin embargo, todavía se podría mejorar la manera en que efectúan este proceso para que las mejoras se pongan en práctica de una mejor manera.

En cuanto a la pregunta 13 "Garantizamos la calidad de los materiales mediante una estricta selección y prueba". El promedio es de 5, lo que significa que las empresas encuestadas tienen un enfoque bastante riguroso y firme en cuanto a la selección y prueba de los materiales. Con este puntaje, se puede corroborar que efectivamente, la calidad de los materiales en las obras

de construcción es algo que se tiene en cuenta, para así poder asegurar que los materiales efectivamente cumplan, se mantenga su durabilidad y la seguridad de las obras.

En el caso de la pregunta 14 Contamos con herramientas y equipos en buen estado para llevar a cabo las obras. El promedio es 4.73. Este puntaje indica que efectivamente, de un modo general, las empresas cuentan con recursos en cuanto a herramientas y equipos, lo cual sería un factor que tiene una importancia en la calidad de las obras y la productividad de los proyectos. En cualquier caso, este puntaje también puede corroborar que puede existir cierta variabilidad o mejora en el mantenimiento o actualización de las herramientas y equipos. También se tiene que considerar asegurar de llevar a cabo un programa de mantenimiento preventivo en todas las herramientas y equipos y realizar revisiones periódicas de manera que se pueda asegurar que siempre se esté en condiciones óptimas. También podría ser interesante el asegurar un análisis de la inversión en tecnología que permita mejorar calidad de la mano de obra y la productividad.

En relación con la pregunta 15. La comunicación interna entre los equipos de trabajo es clara y eficiente. El promedio es 4.13. Lo que hace ver que la comunicación interna entre las empresas es bastante efectiva, aunque puede que haya sitios donde puedan mejorarse. La comunicación clara y eficaz es un aspecto muy importante para coordinar a los equipos de trabajo y garantizar que todos estén alineados en la propuesta de calidad y los requisitos del proyecto. Aunque la misma parece ser bastante buena sería recomendable asegurar implementar o reforzar herramientas de comunicación interna, plataformas digitales o reuniones periódicas para asegurar que los equipos se encuentren bien informados y puedan resolver en cualquier momento la mayoría de las dudas a sus capacidades.

En el caso de la pregunta 16. Utilizamos plataformas digitales de gestión que permitan identificar la coordinación y el seguimiento. El promedio es 3.47. lo que significa que el uso de plataformas digitales no es del todo consistente o extenso entre las empresas. En todo caso, indicar que algunas empresas están usando plataformas digitales mientras que otras pueden no estar usando al máximo o no estar empleando en todo caso estas herramientas, lo que puede afectar a la eficiencia y/o a la precisión en el seguimiento.

A continuación, respecto a la pregunta 17. Se utilizan planes de inspección y pruebas de calidad en el desarrollo del proyecto. El promedio fue de 4.93. Lo que indica que las empresas encuestadas suelen utilizar planes de inspección y pruebas de calidad en el desarrollo de los proyectos. Esto es clave para lograr que las obras sean de acuerdo a los estándares de calidad en cada una de las fases de la ejecución. Se deben mantener los planes de inspección y pruebas de calidad, incluso considerarlos como actualizados, de acuerdo a las mejores prácticas o normativas que se vayan incorporando. También es importante que exista personal suficiente y con la formación adecuada para la ejecución de estas tareas.

La pregunta 18. Contamos con equipos de supervisión que verifican el cumplimiento de los estándares de calidad en cada fase del proyecto. Promedio de 4.73. Lo cual indica que las empresas encuestadas cuentan con equipos de supervisión que cumplen un papel muy importante para verificar que la calidad va a ser cumplida durante toda la fase de ejecución del proyecto. Sin embargo, como era en el caso de los equipos y herramientas, podría haber un margen para la

mejora en la provisión de algunos recursos humanos o reforzar la supervisión en determinadas fases del proyecto. Se ha de tener la certeza de que los equipos de supervisión son adecuados tanto en número como en formación y disponen de los equipos necesarios para realizar su trabajo. También podría considerarse la posibilidad de establecer un sistema de retroalimentación o de auditoría para tener una supervisión más apropiada en las fases más críticas del proyecto.

La pregunta 19. Nuestra empresa se mantiene informada sobre las regulaciones y/o normativas locales e internacionales. Obtuvo una puntuación de 3.93. Es decir que, en general, las empresas encuestadas se mantienen informadas de las regulaciones y normativas, aunque es posible que haya áreas en las cuales no se mantengan tan informadas o exhaustivamente. El cumplimiento de la normativa vigente, local e internacional es importante para evitar posibles sanciones y conseguir que los proyectos sean seguros, eficaces y con el mínimo impacto medioambiental. Así mismo, es importante continuar con las labores de control normativo y asegurar que la actualización de la normativa se realice de forma continuada. Se podría considerar la implantación de un sistema de alertas para cambios normativos que nos afectaran.

Por último, para la pregunta 20. Adoptamos y implementamos nuevas tecnologías que posibilitan la optimización de los procesos de construcción y la mejora de la calidad. El promedio es de 3.47. Este resultado da la impresión de que la adopción de nuevas tecnologías no es la habitual o no es suficientemente fuerte en las empresas encuestadas. Algunas empresas pueden estar realizando avances en este sentido, pero otras pueden no estarlo haciendo de la misma forma y pueden no estar aprovechando las oportunidades que pueden dar lugar a mejoras de calidad y optimización de los procesos de la construcción mediante tecnologías. Se debería

fomentar y apostar por la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías de la construcción, así como por la capacitación en estas tecnologías. La inversión en innovación es un factor clave para la capacidad de seguir siendo competitivos y para poder asegurar la calidad a largo plazo.

4.3. Elaborar una guía práctica de la metodología propuesta para el aseguramiento de la calidad para proyectos de construcción, integrando tecnologías innovadoras, buenas prácticas de gestión, y estrategias efectivas que respondan a los factores críticos identificados, y que contribuyan a mejorar la eficiencia y efectividad en la ejecución de los proyectos.

La guía planteada pretende proporciona un enfoque integral para el aseguramiento de la calidad en proyectos de construcción, integrando tecnologías innovadoras, buenas prácticas de gestión y estrategias efectivas para abordar los factores críticos identificados en la industria.

4.3.1. Planificación y Definición de Estándares

4.3.1.1 Requisitos clave basados en las diferentes normativas

De acuerdo con los factores críticos que influyen negativamente en el rendimiento en un determinado proyecto de construcción —insuficiente planificación, escasa supervisión técnica, escasa capacitación del personal, mala selección de los materiales, falta de control sobre los procesos, etc.— es necesario estructurar los requisitos de calidad de forma normativa para dar respuesta a estos factores. Las normas internacionales y nacionales aportan directrices que, aplicadas adecuadamente, pueden ser útiles para minimizar cada uno de ellos.

La norma ISO 9001:2015 establece principios de base para la normalización de un sistema de gestión de la calidad y hace frente a varios de los factores críticos indicados anteriormente. Así, el requisito de gestionar la competencia del personal (cláusula 7.2) establece la adecuada instrucción del personal a través de la formación técnica continua y, por tanto, responde a la falta de capacitación técnica. En la misma línea, el requisito de planificar obteniendo riesgos y oportunidades (cláusula 6.1) responde a la planificación estructurada, al tiempo que la cláusula 8.4 relacionada con el control de los procesos y de los proveedores externos atiende a la falta de control de los subcontratistas y de los suministros.

Por su parte, las normas ASTM hacen especificaciones sobre los materiales de construcción, tales como el concreto, el acero, los agregados, etc. La aplicación de las normas ASTM introduce caminos de verificación que van contra la dificultad en la selección de materiales poco confiables o la escasez de la trazabilidad de los materiales, problemas que tienen un alto nivel de frecuencia. Asimismo, a partir del uso de ensayos normalizados y muestreos "in situ" se puede verificar que los materiales cumplen a los parámetros de resistencia, durabilidad y seguridad, que se traducen en una reducción de los retrabajos y de las no conformidades.

En lo que respecta a LEED, los requerimientos tienen un cariz ambiental y de eficiencia, pero también inciden sobre todavía otros factores críticos, como la falta de la visión crítica del proyecto o la descoordinación entre el diseño y la ejecución, LEED promueve la planificación interdisciplinaria y requerirá el uso de materiales certificados, que permiten enaltecer el estándar de calidad desde una lógica más respetuosa por el medio ambiente; también exige hacer

seguimiento al consumo de recursos, lo que introduce herramientas de medición y mejora continua, cuando dicha situación es el estándar mismo de los proyectos revisados.

La norma NSR-10, que tiene lugar sobre el contexto colombiano, juega un papel fundamental dentro de las exigencias correspondientes a los medios de control que se van a establecer para la seguridad de una estructura, cuyo cumplimiento exhaustivo por medio de la supervisión técnica cualificada contempla el hecho de que al no realizar una supervisión técnica de los procesos estructurales se genera una de las causas que comprometen el resultado final. En adición, esta norma también contempla ensayos forzosos, previos a la ejecución, que aplican las propiedades mecánicas de los materiales que se van a utilizar en el proceso, y contribuyen de esta forma al control de calidad en campo.

Para concluir, las Normas Técnicas Colombianas (NTC) también tienen su papel en este conjunto normativo con el establecimiento de métodos de ejecución, así como unos parámetros mínimos para productos de uso habitual, y las exigencias que éstas implican, incrementan el grado de cumplimiento técnico y estandarizan los procesos, lo que se traduce a su vez en una disminución de la variabilidad en la ejecución, contribuyendo a disminuir la situación de inconformidad frente a la calidad en la ejecución correspondiente al resultado final.

En la siguiente tabla se muestran los factores críticos que se han identificado y su respectivo requisito clave según la norma que corresponda. Esto con el fin de mitigar y dar solución a estos aspectos.

Tabla 5.

Factores críticos mitigados según los requisitos claves de cada normativa

Norma Técnica	Requisito clave	Factor crítico mitigado
ISO 9001:2015	Evaluación competencias del personal	Falta de capacitaciones técnicas
	Planificación basada en riesgos	Ausencia de planificaciones
	Control de proveedores	Falta de control a subcontratistas
	Mejora continua	No hay cultura de una mejora continua
ASTM	Especificaciones técnicas de concreto, acero, suelos y cemento	Uso de materiales inadecuados
	Ensayos de laboratorio y de campo	No hay trazabilidad
	Tolerancias	Retrabajos por deficiencias
LEED	Diseño en un enfoque sostenible	No hay coordinación entre lo diseñado y ejecutado
	Uso de materiales certificados	No hay visión integral del proyecto
	Indicadores de eficiencia energética y de recursos	No hay seguimiento ambiental
	Supervisión técnica obligatoria	Falta de seguimiento y control
NSR-10	Diseño estructural según zona sísmica	Riesgo estructural
	Ensayos estructurales	Falta de certificaciones
NTC	Requisitos físicos y mecánicos de materiales	Variabilidad en procesos constructivos

	Métodos normativos de ejecución	Deficiencia en el control de calidad de obra

4.3.1.2 Indicadores clave de desempeño KPI

La utilización de indicadores clave de desempeño (KPI por sus siglas en inglés) es un recurso clave que permite el seguimiento y el control de la calidad de los proyectos de construcción, pudiendo ser definidos como «una forma de medir la cantidad de avance o cumplimiento de las metas heredadas a través de la calidad de los procesos, la seguridad de obra y la eficiencia del proyecto que quiero cumplir para una toma de decisiones, que permita saber dónde se tiene que mejorar siempre» (Gabriel, 2018). Por tanto, cada KPI permite medir un aspecto objetivo que me permite comprobar la desviación con respecto a las metas que son alcanzadas en relación a la calidad de los procesos, la seguridad de obra diaria o la eficiencia de ejecución de proyecto, fomentando el avance de la toma de decisiones y de mejora continua.

Estos KPIs deben ser específicos, medibles, alcanzables, relevantes y temporales (SMART). A continuación, los KPIs más representativos, clasificándolos en tres grupos:

Los indicadores de calidad permiten controlar el nivel de cumplimiento de los estándares, así como reducir el número de no conformidades y de retrabajos y asegurar la conformidad del producto final, que se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 6.

Indicadores de desempeño KPI en la gestión de la calidad

Indicador	Método de Cálculo	Frecuencia	Meta Estimada
Índice de No Conformidades	No. de no conformidades / Total de inspecciones	Mensual	< 5%
Retrabajo	Horas de retrabajo / Horas totales trabajadas	Quincenal	< 3%
Cumplimiento de especificaciones	Elementos conformes / Total elementos evaluados	Mensual	> 95%
Tiempo de respuesta ante no conformidad	Horas promedio desde el hallazgo hasta la acción correctiva	Semanal	< 48 horas

Los indicadores de seguridad permiten controlar los riesgos laborales, los accidentes y promover una cultura preventiva, tal y como se puede leer en la siguiente tabla.

Tabla 7.

Indicadores de desempeño KPI en la gestión de la seguridad

Indicador	Método de Cálculo	Frecuencia	Meta Estimada
Tasa de frecuencia de accidentes	(No. accidentes con tiempo perdido) / Total de horas-hombre	Mensual	0 o mínima (< 2)
Incidencia de actos inseguros	Actos inseguros reportados / Total de observaciones	Quincenal	< 10%

Índice de cumplimiento en EPP	Trabajadores con EPP adecuado / Total trabajadores en sitio	Diario	100%
Capacitaciones en seguridad	No. de sesiones dictadas / Cronograma previsto	Mensual	> 90% cumplimiento

Los indicadores de eficiencia sirven para controlar la productividad, el uso eficiente de los recursos y el cumplimiento del cronograma establecido, tal y como se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 8.

Indicadores de desempeño KPI en la gestión de la eficiencia

Indicador	Método de Cálculo	Frecuencia	Meta Estimada
Desviación del cronograma	(Duración real - Duración planificada) / Duración planificada	Semanal	< 10% de variación
Eficiencia en uso de materiales	Cantidad real usada / Cantidad estimada (por ítem o rubro)	Mensual	> 95% eficiencia
Productividad de mano de obra	m² construidos / Hora-Hombre trabajadas	Mensual	Depende del proyecto
Porcentaje de avance físico	Actividades completadas / Actividades programadas	Semanal	> 90% cumplimiento

4.3.1.3 Plan de calidad

El Plan de Calidad es el documento donde se define el conjunto de procesos, procedimientos, responsabilidades, controles y registros necesarios para garantizar que una obra

de construcción cumple con los requisitos definidos por los clientes, los requisitos establecidos en la normativa vigente y los requisitos dictados por los estándares técnicos que este tipo de obras necesita. El Plan de Calidad debe ser específico para cada proyecto definido según el tipo de obra, la complejidad y el entorno en el que se desarrolla la misma.

Debemos partir de las siguientes cuatro dimensiones para su elaboración: planificación estratégica, ejecución controlada, evaluación objetiva y mejora continua. A continuación, se presenta en las siguientes tablas la propuesta de la estructura recomendada de un Plan de Calidad con foco en las metodologías de inspección, auditorías y verificaciones técnicas.

En primer lugar, como parte del Plan de Calidad la matriz de puntos críticos permite detectar, clasificar y verificar las actividades que tienen una relevante influencia en el logro de los requisitos del éxito del propio proyecto. Es una herramienta que sistematiza qué mismo proceso debe ser objeto de inspección crítica, cuándo en función del cronograma, qué criterios normativos aplican y quiénes ejercen su control. La matriz propuesta en lo sucesivo se ha elaborado de acuerdo a aquellos factores críticos de calidad que emergían del análisis anterior tal como se observa en la tabla X, lo que permite una coincidencia entre la valoración de los aspectos que componen el proceso y las acciones preventivas y correctivas. Su implementación permite asegurar una trazabilidad técnica de las decisiones, pero sobre todo permite un control documentado, así como una mejora en la eficiencia del proyecto.

El Plan de Inspección y Ensayo (PIE) es una herramienta que juega un papel fundamental dentro del sistema de aseguramiento de la calidad, a través del cual se puede garantizar que cada actividad crítica que conforma el proyecto se encuadre dentro de los requisitos técnicos, normativos y contractuales marcados para su desarrollo. Este documento describe, de forma muy detallada, el qué, el cómo, el quién y el con qué criterios se va a inspeccionar la conformidad. La correcta ejecución de este documento permite anticipar las no conformidades, disminuir los retrabajos, asegurar la trazabilidad técnica del proceso constructivo y favorecer la mejora del proceso.

En la tabla 5, se muestra un ejemplo de modelo de formato PIE que puede adaptarse a cada actividad prioritaria dentro del plan de calidad del proyecto.

Tabla 9.

Matriz de Puntos críticos

Código	Factor Crítico	Actividad Crítica a Controlar	Etapa del Proyecto	Método de Verificación	Norma / Referencia	Documento de Registro
PCC-01	Planificación Estratégica	Validación de cronograma y matriz de riesgos	Inicio de proyecto	Revisión documental y reunión técnica	ISO 9001:2015 - Cl. 6.1 / NSR-10	Acta de planificación / Matriz de riesgos
PCC-02	Liderazgo y Compromiso de la Dirección	Revisión del compromiso y política de calidad	Inicio y cierre	Auditoría interna / Entrevistas	ISO 9001:2015 - Cl. 5.1 y 5.2	Informe de auditoría / Política firmada
PCC-03	Capacitación del Personal	Registro de formación técnica y de	Pre-ejecución y mensual	Listas de asistencia / Evaluación de	ISO 9001:2015 - Cl.	Registro de capacitaciones / Lista de chequeo

		seguridad en obra		conocimientos	7.2 / ISO 45001	
PCC-04	Enfoque en el Cliente	Verificación de cumplimiento de especificaciones del cliente	Final de cada fase	Comparación con contrato / Entrevista al cliente	ISO 9001:2015 - Cl. 8.2.1	Informe de cumplimiento / Encuesta de satisfacción
PCC-05	Diseño y Gestión de Procesos	Revisión técnica de planos y modelos BIM	Pre-ejecución	Validación técnica por comité / Software BIM	BIM / NSR-10 / ISO 29481	Acta de revisión / Informe clash detection
PCC-06	Mejora Continua y Evaluación	Ejecución de auditorías internas y revisión de KPIs	Bimensual	Lista de verificación / Dashboard	ISO 9001:2015 - Cl. 9.2 / PDCA	Informe de auditoría / Tablero de KPIs
PCC-07	Gestión de Recursos y Materiales	Recepción de materiales críticos (acero, concreto, acabados)	Durante ejecución	Ensayos, certificados, inspección visual	ASTM / NTC / NSR-10	Formato PIE / Ensayos de laboratorio
PCC-08	Comunicación Efectiva	Registro y seguimiento de reuniones de obra	Semanal	Minutas, actas, reportes en software	ISO 9001:2015 - Cl. 7.4	Actas de reunión / Plataforma colaborativa
PCC-09	Evaluación y Control de Calidad	Ejecución de inspecciones por fases (estructura, instalaciones, acabados)	Según cronograma de obra	Formatos PIE / Listas de chequeo / Fotografía	ISO 9001 / NSR-10 / NTC	Formato PIE / Registro fotográfico
PCC-10	Cumplimiento Normativo	Verificación del marco normativo actualizado aplicado en obra	Trimestral	Revisión documental y entrevistas	NSR-10 / RETIE / RAS / ICONTEC	Matriz de cumplimiento legal / Acta de verificación
PCC-11	Adaptabilidad e Innovación	Implementación de tecnologías constructivas innovadoras	Ejecución	Informe técnico y evaluación de resultados	LEED / EDGE / BIM	Informe de innovación / Reporte de eficiencia

Tabla 10. Formato modelo para plan de inspección y ensayo PIE

Formato Modelo de Plan de Inspección y Ensayo (PIE)	
Nombre del Proyecto	**Nombre de la obra o contrato**
Código de Actividad (PCC)	Ej. PCC-07
Actividad Crítica:	Ej. Acero para refuerzo estructural
Ubicación / Frente de obra:	Ej. Estructura – Zona A
Responsable de la inspección:	Nombre y cargo
Fecha de inspección:	dd/mm/aaaa
Objetivo de la inspección	

Ej Verificar que la actividad crítica se realice conforme a los planos, especificaciones técnicas, normativas aplicables y estándares de calidad definidos en el plan del proyecto.

Criterios de aceptación y métodos de verificación

Elemento a verificar	**Criterio de Aceptación**	**Método de Inspección / Ensayo**	**Resultado** (✓ / ✗)
Elemento 1	*Tolerancias o norma aplicable*	*Método visual / medición / ensayo*	
Elemento 2	*Tolerancias o norma aplicable*	*Método visual / medición / ensayo*	
Elemento 3	*Tolerancias o norma aplicable*	*Método visual / medición / ensayo*	
Elemento 4	*Tolerancias o norma aplicable*	*Método visual / medición / ensayo*	
Elemento 5	*Tolerancias o norma aplicable*	*Método visual / medición / ensayo*	

Observaciones
Resultado de la inspección

Cargo	**Nombre**	**Firma**	**Fecha**
Inspector de calidad			
Representante del contratista			
Ingeniero residente / interventor			

Tabla 11.

Formato modelo para auditoría interna de calidad

Formato modelo para auditoría interna de calidad	
Nombre del proyecto	*Nombre de la obra o contrato*
Código de auditoría	*Ej. ACC-001*
Área o proceso auditado	Ej. Control de calidad de materiales

Auditor responsable	*Nombre del auditor*
Normas y criterios evaluados	*Ej. ISO 9001, NSR-10, ICONTEC*
Fecha de inspección:	*dd/mm/aaaa*

Objetivo de la auditoría

Ej Verificar la conformidad del proceso auditado respecto a los requisitos del sistema de gestión de calidad, procedimientos establecidos y normativa técnica aplicable, identificando posibles no conformidades, desviaciones o oportunidades de mejora

Lista de verificación

Ítem	**Aspecto evaluado**	**Criterio o norma**	**Evidencia requerida**	**Resultado** (Conforme / No conforme)
1	*Existencia de procedimientos documentados actualizados*	*ISO 9001:2015 Cl. 7.5*	*Procedimiento vigente / código / revisión*	
2	*Registros de inspecciones y ensayos disponibles y firmados*	*ISO 9001 / Plan de Calidad*	*Formatos PIE / Ensayos / Bitácora*	
3	*Control de materiales en recepción*	*ASTM / NTC / Procedimiento*	*Certificados / Ensayos / Reportes*	
4	*Cumplimiento del cronograma de capacitaciones*	*ISO 9001 Cl. 7.2*	*Listas de asistencia / Evaluaciones*	
5	*Ejecución de puntos de control en obra*	*Plan de calidad / Matriz PCC*	*Registros firmados / Checklists*	

Observaciones

Hallazgos

Tipo	**Cantidad**	**Descripción**
No conformidades mayores		
No conformidades menores		

Observaciones **Oportunidades de mejora**	Recomendaciones		
Cargo	**Nombre**	**Firma**	**Fecha**
Inspector de calidad			
Representante del contratista			
Ingeniero residente / interventor			

4.3.2. Implementación de Tecnologías Innovadoras

4.3.2.1 BIM (Building Information Modeling)

Building Information Modeling (BIM) es una metodología colaborativa de trabajo que se basa en la ejecución de modelos 3D digitales que contienen información veraz sobre las características de los elementos constructivos, tanto físicas como funcionales. Bajo esta tecnología, no sólo se exhibe una representación gráfica del propio proyecto, sino que también se enlazan los datos técnicos, logísticos, administrativos y los que acompañan en cada uno de los hitos que tiene el ciclo de vida completo del proyecto: desde el diseño del mismo, pasando por la construcción y finalmente la operación y el mantenimiento del mismo.

El uso de BIM en la construcción permite conseguir una mejor planificación, mejorar la coordinación gráfica y disminuir notablemente los errores que se producen normalmente durante la fase de ejecución. Gracias a la detección de interferencias entre elementos estructurales, instalaciones, y acabados (lo que se denomina clach detection) se permite identificar conflictos que pudieran darse en obra, con la consiguiente reducción de costes por reprocesos y tiempos perdidos. Además, la capacidad que tienen los modelos BIM de ser enlazados con cronogramas (BIM 4D) y presupuestos (BIM 5D) proporciona la posibilidad de simular avances y permitir el control de los recursos. En consecuencia, el BIM se convierte en una herramienta global de aseguramiento de la calidad.

Desde la perspectiva del control y la trazabilidad, BIM permite asociar para cada componente del modelo su correspondiente ficha técnica, su particular procedimiento constructivo, su correspondiente registro de inspección o su certificado de calidad, transformando así el modelo en una base de datos dinámica que permite la verificación y la inspección y la realización de auditorías técnicas, adaptándose a los formatos del plan de inspección y ensayo (PIE) y a los criterios establecidos en la matriz de puntos de control críticos (PCC), de forma que el sistema de gestión de calidad se puede apoyar mediante una herramienta visual y documentada que refuerza la eficacia del seguimiento técnico.

La incorporación de BIM aparece directamente relacionada con los aspectos críticos de la presente investigación, como son la baja planificación, los escasos niveles de la supervisión técnica y la falta de coordinación entre disciplinas de trabajo. La aplicación sistemática no solo mejora la calidad constructiva, sino que también se traduce en un mayor de grado de la profesionalización del equipo técnico, una menor exposición a riesgos y una mejora de la eficiencia en general del proyecto.

4.3.2.2 Drones y sensores IoT

La integración de sensores del IoT y de drones en las obras de construcción supone una mejora importante para elaborar en tiempo real los procedimientos de monitoreo, garantía de la calidad y control de ejecución, ya que puede facilitar de forma rápida datos sobre el estado físico

de la obra o sobre las variables ambientales, estructurales y de operación que favorecen hasta un determinado punto la adecuación del proceso a los criterios técnicos establecidos.

Los drones dotados de cámaras de alta definición, de sensores térmicos o de sistemas LiDAR permiten la inspección aérea rápida y apropiada de zonas con difícil acceso, como techos, estructuras en altura o zanjas de ejecución. De forma programada puede obtenerse información fotográfica periódica sobre el avance de la obra y modelos fotogramétricos 3D o detectar las desviaciones respecto del diseño original. Los drones hacen que se pueda reducir la dependencia de los controles que exigen la presencia física de un evaluador, además de hacer más apropiado el control documental y técnico.

Los sensores IoT que se encuentran instalados in situ, como medidores de humedad en concreto, detectores de vibración, sensores de temperatura o controladores de consumo energético, permiten medir condiciones concretas del proceso constructivo. Los datos que estos sensores pueden capturar llegan también a una plataforma centralizada en tiempo real y serán interpretados por software especializado, generando alertas automáticas ante desviaciones críticas o condiciones inseguras para la ejecución.

En este sentido, se puede considerar que dicha tecnología tiene un impacto considerable en la gestión de calidad, ya que permite contar con información efectiva, continua y objetiva, lo que mejora la trazabilidad del proceso y aumenta la capacidad de respuesta ante no conformidades. En términos de seguridad, puede permitir identificar zonas de riesgo, medir la

exposición del personal a condiciones extremas, anticipar fallos estructurales, entre otros aspectos. Y, desde la eficiencia, permite optimizar recursos, disminuir los tiempos de inspección, sustituyendo procesos manuales lentos por flujos digitales automatizados.

El empleo de drones e IoT ayuda a disminuir factores críticos como la mala supervisión de la obra, con la falta de monitorización técnica en retrasos aportados mediante una forma de trazabilidad de control de calidad, a la vez que se fomenta una cultura de prevención basada en un criterio obtenido de la información, facilitando una toma de decisiones técnicas y estratégicas en cada etapa del proyecto.

4.3.2.3 Inteligencia artificial y análisis predictivo

La Inteligencia Artificial (IA) y el Análisis Predictivo transforman la manera de llevar a cabo los proyectos de construcción, aportando las capacidades de anticipar acontecimientos, analizar grandes cantidades de información o datos y optimizar las decisiones técnicas correspondientes a determinar los procesos basados en patrones antiguos o en su contexto específico. En el contexto del aseguramiento de la calidad, brindan la oportunidad de identificar anomalías potenciales a tiempo y de no tener que esperar a que éstas se conviertan en no conformidades, proporcionando un gran salto cualitativo previniendo fallas.

Dicha IA, por medio de algoritmos de aprendizaje automatizado, puede procesar información histórica de obras anteriores junto con datos correspondientes al proyecto actual — cronogramas, rendimientos, reportes de inspecciones, ensayos de laboratorio, climatología, materiales, etc. — y generar modelos predictivos que pueden identificar riesgos constructivos, retrasos o posibles desviaciones en calidad de ejecución. Por ejemplo, si el sistema puede identificar que ciertas condiciones de proveedores, clima o errores en la secuenciación en las obras anteriores pueden condicionar fallas en las estructuras o acabados, puede emitir alertas tempranas y propuestas preventivas.

El análisis predictivo, en cuanto a su operativa, transforma los datos en conocimiento estratégico. A partir de técnicas como redes neuronales, modelos de regresión o análisis de series temporales, se pueden predecir deterioros en los elementos constructivos, estimar el impacto de ciertas decisiones sobre el comportamiento de la calidad o priorizar actividades críticas según el riesgo técnico, entre otras funciones. El potencial del análisis predictivo puede crecer exponencialmente si se aplica a tecnologías de construcción, como BIM, sensores IoT o sistemas de gestión documental, convirtiendo así el concepto de control en un nuevo paradigma de ecosistemas inteligentes de calidad.

Su aplicación también permite automatizar procesos como la clasificación de no conformidades, la generación de informes estadísticos o el análisis de la causa raíz de problemas recurrentes, con el consiguiente ahorro de tiempo al equipo técnico, reducción del margen de error humano y homogeneidad en la toma de decisiones alineadas con los objetivos técnicos.

La inteligencia artificial responde, pues, a una problemática concreta caracterizada por los factores críticos que citamos: la falta de anticipación de los riesgos, la falta de actuación frente a las desviaciones de calidad, o la falta de conocimiento», resultante de la dificultad para consolidar el histórico útil para la mejora continua. La aplicación gradual y aunque sea, hasta cierto punto, limitada puede cambiar notablemente la gestión proactiva de la calidad del proyecto en el entorno regional evaluado.

4.3.2.4 Blockchain

Blockchain, originalmente concebida para soportar sistemas de criptomonedas, ha probado ser una herramienta útil para asegurar la integridad, transparencia y trazabilidad de la información en numerosos ámbitos, como la construcción. En un sentido simplista, se podría caracterizar a Blockchain como un sistema de registro digital, inalterable y distribuido que guarda información dentro de bloques enlazados entre sí criptográficamente, identificando por tanto de forma inequívoca la información y haciéndola inalterable. Eso lo convierte en una herramienta útil para poder gestionar procesos críticos en calidad, cumplimiento normativo y en la certificación de materiales o procesos.

Por ejemplo, en un proyecto de construcción Blockchain podría ser aplicado según los siguientes momentos, para garantizar la integridad de los registros que conforman el proyecto: 1) registro de forma segura y cronológica de la llegada de los materiales a la obra, 2) registro de

inspecciones realizadas y sus resultados, 3) registro de ensayos en laboratorio, 4) registro de informes técnicos de obra y 5) registro de firmas electrónicas de aprobación de interventores o entes de control. Cada uno de estos períodos de tiempo se convierten en una transacción dentro del sistema de Blockchain, que es accesible únicamente para los actores autorizados, garantizando así la trazabilidad del proceso.

Uno de los mayores aportes de esta tecnología en la seguridad de la calidad es su capacidad de disponer de un repositorio seguro y de información crítica que prevenga fraudes documentarios, pérdidas de documentación o alteraciones no programadas de los registros de obra. Es un elemento especialmente relevante en aquellos ámbitos donde existe escasa confianza institucional, flaqueza de los sistemas de control o escasez de control de la documentación.

Adicionalmente, Blockchain puede ser totalmente ser integrado con herramientas de software como BIM, IoT o sistemas de gestión de la calidad para conseguir flujos automatizados de validación del trabajo ejecutado. Por ejemplo, si un sensor IoT detecta que se ha llevado a cabo como estaba previsto un/una actividad, es posible autenticar automáticamente esta al generar un bloque con los datos técnicos que se adjuntan y firmado digitalmente por quien se responsabiliza.

El sistema Blockchain es capaz de reducir o mitigar un conjunto de factores críticos, como la dificultad de la trazabilidad técnica, la falta de transparencia de los procesos de control y el riesgo de tener un mala gestión documental en la calidad. A pesar que esto conlleva inversión

inicial y adaptación organizacional, su potente capacidad en los ámbito de la calidad para la mejora de los procesos de construcción es innegable.

Tabla 12.

Factores críticos mitigados según la implementación de tecnologías

Tecnología Innovadora	Aplicaciones en el proyecto	Factores Críticos que Ayuda a Mitigar
Building Information Modeling (BIM)	Modelado 3D, simulación 4D/5D, coordinación técnica, trazabilidad documental	- Falta de planificación estratégica - Supervisión técnica deficiente - Descoordinación entre disciplinas - Falta de trazabilidad técnica - Ausencia de monitoreo técnico en campo
Drones y Sensores IoT	Inspección aérea, monitoreo ambiental, captura de datos en tiempo real	- Supervisión manual limitada - Falta de datos objetivos para decisiones
Inteligencia Artificial (IA) y Análisis Predictivo	Procesamiento de datos históricos y actuales, predicción de fallas, optimización de decisiones	- Respuesta tardía ante desviaciones - Falta de anticipación a riesgos - Débil retroalimentación y mejora continua
Blockchain	Registro inmutable de inspecciones, certificaciones, ensayos, firmas y aprobaciones	- Pérdida de información técnica - Alteración de registros - Falta de transparencia y trazabilidad documental

4.3.3. Estrategias de Gestión de Calidad

4.3.4. Factores Críticos en el Aseguramiento de la Calidad

Los factores críticos que condicionan la calidad en el desempeño de la gestión de la calidad en proyectos de construcción, expuestos en el análisis anterior (4.2 .), no son solamente puntos de partida limitantes , sino que también representan oportunidades de mejora bien definidas , que se entienden como las deficiencias (falta de planificación estratégica, escaso entrenamiento del personal, baja trazabilidad técnica, escasa supervisión, limitada gestión de riesgos y la fragmentación entre áreas) . Para este trabajo fueron analizados atendiendo a un enfoque sistémico y tratado transversalmente en el diseño del modelo de aseguramiento de la calidad.

El plan de calidad propuesto incorpora todos los que permiten el control de la calidad en la actividad (matriz de puntos de control críticos, planos de inspección y ensayo (PIE) y formato de auditorías internas) que permiten la controlabilidad de actividades sensibles, la trazabilidad de la documentación y el cumplimiento normativo a las fases del proyecto. El resultado es una robusta estructura de supervisión y estandarización de la actividad técnica.

De su parte, las estrategias para la gestión introducidas —gestión del riesgo, formación continua, metodologías colaborativas— acometían de forma directa los factores humanos y organizacionales que más impactan en la pérdida de calidad: baja preparación técnica,

desalineaciones entre la planificación y ejecución de los proyectos. El enfoque fuerza el desarrollo de competencias en el equipo de obra, la detección de restricciones de forma anticipada y la promoción de la cultura de mejora continua, tres ejes fundamentales del enfoque considerado.

Por último, la incorporación de tecnologías innovadoras (BIM, IoT, IA y Blockchain) permite impulsarlos en todas las dimensiones del sistema propuesto, además de la monitorización en tiempo real, las simulaciones predictivas, la verificación remota y la seguridad en la documentación. Estos no solo complementan a los mecanismos tradicionales, sino que aportan nuevas dinámicas de control, análisis y toma de decisiones que pasan a situar en un nivel elevado la gestión de la calidad de los proyectos constructivos.

En conclusión, la propuesta metodológica de tecnología se plasma en una respuesta directa y estructurada a los factores críticos de presentación referidos, no desde una acción concreta, sino desde un modelo de aseguramiento de la calidad de carácter general en el que se combinan procedimientos y gestión del conocimiento, propio de la realidad de las empresas de construcción del municipio de Ocaña y procedente para poderse replicar en entornos parecidos.

Tabla 13.

Estrategias de la gestión de calidad y los factores críticos que mitiga.

Factor Crítico Identificado	Plan de Calidad (PCC, PIE, auditorías)	Estrategias de Gestión (riesgos, formación, Lean)	Tecnologías Innovadoras (BIM, IoT, IA, Blockchain)
Falta de planificación estratégica	✓ Matriz PCC	✓ Gestión de riesgos	✓ BIM 4D/5D
	✓ Cronograma de calidad	✓ Last Planner System	✓ Análisis predictivo
Supervisión técnica deficiente	✓ Formatos PIE	✓ Capacitación al personal	✓ Drones e IoT
	✓ Verificaciones cruzadas	✓ Auditorías internas	✓ Blockchain para registros técnicos
Fragmentación entre diseño y ejecución	✓ Plan de control por fases	✓ Gestión colaborativa	✓ BIM (coordinación)
			✓ IA (optimización de secuencias)
Deficiente preparación técnica del personal	–	✓ Formación continua	–
		✓ Programas de actualización	
Falta de trazabilidad en los procesos de calidad	✓ Registro PIE	–	✓ Blockchain
	✓ Control documental		✓ BIM vinculado a control documental
Ausencia de monitoreo técnico en tiempo real	–	–	✓ Sensores IoT
			✓ Tableros conectados a KPIs
Débil cultura de mejora continua	✓ Auditorías internas	✓ Ciclos PDCA	✓ IA para análisis de datos y retroalimentación
	✓ Análisis de hallazgos	✓ Evaluación de desempeño	
Riesgos no anticipados ni evaluados	✓ Identificación de puntos críticos	✓ Matriz de riesgos	✓ Modelos predictivos (IA)
		✓ FMEA	✓ Integración con BIM
Falta de control en materiales y suministros	✓ Ensayos y PIE de recepción	✓ Evaluación de proveedores	–
Problemas de documentación y certificación	✓ Actas de verificación	–	✓ Blockchain para trazabilidad documental
	✓ Listas de chequeo		
Dificultad para generar evidencia objetiva en auditorías	✓ Reportes firmados	–	✓ Registros automáticos IoT
	✓ Registro fotográfico		✓ Validación en Blockchain

4.3.5. Medición y mejora continua

Con la intención de que la medición realice una aportación efectiva a la mejora del proyecto debe tenerse en cuenta el poner en marcha una metodología de análisis y retroalimentación continuada, algo que en este caso queda perfectamente cubierto con la utilización del ciclo PDCA (Planificar – Hacer – Verificar – Actuar) como modelo base, dado que desde el mismo se plantea la planificación de los controles que se implementarán, ponerlos en práctica en campo, verificar los resultados de acuerdo a los indicadores y actuar sobre las desviaciones encontradas a través de las acciones correctivas o preventivas establecidas. Esta lógica puede ser utilizada en la realización de actividades técnicas concretas (vaciado de hormigón, por ejemplo) así como de procesos organizacionales (formación, gestión de documentación, etc.).

Otro componente básico de este proceso es la documentación de la gestión de las no conformidades, dado que toda la incidencia que se salga de esta deberá ser documentada, clasificada de acuerdo al impacto de la misma (mayor, menor, observación), analizada en su causa raíz y corregida en un plazo de tiempo razonable, algo que puede llevarse a cabo con herramientas como el diagrama de Ishikawa, los “5 porqué” o análisis de tendencias a fin de evitar la repetición de los errores, promover el aprendizaje organizacional, etc.

Tabla 14.

Ejemplo de No conformidades y su tratamiento correctivo

No Conformidad Detectada	Causa Raíz Identificada	Acción Correctiva Propuesta	Responsable	Plazo de Ejecución
Fisuras en muros de cerramiento	Error en mezcla de mortero / Curado deficiente	Capacitación al personal + revisión de diseño y dosificación	Ingeniero residente	3 días
Desviación en la ubicación de columnas estructurales	Replanteo sin verificación cruzada	Implementar doble control topográfico + nuevo formato de chequeo previo	Supervisor de obra	Inmediato
Instalaciones sanitarias sin pendiente adecuada	Falta de control durante la instalación	Capacitación técnica + inclusión en matriz PCC	Maestro de obra	5 días
Documentación técnica desactualizada	Omisión de actualización por cambios en campo	Validar cambios en obra y actualizar planos cada semana	Coordinador técnico	Permanente
Incumplimiento de cronograma en acabados	Secuencia ineficiente de actividades / Falta de materiales	Reprogramación Lean + control semanal con LPS + validación de compras anticipadas	Planner / Jefe de calidad	7 días

5. Conclusiones

De esta manera y en base a las herramientas prácticas, las estrategias de gestión y las tecnologías emergentes propuestas se puede avanzar no solo en el perfecto uso de las herramientas tradicionales de control, sino, desde este contexto, en un modelo de escalada progresiva desde el tradicional hasta un modelo más activo, colaborativo, respaldado por tecnología.

Todo el compendio que va desde el Plan de Calidad –sistemas de matrices de control, formatos de inspección, auditorías internas y de trazabilidad– hasta el uso de nuevas tecnologías de planificación, que van desde BIM, IoT, inteligencia artificial, blockchain, etcétera, para evolucionar el proceso del control de planes de calidad a un sistema que mejora la planificación, que evita situaciones de incertidumbre, que maximiza la supervisión y que mejora el nivel técnico del proyecto, se suma la formación, la elaboración de planes de gestión de riesgos y la metodología Lean para contribuir a una cultura organizacional orientada a la calidad.

Uno de los puntos fuertes de esta propuesta reside en su aplicación práctica, todos los instrumentos desarrollados son ajustables a las diferentes tipologías de proyectos y tamaños, y su puesta en marcha puede llevarse a cabo de forma gradual, en función de la capacidad técnica, financiera y organizativa de cada empresa. Por otra parte, se trabaja por la integración del conocimiento técnico, de la innovación tecnológica y de la dirección estratégica, todos ellos elementos clave para hacer frente a los retos actuales del sector.

Consolidar esta metodología permitirá, no solo que las organizaciones puedan reducir las no conformidades, aumentar la satisfacción del cliente y mejorar la eficiencia operativa, sino que, además, contribuirá a posicionar a las empresas de la región como organizaciones competitivas y con un compromiso real por la excelencia en la construcción. Su puesta en marcha ha de ir acompañada de voluntad institucional, liderazgo técnico y compromiso transversal, entendiendo así que la calidad no es un resultado acabado, sino un proceso continuado de mejora, de aprendizaje y de transformación.

Referencias

Abbasnejad, B. (2013). Poor Quality Cost in Construction: Literature Review. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2232.1683

Agarwal, S., Agrawal, V., Dixit, J. K., & Agrawal, A. M. (2021). Analyzing the Cause-Effect Relationship Among Deming's Quality Principles to Improve TQM Using DEMATEL. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 95–103. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4320-7_9

Anbari Moghadam, M., Bagherpour, M., & Ghannadpour, S. F. (2024). Sustainability assessment in construction projects: a sustainable earned value management model under uncertain and unreliable conditions. Environment Systems and Decisions, 44(1), 45–68. https://doi.org/10.1007/s10669-023-09913-2

Asnaashari, H., & Khodabandehlou, F. (2023). Lean Six Sigma, effectiveness, and efficiency of internal auditing. International Journal of Lean Six Sigma. https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2023-0058

Babatunde, Y., & Pheng, L. S. (2015). TQM implementation through ISO 9001: Findings from Chinese construction firms in Nigeria. TQM Journal, 27(6), 671–682. https://doi.org/10.1108/TQM-06-2015-0076

Bryde, D. J. (1997). Underpinning modern project management with TQM principles. TQM Magazine, 9(3), 231–238. https://doi.org/10.1108/09544789710169037

Burati, J. L., Matthews, M. F., & Kalidindi, S. N. (1991). Quality management in construction industry. Journal of Construction Engineering and Management, 117(2), 341–359. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1991)117:2(341)

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

Chen, C.-J., Chen, S.-Y., Li, S.-H., & Chiu, H.-T. (2017). Green BIM-based building energy performance analysis. Computer-Aided Design and Applications, 14(5), 650–660. https://doi.org/10.1080/16864360.2016.1273582

Coffey, V., Willar, D., & Trigunarsyah, B. (2011). Quality management system and construction performance. 2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability, ICQR 2011, 403–407. https://doi.org/10.1109/ICQR.2011.6031750

Crump, D. (2015). Centralizing audit processes for lean efficiency: real-world experiences. Healthcare Financial Management : Journal of the Healthcare Financial Management Association, 69(2), 40–43. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84965102970&partnerID=40&md5=791cf43c7b3dabadb891ed6baadf6b58

Davies, E. (2003). Quality: Its historical context. Engineering Management Journal, 13(2), 14–17. https://doi.org/10.1049/em:20030212

Erdil, N. O., Aktas, C. B., & Arani, O. M. (2018). Embedding sustainability in lean six sigma efforts. Journal of Cleaner Production, 198, 520–529. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.048

Goh, M., & Goh, Y. M. (2019). Lean production theory-based simulation of modular construction processes. Automation in Construction, 101, 227–244. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.017

Gu, Y. (2021). The application of BIM technology in construction project management. ACM International Conference Proceeding Series. https://doi.org/10.1145/3465631.3465821

Gülyaz, E., van der Veen, J. A. A., Venugopal, V., & Solaimani, S. (2019). Towards a holistic view of customer value creation in Lean: A design science approach. Cogent Business and Management, 6(1). https://doi.org/10.1080/23311975.2019.1602924

Harrington, H. J. (1996). National traits in TQM principles and practices. TQM Magazine, 8(4), 49–54. https://doi.org/10.1108/09544789610125351

Jayasudha, K., & Vidivelli, B. (2016). Analysis of major risks in construction projects. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 11(11), 6943–6950.

Jong, C.-Y., Sim, A. K. S., & Lew, T. Y. (2019). The relationship between TQM and project performance: Empirical evidence from Malaysian construction industry. Cogent Business and Management, 6(1), 1–31. https://doi.org/10.1080/23311975.2019.1568655

Juliani, F., & de Oliveira, O. J. (2020). Lean Six Sigma principles and practices under a management perspective. Production Planning and Control, 31(15), 1223–1244. https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1702225

Keshk, A. M., Maarouf, I., & Annany, Y. (2018a). 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

Keshk, A. M., Maarouf, I., & Annany, Y. (2018b). 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

Kim, K. P. (2019). BIM-Enabled Sustainable Housing Refurbishment—LCA Case Study. In Sustainable Construction Technologies: Life-Cycle Assessment (pp. 349–394). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811749-1.00019-5

Kim, K. P., & Park, K. S. (2018). Delivering value for money with BIM-embedded housing refurbishment. Facilities, 36(13–14), 657–675. https://doi.org/10.1108/F-05-2017-0048

Langella, C., Anessi-Pessina, E., & Cantù, E. (2021). What are the required qualities of auditors in the public sector? Public Money and Management, 41(6), 466–476. https://doi.org/10.1080/09540962.2021.1883857

Lee, J., & Kim, J. (2017). BIM-Based 4d simulation to improve module manufacturing productivity for sustainable building projects. Sustainability (Switzerland), 9(3). https://doi.org/10.3390/su9030426

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

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

Mirshokraei, M., De Gaetani, C. I., & Migliaccio, F. (2019). A web-based BIM-AR quality management system for structural elements. Applied Sciences (Switzerland), 9(19). https://doi.org/10.3390/app9193984

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

Nain, A., Banerjee, A., & Melkania, N. P. (2021). Effects of Green Buildings on the Environment. In Digital Cities Roadmap: IoT-Based Architecture and Sustainable Buildings. https://doi.org/10.1002/9781119792079.ch15

Nasirzadeh, F., Khanzadi, M., Afshar, A., & Howick, S. (2013). Modeling quality management in construction projects. International Journal of Civil Engineering, 11(1), 14–22. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84876079113&partnerID=40&md5=0a1e13348cc0ef2fd2a7da6673c1b427

Negi, P. S., Mandaliya, A., Mahida, A., Patel, A., & Patyal, V. S. (2017). Six Sigma in construction industry: A review. International Journal of Productivity and Quality Management, 22(4), 451–465. https://doi.org/10.1504/IJPQM.2017.087863

Park, S. C., Kim, Y. J., & Won, J. U. (2017). Application of IoT for the maintaining rolling stocks. Quality Innovation Prosperity, 21(2), 71–83. https://doi.org/10.12776/qip.v21i2.887

Parrish, K. (2012). Lean and green construction: Lessons learned from design and construction of a modular leed® gold building. IGLC 2012 - 20th Conference of the International

Group for Lean Construction. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84874458182&partnerID=40&md5=b467d3b2055f9f131c7f20b2a5341973

Peansupap, V., Tongthong, T., & Capiz, C. (2008). Evaluation of ISO-based quality implementation practice in construction contractors. EASEC-11 - Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84871026648&partnerID=40&md5=1fbd856b649a96a618d92268a407add2

Pheng, L. S., & Teo, J. A. (2003). Implementing total quality management in construction through iso 9001:2000. Architectural Science Review, 46(2), 159–165. https://doi.org/10.1080/00038628.2003.9696979

Pheng, L. S., & Teo, J. A. (2004). Implementing total quality management in construction firms. Journal of Management in Engineering, 20(1), 8–15. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2004)20:1(8)

Poerschke, U., & Kalisperis, L. (2007). BIM: Defining opportunities for environmentally sensitive design. Sun, Wind and Architecture - The Proceedings of the 24th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, PLEA 2007, 302 – 308. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84864120339&partnerID=40&md5=cfb5d3ee750e383391eeb22bd52e0660

Rashed, A., & Othman, M. (2015). Implementing quality management in construction projects. IEOM 2015 - 5th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Proceeding. https://doi.org/10.1109/IEOM.2015.7093804

Riaz, H., Iqbal Ahmad Khan, K., Ullah, F., Bilal Tahir, M., Alqurashi, M., & Alsulami, B. T. (2023). Key factors for implementation of total quality management in construction Sector: A system dynamics approach. Ain Shams Engineering Journal, 14(3). https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101903

Rokke, C., & Yadav, O. P. (2012). Challenges and barriers to total quality management: An overview. International Journal of Performability Engineering, 8(6), 653–665. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84873030612&partnerID=40&md5=3218b55e5e2583949ea639a1107561f9

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

Sabet, E., Adams, E., & Yazdani, B. (2016). Quality management in heavy duty manufacturing industry: TQM vs. Six Sigma. Total Quality Management and Business Excellence, 27(1–2), 215–225. https://doi.org/10.1080/14783363.2014.972626

Sergesketter, B. F. (1997). Personal quality. Annual Quality Congress Transactions, 589–591. https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0031336530&partnerID=40&md5=32f83cf064dd2d024d62d1837bef33f9

Shao, B., Wang, F., & Chen, Z. (2012). Research on applying the total quality management to implicit cost control in construction projects. Advanced Materials Research, 368–373, 3150–3154. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.368-373.3150

Siraj, N. B., & Fayek, A. R. (2019). Risk Identification and Common Risks in Construction: Literature Review and Content Analysis. Journal of Construction Engineering and Management, 145(9). https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001685

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

Ullah, F., Thaheem, M. J., Siddiqui, S. Q., & Khurshid, M. B. (2017). Influence of Six Sigma on project success in construction industry of Pakistan. TQM Journal, 29(2), 276–309. https://doi.org/10.1108/TQM-11-2015-0136

Uluskan, M. (2016). A comprehensive insight into the Six Sigma DMAIC toolbox. International Journal of Lean Six Sigma, 7(4), 406–429. https://doi.org/10.1108/IJLSS-10-2015-0040

Veena, T. R., & Prabhushankar, G. V. (2019). A literature review on lean, Six Sigma and ISO 9001:2015 in manufacturing industry to improve process performance. International Journal of Business and Systems Research, 13(2), 162–180. https://doi.org/10.1504/IJBSR.2019.098652

Velezmoro-Abanto, L., Cuba-Lagos, R., Taico-Valverde, B., Iparraguirre-Villanueva, O., & Cabanillas-Carbonell, M. (2024). Lean Construction Strategies Supported by Artificial Intelligence Techniques for Construction Project Management—A Review. International Journal of Online and Biomedical Engineering, 20(3), 99–114. https://doi.org/10.3991/ijoe.v20i03.46769

Vigneault, M.-A., Boton, 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

Walker, D. H. T., & Keniger, M. (2002). Quality management in construction: An innovative advance using project alliancing in Australia. TQM Magazine, 14(5), 307–317. https://doi.org/10.1108/09544780210439743

Wang, Q., Li, J., Tang, X., & Zhang, X. (2022). How data quality affects model quality in scan-to-BIM: A case study of MEP scenes. Automation in Construction, 144. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104598

Zhang, J., Yang, C. S., & Li, W. (2014). A quality management system Based on welding quality fine control in offshore oil field. Applied Mechanics and Materials, 584–586, 2052–2055. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.584-586.2052