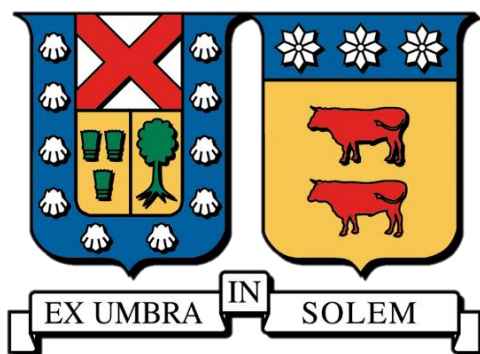


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAÍSO – CHILE



**ANÁLISIS DEL IMPACTO ECONÓMICO DE LAS FALLAS DE CALIDAD EN LA
ETAPA DE OBRA GRUESA DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO EN
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ZONA NORTE Y CENTRO DE CHILE**

Memoria de Título presentada por

SANDY SUYIN MAITTE VILLAR LEA

Memoria para optar al Título de
Constructor Civil

Profesor Guía
Francisco Lagos

Profesor Correferente
Sergio Carmona

Junio, 2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Análisis del impacto económico de las fallas de calidad en la etapa de obra gruesa de estructuras de hormigón armado en proyectos de construcción en la zona norte y centro de Chile.

Nombre del candidato(a): Sandy Suyin Maitte Villar Lea

Carrera / Grado: Construcción Civil

Campus: Casa Central **Departamento:** Obras Civiles

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Francisco Omar Lagos Peralta, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 10-09-2026 **Firma:** 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 10-09-2026 **Firma:** 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Agradecimientos

A mi familia, por entregarme las herramientas necesarias, por su apoyo y amor incondicional, que, a pesar de la distancia, me acompañaron en cada etapa crítica de este proceso. Gracias por creer en mí, incluso cuando yo no lo hacía.

A mis amigas, quienes fueron un gran apoyo, gracias por siempre recordarme quien soy fuera de la universidad.

A mi palta, mi gatita, por su fiel compañía y ser el cable a tierra más tierno que pude tener en este proceso.

Resumen

El hormigón armado es un material compuesto formado por hormigón y acero de refuerzo, lo que proporciona resistencia a la compresión, tracción y flexión, garantizando estabilidad estructural frente a cargas y diversas condiciones ambientales. Su desempeño y durabilidad dependen de factores como la calidad de los materiales, la correcta dosificación, la adherencia barra-hormigón, el control de la corrosión, el uso de aditivos, y la aplicación de normas técnicas en diseño y ejecución.

La calidad del hormigón armado en la etapa de obra gruesa constituye un factor crítico para la durabilidad, seguridad y costo final de las edificaciones. Durante la etapa construcción de una vivienda, también llamada etapa de obra gruesa, se debe prestar mucha atención al proceso constructivo de los elementos estructurales (muros, losas, vigas y columnas), ya que transmiten la carga estructural a la fundación de esta (DICTUC, 2010). En Chile, donde las obras de edificación representan una parte significativa de la inversión en infraestructura, los errores constructivos asociados al hormigón armado generan un impacto económico considerable debido a reparaciones, retrasos y pérdida de productividad. Sin embargo, existe escasa sistematización de información sobre las fallas de calidad y sus costos asociados en el contexto nacional, especialmente en las zonas norte y centro, caracterizadas por condiciones climáticas y una gestión diversa.

La presente investigación, tuvo como propósito analizar el sobrecosto asociado a las fallas de calidad en el hormigón armado de los proyectos de edificación en la zona norte y centro de Chile. El objetivo general de este estudio fue analizar las fallas de calidad del hormigón armado mediante la experiencia de especialistas, con el fin de evidenciar los costos que se producen durante la etapa crítica de reparaciones en proyectos de edificación en dichas zonas. Para ello, se realizó una investigación mixta: se desarrolló tanto una revisión bibliográfica sobre causas y tipos de fallas reportadas en la literatura y, complementariamente, se aplicaron encuestas estructuradas a profesionales del área (inspectores técnicos, administradores de obra, encargados de calidad y encargados de oficina técnica) con experiencia en obras de edificación. Los datos obtenidos se analizaron de forma descriptiva y categórica, permitiendo establecer relaciones entre el tipo de falla, su origen técnico y el costo de reparación.

Los resultados muestran que las principales fallas detectadas corresponden a segregación y presencia de nidos, siendo esta última la de mayor frecuencia e impacto económico. Se estimó que las reparaciones pueden representar entre un 6% y un 10% extra, respecto al presupuesto inicial de la partida de Obra Gruesa.

En conclusión, las fallas de calidad en la obra gruesa de estructuras de hormigón armado constituyen un problema recurrente con consecuencias económicas significativas. El estudio evidencia la necesidad de fortalecer los procesos de control de calidad y supervisión técnica, promover capacitación continua del personal que ejecuta el trabajo en terreno y fomentar una cultura preventiva en la gestión de la construcción, especialmente en proyectos de edificación de la zona norte y centro de Chile.

Palabras claves: **hormigón armado; edificación; fallas; calidad; costos.**

Abstract

Reinforced concrete is a composite material made of concrete and reinforcing steel, providing resistance to compression, tension, and bending, thus ensuring structural stability underloads and diverse environmental conditions. Its performance and durability depends on factors such as material quality, proper mix design, bond strength between steel and concrete, corrosion control, the use of admixtures, and the application of technical standards in both design and execution.

The quality of reinforced concrete during the structural work stage is a critical factor for the durability, safety, and final cost of buildings. During this phase (construction of a residential structure), close attention must be paid to the construction process of structural elements (walls, slabs, beams, and columns), since they transfer structural loads to the foundation (DICTUC, 2010). In Chile, where building projects represent a significant portion of infrastructure investment, construction errors related to reinforced concrete generate substantial economic impacts due to repairs, delays, and productivity loss. However, there is limited systematized information regarding quality failures and their associated costs within the national context, particularly in the northern and central regions, which are characterized by diverse climatic conditions and construction management practices.

This research aimed to analyze the additional cost associated with quality failures in reinforced concrete within building projects in northern and central Chile. The main objective of this study was to examine reinforced concrete quality failures through the experience of specialists, to identify the costs incurred during the critical repair phase of building projects in these regions. To achieve this, a mixed-methods approach was used: a literature review was conducted regarding the causes and types of failures reported in previous studies, and structured surveys were administered to professionals in the field (technical inspectors, site managers, quality supervisors, and technical office personnel) with experience in building projects. The collected data were analyzed descriptively and categorically, allowing relationships to be established between the type of failure, its technical origin, and the repair cost.

The results indicate that the main failures detected correspond to segregation and honeycombing, the latter being the most frequent and economically impactful. It was estimated that repairs may represent an additional 6% to 10% of the initial structural work budget.

In conclusion, quality failures in reinforced concrete structural works constitute a recurring issue with significant economic consequences. The study highlights the need to strengthen quality control processes and technical supervision, promote continuous training for field personnel, and foster a preventive culture in construction management, especially in building projects located in northern and central Chile.

Keywords: reinforced concrete; building construction; failures; quality; costs.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO 2: REVISIÓN LITERARIA.....	11
2.1. Hormigón armado.....	11
2.1.1. Composición	11
2.1.2. Uso	11
2.1.3. Proceso constructivo	11
2.2. Edificación	12
2.3. Fallas, causas, calidad y costos del hormigón armado	12
2.3.1. Tipos de fallas de calidad y sus causas	12
2.3.2. Control de calidad del hormigón armado.....	13
2.3.3. Costos.....	14
CAPÍTULO 3: OBJETIVOS	15
3.1. Objetivo general	15
3.2. Objetivos específicos	15
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA.....	16
4.1. Recolección de datos	16
CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
5.1. Perfil de la muestra	18
5.1.1. Región de trabajo actual.....	18
5.1.2. Cantidad de años de experiencia en el rubro de la construcción.	19
5.1.3. Área de trabajo del encuestado.	20
5.2. Área de Calidad y/o Inspector Técnico de Obra.....	21
5.2.1. Tipos de falla presentes.....	21
5.2.2. Frecuencia de fallas presentadas por proyecto.....	23
5.2.3. Tipos de causas de las fallas de hormigón observadas.	24
5.2.4. Frecuencia de causas presentadas por proyecto.	25
5.2.5. Recomendaciones para prevenir fallas de calidad en el hormigón armado.	26
5.3. Área de Costos (Oficina técnica y/o Administrador de obra).....	27
5.3.1. Fallas con mayor impacto monetario por reparación.....	27
5.3.2. Porcentaje extra del presupuesto inicial de la partida de Obra Gruesa asignada a las reparaciones de las fallas en el hormigón armado.....	28

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES	29
CAPÍTULO 7: REFERENCIAS	31
CAPÍTULO 8: ANEXOS	34
8.1. Tabla n°12 de la norma NCh170.	34
8.2. Encuesta	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de causalidad entre recubrimiento-barras-oxidación.....	21
Figura 2: Esquema de causalidad de segregación-nidos-fisuras.	22

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Región de trabajo según frecuencia.....	18
Gráfico 2: Cantidad de años de experiencia.	19
Gráfico 3: Cantidad de trabajadores según área de trabajo.	20
Gráfico 4: Cantidad de tipos de falla.	21
Gráfico 5: Frecuencia de la falla.....	23
Gráfico 6: Tipos de causas de las fallas de hormigón y su frecuencia.	24
Gráfico 7: Frecuencia de la causa.	25
Gráfico 8: Frecuencia de recomendaciones.	26
Gráfico 9: Cantidad de tipos de falla.	27
Gráfico 10: Costo extra del presupuesto debido a fallas en el hormigón armado.	28

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El hormigón armado constituye uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción a nivel mundial, y Chile no es la excepción. Su versatilidad, resistencia y durabilidad lo convierten en el elemento estructural por excelencia en edificaciones, obras civiles y proyectos de infraestructura. Sin embargo, a pesar de sus ventajas, el hormigón armado no está exento de presentar fallas de calidad que pueden comprometer la seguridad, funcionalidad y economía de las obras. Estas fallas, que pueden surgir en distintas etapas del proceso constructivo (como la etapa de obra gruesa) y generan impactos significativos en los costos de reparación.

La etapa de obra gruesa representa una de las fases más relevantes en términos técnicos y económicos, ya que conforma el soporte estructural de la construcción y concentra una parte considerable del presupuesto total (Mubarak, 2019; Montes et al., 2016). Sin embargo, cuando no se aplican los controles de calidad adecuados, surgen errores que conllevan reparaciones, demoras y sobrecostos significativos; la literatura muestra que las fallas de calidad y las reparaciones pueden representar desde varios puntos porcentuales hasta más del 10% del costo del proyecto cuando se incluyen costes visibles y ocultos (Love & Li, 2000; Khadim et al., 2023). Esta problemática (que afecta tanto al costo como al cronograma y la productividad en obra) ha sido cuantificada en múltiples estudios empíricos y constituye un desafío persistente en la industria de la construcción (Hwang et al., 2009; Mahamid, 2020).

En el contexto de la industria de la construcción, las obras de edificación representan un sector clave debido a su alta participación en la inversión pública y privada, su impacto en el desarrollo urbano y la complejidad técnica que presentan sus procesos constructivos. Este tipo de proyectos exige un control riguroso durante la etapa de obra gruesa, ya que las fallas de calidad en la ejecución del hormigón armado pueden comprometer tanto la seguridad estructural como la eficiencia económica del proyecto (Zhao et al., 2014). Asimismo, las edificaciones concentran una gran cantidad de elementos estructurales (muros, pilares y losas), lo que incrementa la probabilidad de errores asociados a la colocación, compactación o curado del hormigón. Love & Li, (2000); Hwang et al. (2009) y Mahamid, (2020) han demostrado que las deficiencias en el control de calidad y los trabajos de retrabajo (*rework*) generan pérdidas económicas significativas, retrasos y un impacto directo en la productividad de la obra. Por ello, enfocar el análisis en proyectos de edificación permite comprender de manera más precisa el impacto técnico y económico de las fallas de calidad, así como proponer estrategias de prevención adaptadas a la realidad constructiva nacional.

Distintos estudios han dejado en evidencia que los costos asociados a fallas asociadas a la calidad, especialmente las que conlleva rehacer el trabajo, representan una pérdida económica sustancial. Gran parte de los costos asociados a la baja calidad permanecen ocultos, ya que no siempre son identificados ni contabilizados, lo que aumenta su impacto negativo en el rendimiento financiero del proyecto (Khadim et al., 2022). Hwang et al. (2009) analizaron 359 proyectos, donde concluyeron que la reparación de los trabajos puede alcanzar entre un 5% y un 20% del costo total del proyecto, dependiendo del nivel de control de calidad y la complejidad de la obra. Se calcula que, en Estados Unidos, Reino Unido y América Latina los

costes de las adaptaciones de calidad oscilan entre 5% y el 25% del coste total del proyecto. En caso de España, estos rangos se sitúan entre el 15% y el 25% (Gracia & Dzul et al., 2007). Investigaciones más recientes confirman que parte importante de estos costos permanece oculta (energizando la metáfora del “iceberg de la calidad”) de modo que los costos visibles (reparaciones directas) son solo la punta de un problema mayor que incluye pérdidas por baja productividad, demoras, sobrecostos de supervisión y penalizaciones contractuales (Khadim et al., 2022; Mostofi et al., 2022).

Los costos ocultos adquieren especial relevancia cuando se trata de hormigón armado, material cuya correcta ejecución exige control riguroso en múltiples frentes: especificación de mezcla, control de la relación agua-cemento, compactación, control de temperatura y curado, protección frente a agentes agresivos y aseguramiento de la continuidad del refuerzo. Las patologías típicas (fisuras por retracción o tensiones térmicas, corrosión de armadura por penetración de cloruros o carbonatación, patologías por pobre curado, segregación o nidos de hormigón) no sólo afectan la durabilidad, sino que frecuentemente obligan a intervenciones que incrementan costos directos (materiales, mano de obra, equipos) y costos indirectos (interrupciones de actividades, extensión de plazo, costos financieros) (Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, 2010).

En Chile, la normativa que regula la calidad del hormigón armado incluye la NCh170 (Hormigón – Requisitos generales), la NCh204 (Acero – Barras laminadas en caliente para hormigón armado) y los estándares técnicos del MINVU. Sin embargo, la aplicación efectiva de estas normativas depende en gran medida de la capacitación de los profesionales, la fiscalización en obra y la cultura de calidad en las empresas constructoras. El Manual de Reparaciones y Refuerzos Estructurales del MINVU (2018) establece procedimientos detallados para la evaluación de daños, el diseño de soluciones y la ejecución de reparaciones, incluyendo criterios de durabilidad, compatibilidad de materiales y control de calidad. No obstante, la implementación de estos procedimientos en terreno presenta desafíos que deben ser abordados desde la experiencia práctica.

Adicionalmente, la geografía de Chile introduce factores contextuales que modulan la magnitud y naturaleza de las fallas y sus costos asociados. En la zona norte, condiciones climáticas extremas (altas temperaturas en lugares del desierto, exposición salina en sectores costeros) y dinámicas de suministro propias de zonas más aisladas pueden favorecer la aparición de defectos por curado inadecuado, dosificaciones improvisadas o logística compleja que afecta la continuidad del hormigonado. En la zona central, la mayor concentración urbana, la disponibilidad de insumos y especialización técnica puede disminuir ciertos riesgos, pero otros factores (como la presión por plazos, sobreocupación del mercado y variabilidad de subcontratistas) también generan condiciones propensas a fallas de ejecución. Por tanto, analizar la zona norte y centro de Chile permite comparar contextos contrastantes en términos de logística, clima y práctica constructiva, obteniendo una visión más completa de cómo las fallas de calidad impactan económicamente en distintos entornos productivos.

La presente investigación tiene como propósito analizar las fallas de calidad del hormigón armado mediante el estudio de la experiencia de profesionales que trabajen en el área

de costos y calidad, con el objetivo de evidenciar los costos asociados durante la etapa de obra gruesa en la zona norte y centro de Chile, y así también visualizar los errores que se comenten en el proceso de revisión y control de los proyectos constructivos. La elección de este enfoque responde a la necesidad de comprender las causas profundas de las fallas desde la experiencia práctica, más allá de los datos técnicos y normativos.

CAPÍTULO 2: REVISIÓN LITERARIA

2.1. Hormigón armado

2.1.1. Composición

El hormigón armado es un material compuesto, formado por hormigón y refuerzos. El hormigón es un material constituido por la mezcla de cemento, áridos (finos y gruesos) y agua, con o sin la incorporación de adiciones y/o aditivos (con el fin de mejorar ciertas propiedades), en proporciones que, al fraguar y endurecer, adquiere resistencia (BCN, 2016). Los refuerzos son barras de acero laminadas en caliente que componen una armadura, que debe obedecer los requisitos mencionados en la Norma Chilena NCh204.

2.1.2. Uso

Los usos del hormigón armado se extienden a una amplia gama de aplicaciones debido a su capacidad única de soporte, que permite que la estructura tenga alta resistencia a la compresión debido al hormigón y resistencia a tracción proporcionada por el acero (Latorre, 2024).

Este material de gran versatilidad ha sido utilizado para construir edificaciones (viviendas, oficinas, rascacielos), infraestructura de soporte (puentes, viaductos, túneles, carreteras, pistas de aterrizaje) y obras hidráulicas (muros de contención, presas, muelles) (Latorre, 2024; Villao-Vera, 2022).

2.1.3. Proceso constructivo

Para el proceso productivo, primero se debe realizar el replanteo y trazado de ejes en terreno, verificando que coincidan con los planos de arquitectura y estructura aprobados por la Dirección de Obras Municipales (DOM). Luego se excava hasta el nivel de fundación y se coloca el emplantillado (hormigón de baja resistencia), con el fin de sellar el suelo y asegurar una base limpia para luego trazar la geometría de los pilares, muros y vigas de fundación, para así comenzar con el montaje de los moldajes y la armadura. El acero se corta y dobla en maestranzas o en obra siguiendo los planos de detalle. Al posicionar la enfierradura es crítico asegurar los recubrimientos mínimos mediante el uso de separadores (calugas), garantizando que el acero quede protegido de agentes externos, cumpliendo con la norma estadounidense ACI 318 (Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural). Posteriormente, se instalan los moldajes que darán forma al elemento, estos deben poseer rigidez para soportar la presión que ejerce el hormigón fresco. Es crucial verificar los plomos, nivelación y dimensiones geométricas, que deben cumplir con los planos del proyecto. También en esta etapa se aplican los desmoldantes y se verifica la limpieza dentro de los moldajes, no deben existir alambres o suciedad en el fondo, este es un control vital para la recepción de la partida.

En general, la mezcla de hormigón proviene de la planta, por lo que en obra solamente se controla el asentamiento del cono de Abrams que permite evaluar la docilidad del hormigón en laboratorio y en terreno (BCN, 2009). El vertido se realiza evitando la caída libre excesiva para mitigar la segregación, la altura de vaciado en elementos de hormigón armado se establece en la especificación técnica ET 002-05 generada por el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. Se debe compactar y/o vibrar con los equipos adecuados para que el hormigón

mantenga la homogeneidad y se logre obtener eliminar el exceso de aire atrapado, para así asegurar la terminación superficial requerida (BCN, 2016).

El curado del hormigón es un proceso fundamental para controlar su humedad y la temperatura posterior al fraguado. Es fundamental hidratar el cemento para así evitar fisuras por retracción plástica, especialmente en la zona norte por las condiciones de evaporación extrema. Se pueden utilizar membranas de curado, agua nebulizada, telas y tejidos continuamente húmedos, piscinas, entre otros como menciona la norma NCh170 (2016). Una vez que el hormigón ha alcanzado la resistencia suficiente para soportar su propio peso y las cargas de construcción, se comienza la etapa de descimbre, este se debe realizar sin provocar daños en el elemento. Los plazos mínimos de desmolde y descimbre se encuentran en la tabla n°12 de la norma NCh170.

2.2. Edificación

La edificación se define técnicamente como toda construcción destinada a albergar actividades humanas, tales como vivienda, comercio, salud o industria (Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU, 1992). Dentro del sector, las obras se clasifican según su materialidad, escala y destino. En el contexto chileno, la metodología de análisis de costos y gestión de proyectos segmenta las partidas presupuestarias en Obra Gruesa (fundaciones, muros, losas), Terminaciones e Instalaciones. Este estudio se focaliza en la partida de Obra Gruesa, específicamente, de hormigón armado, etapa que, de acuerdo con Solminihaç y Thenoux (2018), constituye el soporte estructural del edificio y representa la fase de mayor riesgo técnico y peso financiero dentro del presupuesto total.

2.3. Fallas, causas, calidad y costos del hormigón armado

El comportamiento estructural y la durabilidad de las obras de edificación en Chile dependen de la integridad del hormigón armado, un material compuesto cuya eficacia depende de la adherencia que el hormigón brinda al acero. No obstante, en la etapa de obra gruesa ocurren defectos que alteran el desempeño proyectado y generan impactos financieros severos debido a la necesidad de reparaciones no programadas.

2.3.1. Tipos de fallas de calidad y sus causas

Las fallas de calidad en la obra gruesa se definen como discrepancias entre el elemento construido y las especificaciones técnicas del proyecto. Según Calcagni et al. (2025), estas patologías no son solo eventos aislados, sino el resultado de deficiencias sistémicas en la supervisión y ejecución del hormigón fresco. Allen (1979) mediante un estudio a aproximadamente 250 empresas concluyó que la mitad de los errores cometidos en la construcción se originaron en el diseño y la otra mitad se debieron a defectos en el proceso constructivo.

El Manual de Reparaciones y Refuerzos Estructurales del Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile publicado en febrero del 2018, muestra los tipos de daños más frecuentes, tanto en albañilerías como en elementos de hormigón armado, entre los daños más frecuentes de este último se encuentran las siguientes fallas de calidad que consideraremos en este estudio: Nidos de piedra o cavidades, fisuras y/o grietas y deterioro de recubrimiento de hormigón. Calcagni et al. (2025) nos menciona que las causas de los nidos de piedra pueden ser por una

vibración inadecuada durante el vertido del hormigón o un recubrimiento deficiente. Navarrete et al. (2016) nos hablan de la importancia de controlar la segregación del hormigón para así poder garantizar la resistencia y durabilidad del diseño. Según Angst et al. (2009) considerando las condiciones de exposición marina en muchos países, la corrosión es una de las causas más comunes de degradación de las estructuras de hormigón armado. Calcagni et al. (2025) nos indican que las barras expuestas en el hormigón pueden producirse debido a una mezcla inadecuada de cemento, a la corrosión de acero y/o a los ciclos de congelación y descongelación. Por otro lado, un encofrado inadecuado o un mal apuntalamiento puede originar un colapso de la estructura o desviación del elemento y su armadura como menciona Allen (1979) en su investigación.

2.3.2. Control de calidad del hormigón armado

El control de calidad en Chile se rige por un cuerpo normativo estricto que busca mitigar la variabilidad de los procesos en terreno y asegurar la integridad del edificio.

Para asegurar una buena calidad, el punto de partida a evaluar son los materiales. La NCh170 (Hormigón - Requisitos generales) establece los requisitos mínimos a considerar para confeccionar, transportar, colocar, compactar, curar, proteger, desmoldar y descimbrar hormigones usados en hormigón simple y en hormigón reforzado. Esta norma también lo clasifica por su resistencia a la compresión o resistencia a la tracción por flexión y sus requisitos para especificar el hormigón por durabilidad. La NCh204 (Acero - Barras laminadas en caliente para hormigón armado) regula los requisitos mecánicos que las barras de acero deben cumplir, establece los criterios de inspección, muestreo y ensayos a realizar.

La etapa de puesta en obra es donde se pueden manifestar la mayor cantidad de fallas. Es por esto por lo que la NCh430 (Hormigón armado – II Parte), basada en la norma estadounidense ACI 318 (Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural), dicta las disposiciones para el diseño y construcción de estructuras de hormigón armado, esta norma también establece las distancias mínimas de las barras de acero en la colocación de armaduras. La NCh1019 (Hormigón - Determinación de la docilidad – Método del asentamiento del cono de Abrams) describe el ensayo de asentamiento de cono de Abrams, que permite determinar la docilidad del hormigón fresco en terreno y en laboratorio. Esta norma es imprescindible para garantizar que el hormigón fluya correctamente entre la armadura y evitar la segregación o la presencia de nidos.

La NCh-ISO9001 (Sistemas de gestión de calidad – Requisitos) es la traducción de la norma internacional ISO9001, propone un sistema de gestión de calidad enfocada en procesos y la mejora continua, que incorpora el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar y el pensamiento basado en riesgos, que busca los factores que podrían causar que los procesos se desvíen de los resultados esperados. El Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU, 2018) refuerza este control a través del Manual de Control de Calidad, en el cual este manual entrega recomendaciones para controlar la calidad en los procesos constructivos en una obra, nos menciona que para lograr esto se deben generar protocolos y cartillas de control, que serán revisadas por dos profesionales, el encargado de control de calidad en la obra y por la

Inspección Técnica de Obra (ITO), este último debe solicitar certificados, ensayos y garantía de los materiales utilizados para dejar constancia escrita de la recepción de la partida.

Calcagni et al. (2025) nos menciona que la inspección visual manual se ve obstaculizada por una grave escasez de mano de obra, es decir, el número de ingenieros cualificados no es suficiente para el número de edificios o los metros cuadrados a construir en una obra, por lo que, si las inspecciones no se llevan a cabo a tiempo, puede producirse un deterioro incontrolable de los edificios.

2.3.3. Costos

Los costos asociados a fallas de calidad en proyectos de construcción se han identificado consistentemente como un factor crucial en el desempeño económico general. Específicamente, los costos de rehacer las partidas constituyen una fuente significativa de ineficiencias, ya que están relacionados con la corrección de tareas previamente ejecutadas que no aportan valor adicional. No obstante, una parte relevante de estos costos permanece sin ser reconocida o es inadecuadamente definida en los esquemas de gestión de la construcción, lo que dificulta su control y minimiza su impacto en los resultados financieros reales, distorsionando así la interpretación de los resultados económicos (Khadim et al., 2022).

En un estudio que abarcó 359 proyectos de construcción, Hwang et al. (2009) afirmaron que los costos de reparación pueden oscilar entre el 5% y el 20% del costo total del proyecto, dependiendo de los controles de calidad implementados y la complejidad técnica del trabajo. A nivel global, los estudios indican que los costos relacionados con deficiencias de calidad varían entre el 5% y el 25% del costo total en regiones como EE. UU., Reino Unido y América Latina, mientras que en España estos valores pueden alcanzar entre el 15% y el 25% (Gracia & Dzul et al., 2007).

Los costos visibles (principalmente asociados a reparaciones directas) representan solo una pequeña fracción del impacto económico total, existiendo un considerable costo oculto que incluye costos indirectos como pérdidas de productividad, extensiones de plazos, incremento en los costos de supervisión (Khadim et al., 2022; Mostofi et al., 2022). Por lo tanto, un entendimiento exhaustivo de estos costos es esencial para el desarrollo de técnicas de gestión que prevengan ineficiencias y aseguren que un proyecto de construcción logre una optimización efectiva del desempeño económico.

CAPÍTULO 3: OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Analizar las fallas de calidad del hormigón armado mediante el estudio de la experiencia de especialistas con el objetivo de evidenciar los costos durante la etapa crítica de reparaciones en proyectos de edificación en la zona norte y centro de Chile.

3.2. Objetivos específicos

1. Establecer las principales causas de las fallas de calidad en hormigón armado a partir de la literatura académica.
2. Interpretar casos de falla presentados por los profesionales en hormigón armado.
3. Relacionar los tipos de fallas con el costo asociado.
4. Diseñar recomendaciones preventivas de fallas de calidad.

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

Este estudio se enfoca en analizar las fallas de calidad en el hormigón armado y su costo asociado en la zona norte y centro de Chile. Para abordar esta problemática, se revisó la literatura académica relacionada y la realización de encuestas estructuradas.

Primero, se realizó una revisión bibliográfica en bases de datos académicas como Google Scholar, Scopus y ScienceDirect, enfocándose en estudios relacionados con las fallas de calidad en el hormigón armado y el impacto económico de este en la etapa de obra gruesa en proyectos de construcción. La selección se centrará en investigaciones que mencionen las fallas por calidad y analicen sus efectos en proyectos de edificación.

Segundo, se aplicó una encuesta estructurada a 73 profesionales que trabajen en las áreas de calidad o costos en empresas del sector de la construcción en la zona norte y centro de Chile. En el área de calidad se acogieron las respuestas de profesionales que tuvieran el cargo de jefe o ayudante de calidad y profesionales que tengan el cargo de Inspector Técnico de Obra. Se solicita a los encuestados que tengan en consideración el Manual de Control de Calidad de Obra desarrollado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo. En el área de costos se acogieron las respuestas de profesionales que tengan el cargo de jefe o ayudante de Oficina Técnica y profesionales que tengan el cargo de Administrador de Obra. El American Concrete Institute 318S-19 enfatiza que la calidad de las estructuras de hormigón armado depende de la mano de obra empleada, por lo que la inspección constituye un componente esencial del control de calidad, ya que asegura la conformidad entre los procedimientos constructivos y las especificaciones estructurales (American Concrete Institute, 2019). Se realizó esta distinción entre los profesionales ya que se recopilará diferente información dependiendo del área. El objetivo será recoger percepciones de profesionales que trabajen en calidad sobre la frecuencia de errores en obra gruesa, las causas más comunes, y la percepción de profesionales que trabajen en el área de costos sobre la estimación del impacto económico asociado a las fallas de calidad.

Tercero, para relacionar los tipos de fallas con el costo asociado, los datos obtenidos se procesaron mediante análisis estadístico descriptivo, utilizando tablas de frecuencia y gráficos para identificar patrones y tendencias relevantes sobre la gestión de calidad y costos en la etapa de obra gruesa. Para así realizar un análisis comparativo entre los resultados de la encuesta y la información recolectada en la revisión bibliográfica.

Cuarto, para diseñar recomendaciones preventivas aplicables a la gestión de calidad, se identificaron los factores más influyentes en la generación de sobre costos por la falla de calidad para encontrar el origen de estos.

4.1. Recolección de datos

La encuesta se compartió entre noviembre de 2025 y enero de 2026, obteniendo un total de 75 respuestas, en las cuales solo 73 resultaron válidas para el análisis. Las 2 respuestas sobrantes se excluyeron debido a que los encuestados no aceptaron el consentimiento informado.

La validez de la muestra se evaluó utilizando la ecuación 1 para una población infinita (Aguilar-Barojas, 2005), considerando los siguientes parámetros:

- Nivel de confianza: 90%.
- Margen de error: 10%
- Proporción esperada de la población (p): 50%

Con estos criterios, se determinó que el número mínimo de respuestas válidas necesarias era de 68 encuestados. La obtención de 73 respuestas válidas superó este requisito, garantizando la validez estadística de la muestra.

$$n = \frac{Z^2 pq}{d^2}$$

Ecuación 1: Tamaño muestra para poblaciones infinitas.

- n = Tamaño de la muestra.
- Z = Valor de Z crítico, calculado en las tablas del área de la curva normal. Para este caso 1,645.
- p = Proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia. Para este caso 0,5.
- q = Proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio (1-p). Para este caso 0,5.
- d = nivel de precisión absoluta o margen de error. Para este caso 0,1.

La difusión de la encuesta se realizó únicamente de manera online y la participación en la encuesta fue completamente anónima. Se difundió una infografía que contenía un enlace directo a la encuesta y también un código QR que redirigía a esta. Esta infografía se compartió a través de redes sociales como LinkedIn, Facebook, Instagram y WhatsApp.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los resultados de la encuesta realizada a 73 profesionales de la construcción.

5.1. Perfil de la muestra

5.1.1. Región de trabajo actual.

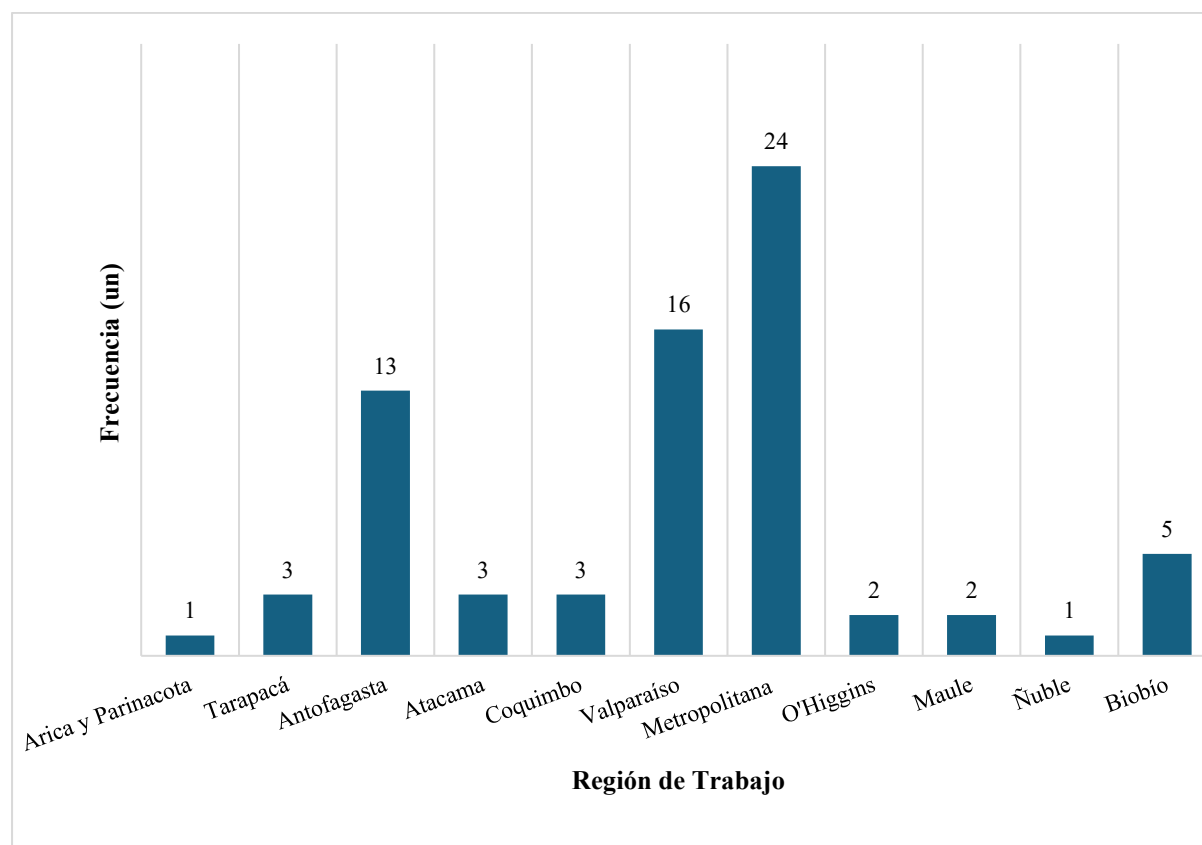


Gráfico 1: Región de trabajo según frecuencia.

Las personas encuestadas fueron de ocho regiones del país, siendo la mayoría de la región de Antofagasta, Valparaíso y Santiago (53 respuestas correspondientes al 73% de la muestra, Gráfico 1). Por lo tanto, este estudio representó mayormente a zona norte-centro y levemente a la zona centro-sur.

La mayor representación de la zona centro puede deberse a una mayor densidad poblacional y actividad económica entre las regiones. Según el Centro UC de Innovación en Madera y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2023), existe una gran cantidad de viviendas requeridas en la Región Metropolitana y Valparaíso, sumando un 60% de las viviendas requeridas a nivel nacional, lo cual explicaría una mayor actividad de edificación. Así mismo, la mayor representación en la zona norte es en Antofagasta, con casi un 6% de requerimiento de viviendas, duplicando y hasta triplicando el requerimiento de varias de las ciudades de la zona norte. Lo que explicaría la mayor cantidad de personas encuestadas en estas zonas del país.

5.1.2. Cantidad de años de experiencia en el rubro de la construcción.

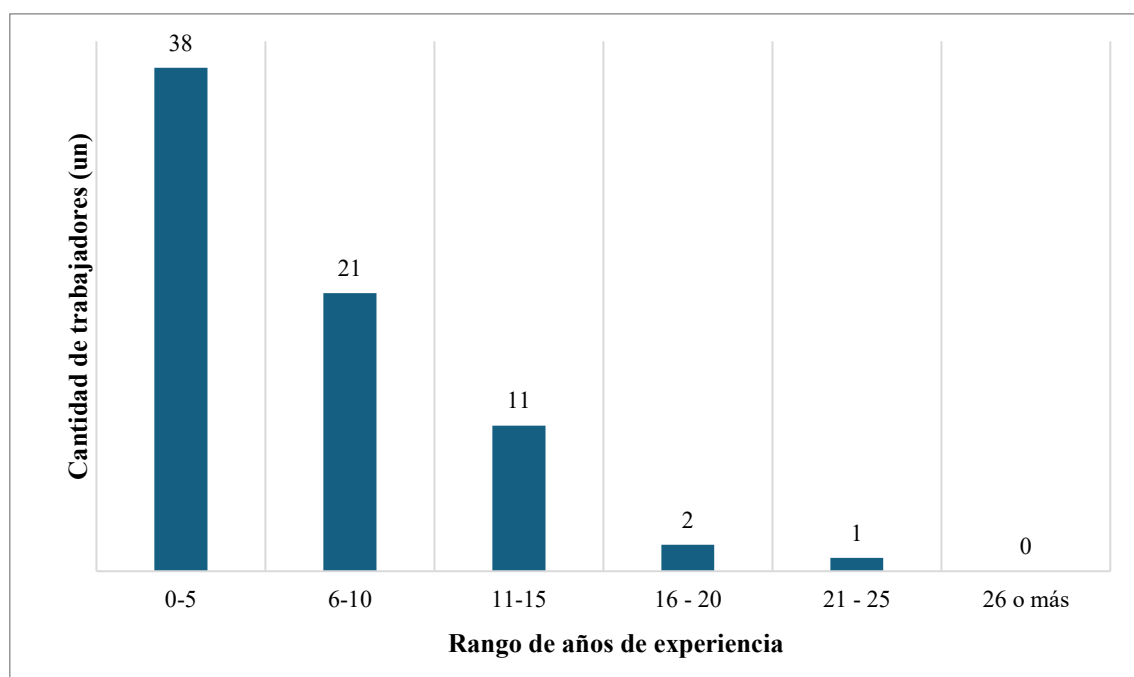


Gráfico 2: Cantidad de años de experiencia.

De las personas encuestadas, la mayoría tiene una menor cantidad de años de experiencia en la industria (Gráfico 2). A la vez, se observa que, a mayor cantidad de años de experiencia, hay un menor número de respuestas.

La metodología de colecta de datos fue 100% digital, esto genera un sesgo de participación en la recolección de datos (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos OCDE, 2019) explicando posiblemente una menor cantidad de respuestas de profesionales de mayor edad. Como plantea Prensky (2001), las últimas generaciones poseen una disposición natural hacia el uso de artefactos móviles, lo que aquí probablemente facilitó la respuesta de la encuesta digital frente a los trabajadores con mayor trayectoria. La brecha digital generacional en Chile se ve reflejada en el acceso predominante de los rangos etarios más jóvenes a herramientas móviles, según el informe de la Subsecretaría de Telecomunicaciones (2025), por lo que este fenómeno coincide, los trabajadores más jóvenes tienen mayor afinidad tecnológica y, por ende, mayor tasa de respuesta en encuestas digitales.

5.1.3. Área de trabajo del encuestado.

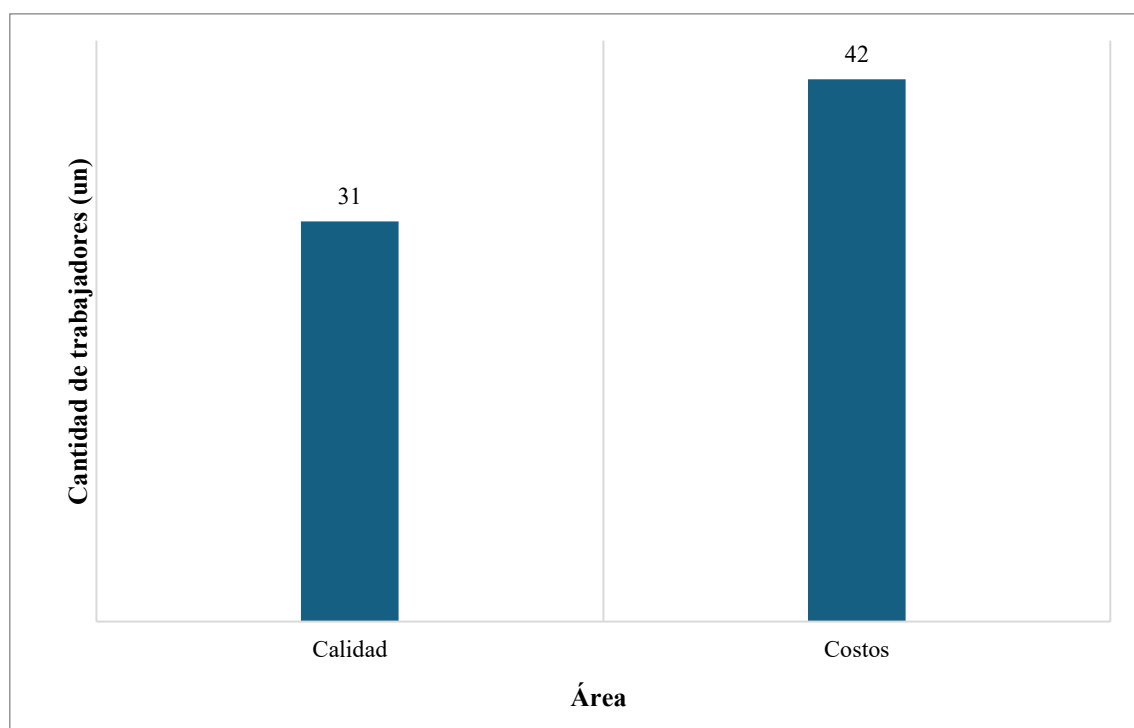


Gráfico 3: Cantidad de trabajadores según área de trabajo.

Para el área de trabajo se obtuvo que 31 personas trabajan en el área de calidad y 42 en el área de costos, con un 42% y un 58% respectivamente. Con un total de 73 personas.

La disparidad en la cantidad de profesionales entre el área de costos y el área de calidad observada en los resultados responde a una prioridad estratégica de la industria nacional. Como señala Love (2004), las constructoras priorizan las áreas que garantizan la liquidez financiera y gestión de contratos (costos) sobre aquellas destinadas a la prevención de fallas (calidad). Esta estructura sugiere que la inversión en personal se orienta a la mitigación de riesgos económicos inmediatos, dejando la gestión de calidad en una posición jerárquica o numérica inferior, lo cual paradójicamente aumenta la probabilidad de incurrir en los costos de las fallas de calidad que esta investigación analiza.

5.2. Área de Calidad y/o Inspector Técnico de Obra

5.2.1. Tipos de falla presentes.

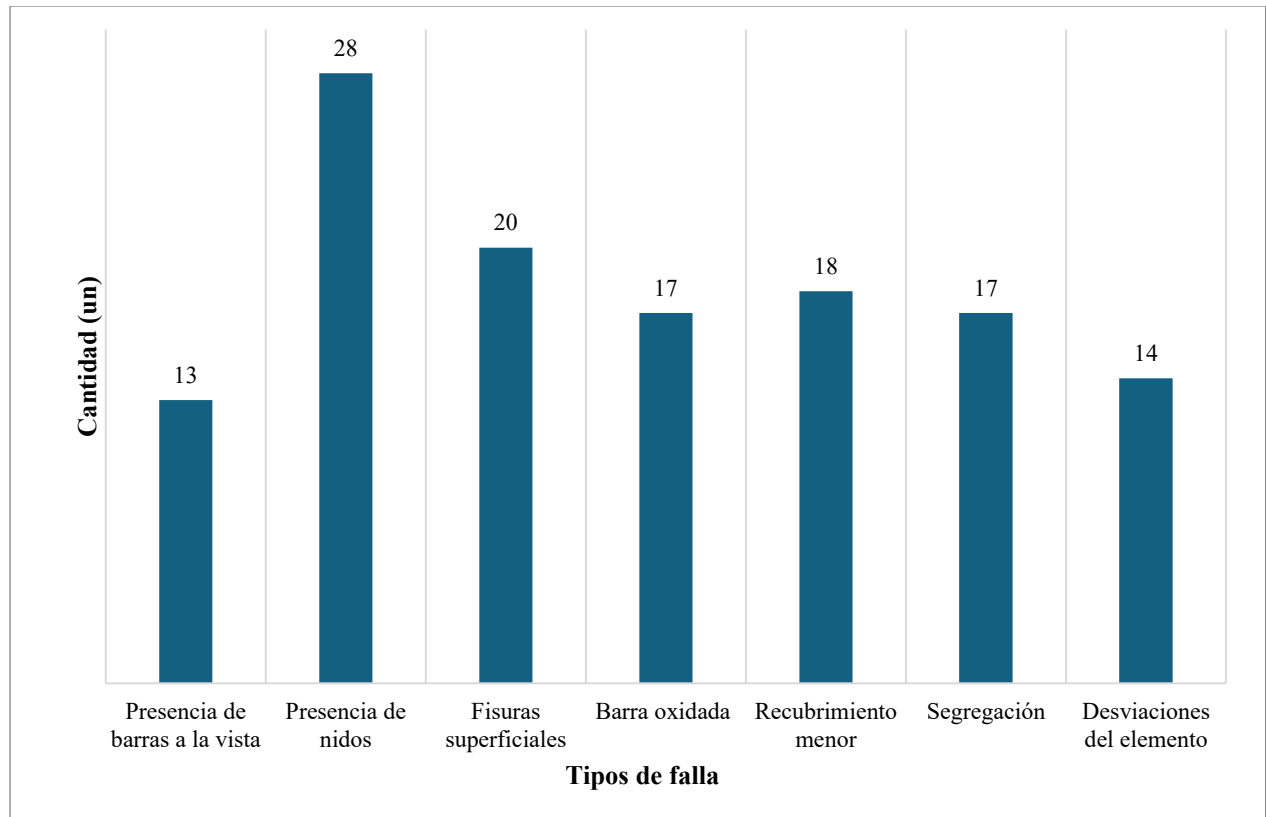


Gráfico 4: Cantidad de tipos de falla.

Para los tipos de falla, la presencia de nidos tuvo la mayor frecuencia (28 con un 22%). A esta le siguen cuatro tipos de falla con menor cantidad: fisuras superficiales, recubrimiento menor, barra oxidada y segregación. El resto de los tipos de falla tuvieron 1 a 2 puntos de diferencia en frecuencia a estas últimas tres.

Existen tipos de fallas que pueden concadenar otras fallas. Un ejemplo de esto ocurre cuando el recubrimiento es menor, dando origen a una enfierradura expuesta (barras a la vista), y con ello propiciando la oxidación de estas (ver Figura 1). Esto se complementa con la frecuencia similar de estas fallas observadas en el Gráfico 4.

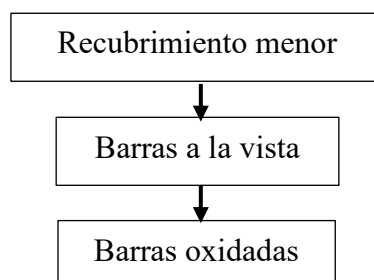


Figura 1: Esquema de causalidad entre recubrimiento-barras-oxidación.

Dentro de los tipos de falla, existe un grado de coocurrencia entre la segregación del hormigón y con ello la aparición de patologías estructurales, de acuerdo con la guía para la

consolidación del Concreto ACI 309R (2005) que proporciona recomendaciones técnicas, la segregación actúa como precursor de los nidos al impedir que el mortero rellene los espacios entre el árido grueso, y con esta falta de homogeneidad se altera la distribución del hormigón en la superficie, incrementando la posibilidad de fisuras superficiales por retracción. (Figura 2), lo cual coincide con lo observado en el Gráfico 4.

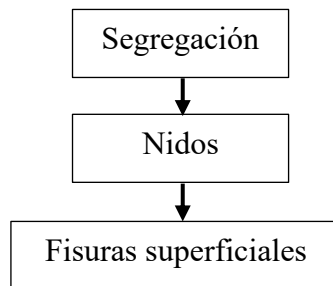


Figura 2: Esquema de causalidad de segregación-nidos-fisuras.

5.2.2. Frecuencia de fallas presentadas por proyecto.

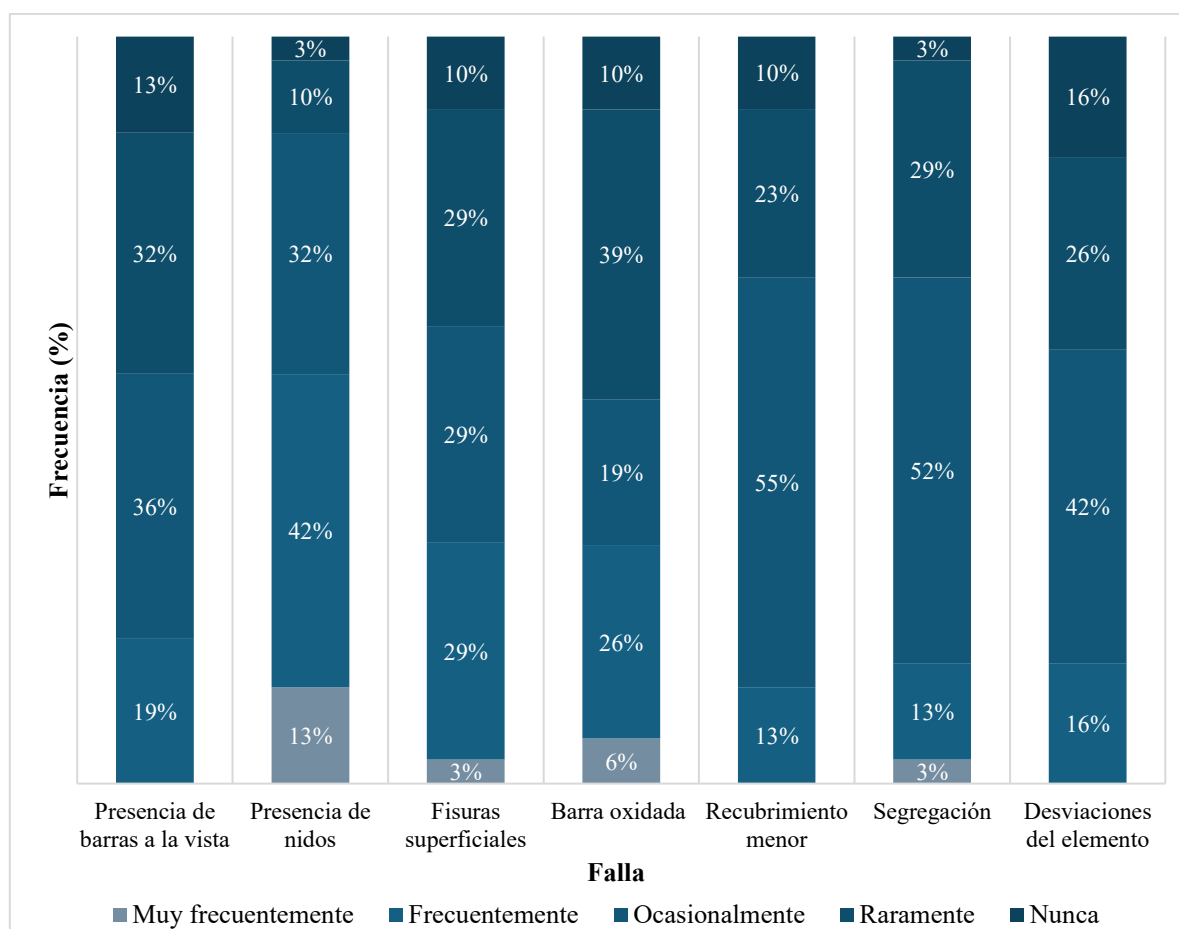


Gráfico 5: Frecuencia de la falla.

La presencia de nidos como falla tiene la mayor de frecuencias de aparición en los proyectos de edificación (54,8% entre frecuente y muy frecuentemente, Gráfico 5).

Los segundos más frecuentes son barra oxidada y fisuras superficiales (32% entre frecuente y muy frecuentemente), y en tercer lugar se encuentra presencia de barras a la vista (19% frecuente).

La segregación suele ser la causa principal que lleva a la formación de nidos, debilitando la sección de la estructura y sobre o cerca de estos nidos y áreas segregadas, suelen aparecer fisuras superficiales, que se pueden magnificar por la corrosión del acero expuesto, dependiendo del nivel de humedad que haya en la zona territorial.

5.2.3. Tipos de causas de las fallas de hormigón observadas.

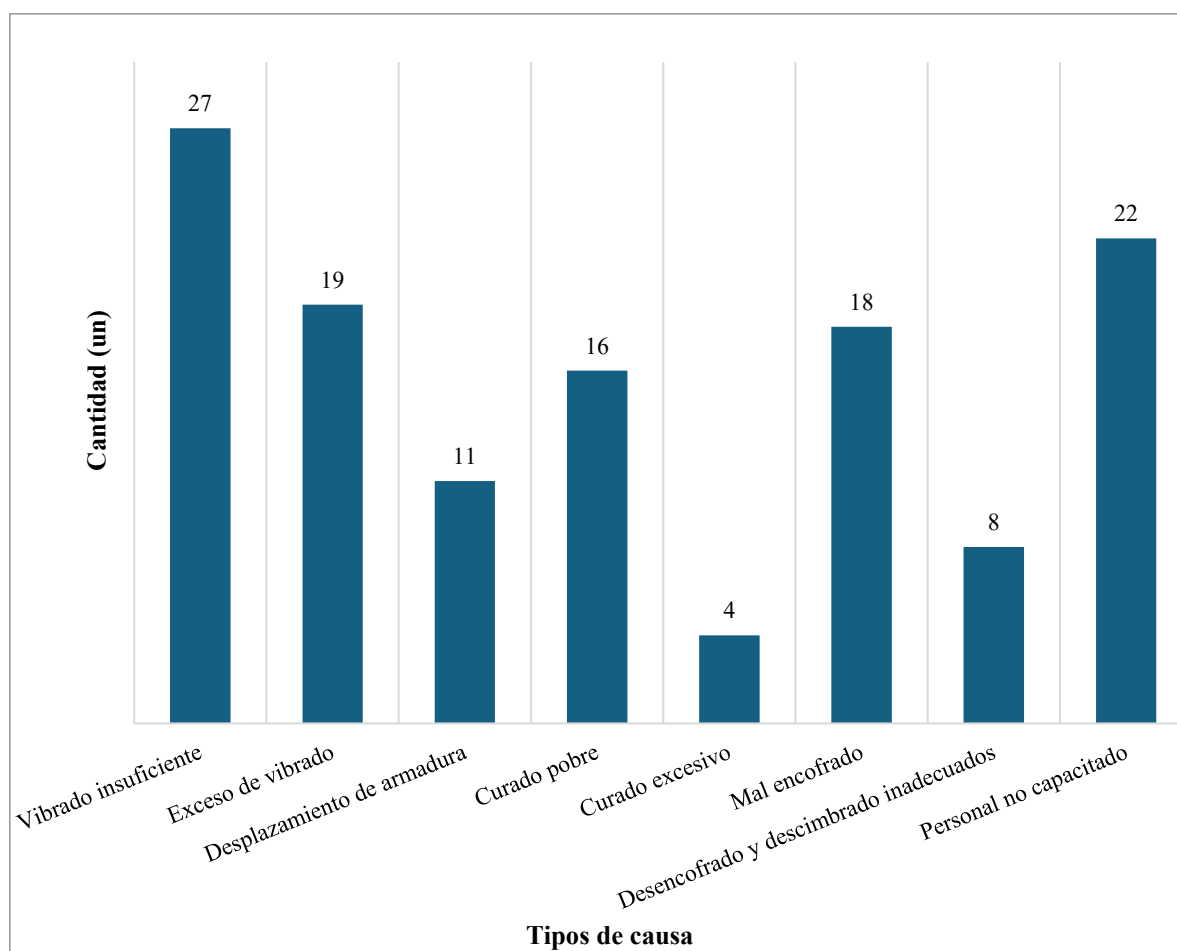


Gráfico 6: Tipos de causas de las fallas de hormigón y su frecuencia.

Para los tipos de causas, el vibrado insuficiente tuvo una mayor frecuencia (27 personas, 22%), a esto le sigue personal no capacitado (22 personas, 18%).

Los datos colectados sugieren que la variabilidad en la calidad el vibrado es alta y esto podría ser una consecuencia de la poca capacitación del personal que se encuentra en terreno ejecutando estos trabajos. Como menciona Forcada et al. (2014), la carencia de programas de capacitación específica en la etapa de obra gruesa incrementa la incidencia de fallas en terreno. De esta forma, un trabajador sin instrucción formal tiende a incurrir en un vibrado insuficiente o excesivo, por desconocimiento provocando en ambos casos fallas de calidad que redundan en costos de reparación evitables.

5.2.4. Frecuencia de causas presentadas por proyecto.

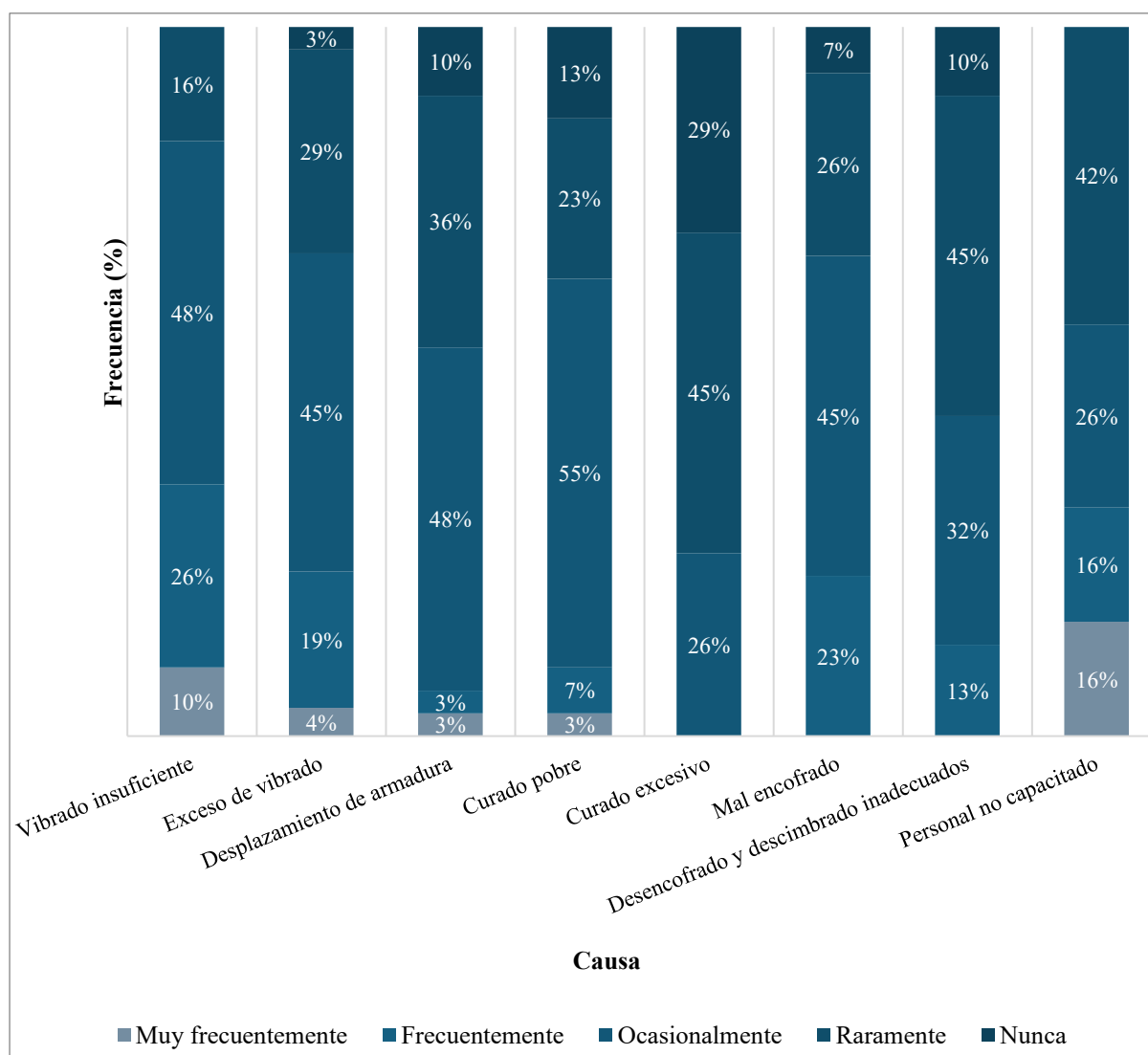


Gráfico 7: Frecuencia de la causa.

El vibrado insuficiente como causa tienen mayor de frecuencia de presencia en los proyectos de edificación (36% entre frecuente y muy frecuentemente), a esto le sigue el personal no capacitado (32% entre frecuente y muy frecuentemente).

A esto le sigue en partes iguales el exceso de vibrado y mal encofrado (23% entre frecuente y muy frecuentemente).

Debido a que el personal que ejecuta las tareas en obra no necesariamente se encuentra capacitado para ejercer las labores que se le exigen, pueden no tener conocimiento de como vibrar el hormigón al momento de ser vertido, lo que ocasiona desajustes en exceso y/o insuficiente vibrado de este.

5.2.5. Recomendaciones para prevenir fallas de calidad en el hormigón armado.

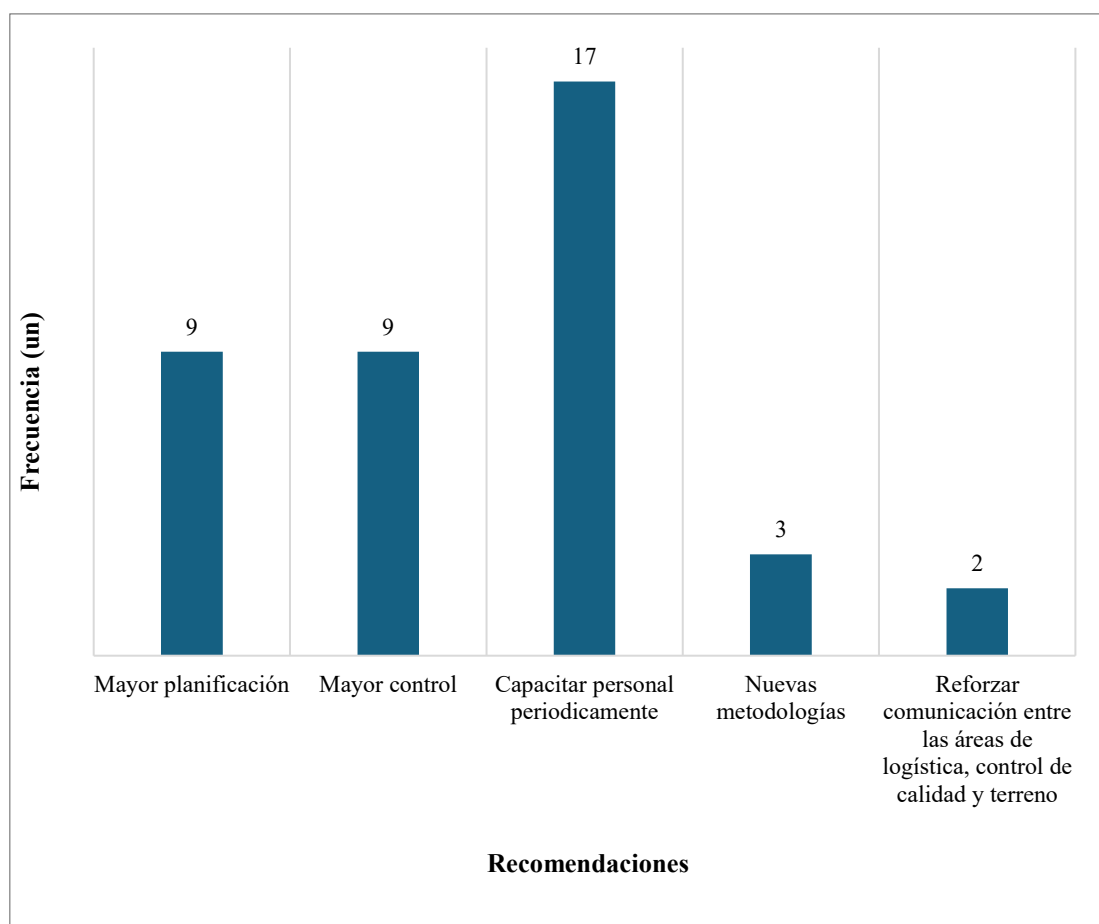


Gráfico 8: Frecuencia de recomendaciones.

Los entrevistados respondieron una pregunta abierta, por lo que las respuestas se agruparon en cinco categorías principales, siendo las de mayor frecuencia Capacitar personal periódicamente (17 menciones, 43%), a esto le sigue Mayor planificación y Mayor control (9 menciones, 23%) en partes iguales (Gráfico 8).

Los profesionales entrevistados recomiendan mayor planificación y control, lo que implicaría tener una mayor supervisión en terreno y trabajar constantemente con un plan de trabajo para cumplir plazos y estos sean respetados. Estas mejoras podrían significar un aumento dentro del presupuesto, sin embargo, sería una especie de inversión para así prevenir los gastos extras que habría en caso de tener fallas de calidad significativas y esto podría ser cuestionado en el directorio.

5.3. Área de Costos (Oficina técnica y/o Administrador de obra)

5.3.1. Fallas con mayor impacto monetario por reparación.

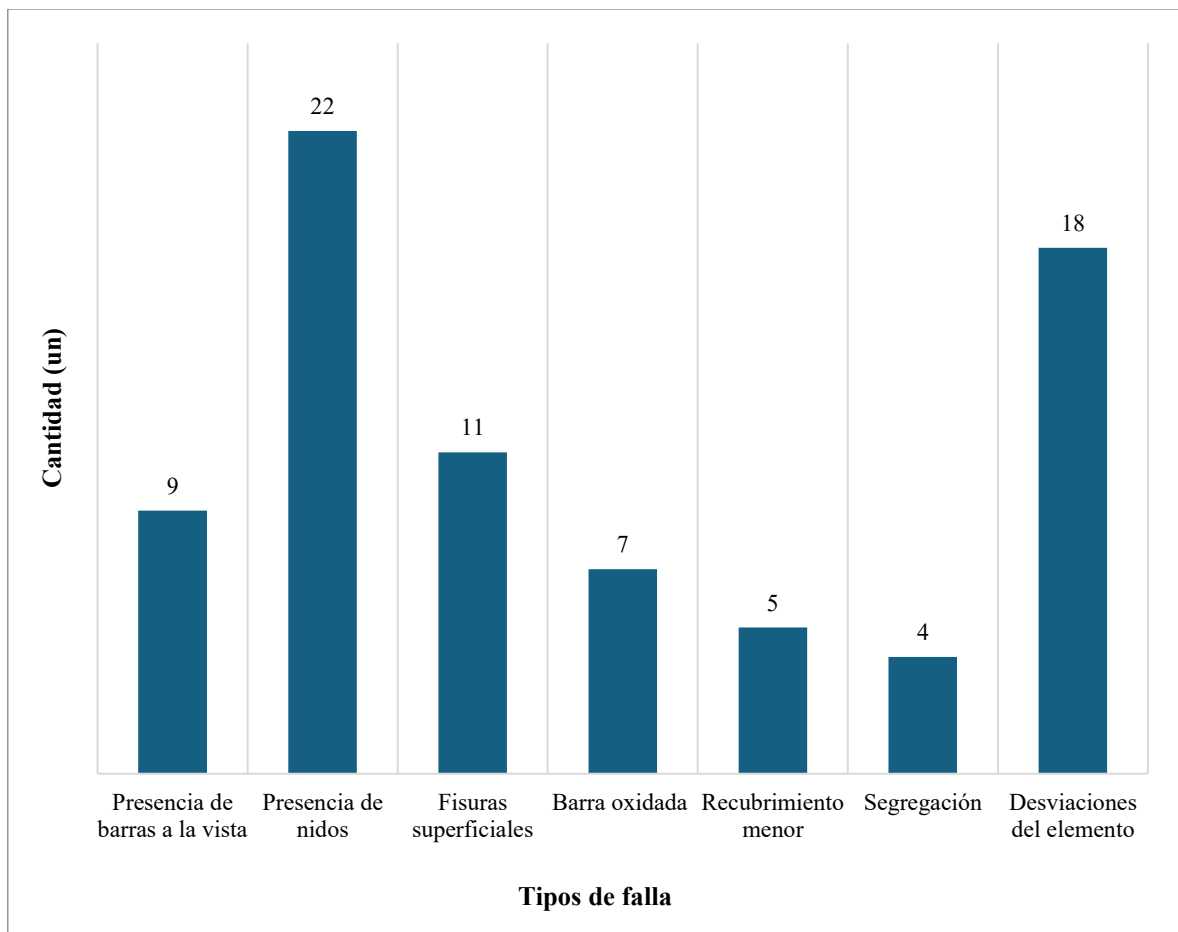


Gráfico 9: Cantidad de tipos de falla.

Para los tipos de falla, la presencia de nidos tuvo una mayor frecuencia (22 respuestas con un 29%), a esto le sigue desviaciones del elemento (18 respuestas con un 24%), y fisuras superficiales (11 con un 14%).

La presencia de nidos es la falla más frecuente tanto en el área de costos al igual que en el área de calidad. Esto significa que lo que sucede en terreno y es percibido por el área de calidad igualmente tiene repercusiones en los costos que se ven en oficina. Por otra parte, las desviaciones del elemento (como otra falla costosa de reparar), no suele ser tan frecuente como la anterior y ni fue mencionada por el área de calidad.

5.3.2. Porcentaje extra del presupuesto inicial de la partida de Obra Gruesa asignada a las reparaciones de las fallas en el hormigón armado.

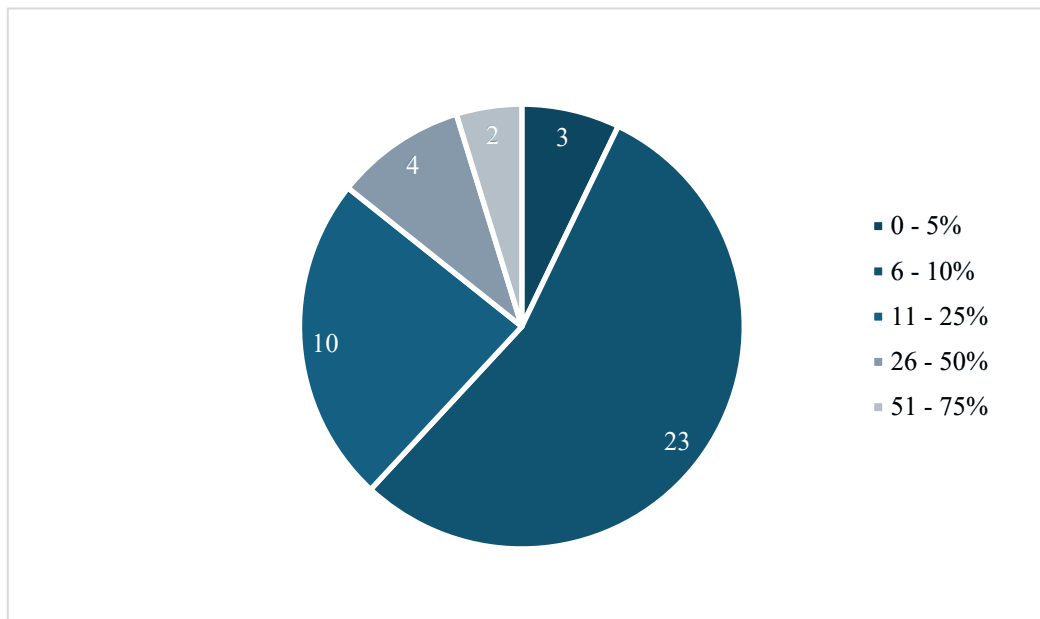


Gráfico 10: Costo extra del presupuesto debido a fallas en el hormigón armado.

23 partidas de Obra Gruesa tuvieron entre un 6% y 10% de presupuesto extra y 10 partidas tuvieron entre un 11% y 25% (Gráfico 10).

La reparación de las fallas de calidad en el hormigón armado se sale notoriamente del presupuesto inicial de la partida de Obra gruesa, lo cual por convenio no debería ocurrir. Esto se mitiga de diferentes formas, una de estas es haciendo recortes en las utilidades previstas, obteniendo una menor ganancia neta para el proyecto (Hwang et. al, 2009). El sobre costo se atribuye a que patologías como la presencia de nidos o las desviaciones del elemento son complejas de subsanar, exigiendo técnicas de reparación especializadas y tiempos adicionales. En casos donde la envergadura de la falla compromete la seguridad estructural o la arquitectura, la solución puede escalar hasta la demolición total del elemento y su reconstrucción (Love, 2002).

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

Los profesionales del área de costos consideran más relevantes las fallas que tienen un mayor costo de reparación, ya que tiene un mayor impacto en el presupuesto del proyecto. En contraste, los profesionales del área de calidad consideran más relevantes las fallas que son de mayor importancia estructural y las que ocurren con mayor frecuencia. Esto habla de la importancia de ponderar los dos roles y percepciones en este tema de investigación.

A partir de las fallas mencionadas por los profesionales, se puede afirmar que existe un patrón a pesar de estar en diferentes contextos geográficos y pueden estar relacionadas entre sí, ya que, al ser parte del mismo proceso constructivo, una puede desencadenar a la otra. Por ejemplo, cuando el recubrimiento es menor, puede dar origen a tener barras a la vista y con ello posteriormente barras oxidadas, teniendo una relación de tres fallas de calidad propiciadas por una inicialmente.

Sin embargo, hay que destacar que la falla más recurrente entre los profesionales del área de calidad y costos fue la presencia de nidos en el hormigón armado, siendo esta la más crítica. Esta falla se debe al vibrado insuficiente del hormigón, que es ocasionada por personal de terreno no capacitado. Por otra parte, los profesionales del área de costos estiman que los proyectos de construcción tienen un sobrecosto del 6% al 10% en las reparaciones de las fallas del hormigón armado, cifra que parece alarmante, pero al interpretarla en la literatura estudiada no lo es, pues Love (2002) señala en su investigación que los sobrecostos tuvieron un promedio del 12,6%. Esto demuestra que la realidad constructiva de las zonas norte y centro de Chile se encuentran dentro de los parámetros globales.

Una de las recomendaciones es implementar capacitaciones certificadas obligatorias de vibrado de hormigón para el personal que se encuentra en terreno desarrollando esta labor, enfocándose en la técnica de inmersión del vibrado, los tiempos estimados por sector y como evitar tocar la enfierradura.

También se recomienda desarrollar o implementar sistemas para el seguimiento y control de la calidad de forma obligatoria y estandarizada para la industria privada y pública de la construcción, ya sea con fichas de inspección, bitácoras de obra o implementar la filosofía Lean Construction y Last Planner System, para así abordar el control de calidad de forma preventiva.

Una de las limitantes en esta investigación fue encontrar documentos de estudios realizados en la realidad chilena, por lo que la base para comparar lo estudiado en el presente informe se basa en la experiencia del extranjero. Esto plantea que faltan estudios por hacerse en el contexto país.

Para estudios futuros se sugiere explorar los proyectos de la zona sur de Chile, para así conocer lo que ocurre en esta parte del país con respecto a las fallas de calidad en el hormigón armado y su costo asociado. También se sugiere tratar de recaudar más información de los trabajadores con más años de experiencia, ya que sus vivencias son de gran valor y no fueron

estudiadas en esta investigación. Se propone también explorar la opinión abierta de los profesionales sobre las fallas en el hormigón armado, ya que las posibles fallas estaban predeterminadas en el diseño metodológico.

La solución para prevenir fallas de calidad en las edificaciones de hormigón armado no se basa en la práctica de una operación aislada, sino en la estructuración de un sistema integrado de gestión y control. Por lo tanto, abordar el problema desde la raíz es primordial para evitar errores y desviaciones en el proceso constructivo. Para alcanzar este estándar, la formación técnica del personal, la solidez de los procesos de supervisión y el seguimiento estricto del cronograma técnico son fundamentales. La evidencia es inequívoca: el error humano, particularmente cuando se complementa con una deficiente formación, constituye el principal factor detrás de patologías estructurales. Estas fallas de calidad no solo afectan negativamente el presupuesto estimado como se evidenció, sino que impactan de forma crítica en la planificación y en el cumplimiento de los plazos de la obra. En consecuencia, la transición hacia una construcción de calidad solo será efectiva cuando el control de calidad deje de percibirse como un costo adicional y pase a entenderse como una inversión estratégica para el proyecto, considerando su impacto directo en la reducción de sobre costos, retrasos y pérdidas de productividad.

CAPÍTULO 7: REFERENCIAS

- Hwang, B.-G., Thomas, S. R., Haas, C. T., & Caldas, C. H. (2009). Measuring the impact of rework on construction cost performance. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(3), 187–198. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000136](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000136)
- Khadim, N., Thaheem, M. J., Ullah, F., & Mahmood, M. N. (2023). Quantifying the cost of quality in construction projects: An insight into the base of the iceberg. *Quality & Quantity*, 57(2), 1021–1040. <https://doi.org/10.1007/s11135-022-01574-8>
- Gracia, S., & Dzul, L. (2007). Modelo PEF de costes de la calidad como herramienta de gestión en empresas constructoras: una visión actual. *Revista ingeniería de construcción*, 22(1), 43-56. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732007000100005>
- Mostofi, F., Toğan, V., Ayözen, Y. E., & Tokdemir, O. B. (2022). Predicting the impact of construction rework cost using an ensemble classifier. *Sustainability*, 14(22), 14800. <https://doi.org/10.3390/su142214800>
- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (2010). Manual de construcción en hormigón armado. Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile.
- Mubarak, M. (2019). Cost estimation of structural components of a building by considering the seismic load on different regions. Research Article. <https://doi.org/10.1155/2019/7357913>
- Montes, M., Falcón, R., & Ramírez, A. (2016). Estimating building construction costs: analysis of the process-based budget model (POP Model). *Revista Ingeniería de Construcción*, 31(1), 17–25. https://www.scielo.cl/pdf/ric/v31n1/en_art02.pdf
- Love, P. E. D., & Li, H. (2000). Quantifying the causes and costs of rework in construction. *Construction Management and Economics*, 18(4), 479–490. <https://doi.org/10.1080/01446190050024897>
- Mahamid, I. (2020). Study of relationship between rework and labor productivity in building construction projects. *Revista de la Construcción (Journal of Construction)*, 19(1), 30–41. <https://doi.org/10.7764/RDLC.19.1.30-41>
- Zhao, X., Hwang, B. G., & Low, S. P. (2014). Critical success factors for enterprise risk management in Chinese construction companies. *Construction Management and Economics*, 31(12), 1199–1214. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.867521>
- American Concrete Institute. (2019). ACI 318S-19: Reglamento de requisitos de construcción para concreto estructural (ACI 318S-19) y comentario (ACI 318RS-19)
- DICTUC S.A. (2010). Sello de Calidad para la Vivienda – Requisitos etapa de construcción, Sección 4.1. División Ingeniería y Gestión de la Construcción.
- Latorre Aizaga, H. J. (2024). Avances en el Uso del Hormigón Armado en Ingeniería Civil: Una revisión sistemática. *Magazine De Las Ciencias: Revista De Investigación E Innovación*, 9(3), 47–68. <https://doi.org/10.33262/rmc.v9i3.3161>

Villao-Vera, R. (2022). Las nuevas técnicas para el desarrollo y evaluaciones de las estructuras de hormigón. 593 *Digital Publisher CEIT*, 7(3-1), 176–190. <https://doi.org/10.33386/593dp.2022.3-1.1134>

Centro UC de Innovación en Madera y Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2023). Base de datos e Indicadores para el seguimiento de la Construcción en Chile. <https://www.disenamadera.cl/Documentos%20y%20Guias/Base%20de%20datos%20e%20indicadores%20construccion%20Chile.pdf>

Prensky, M. (2001). Digital natives, digital immigrants part 1. *On the Horizon*, 9(5), 1–6. <https://doi.org/10.1108/10748120110424816>

Subsecretaría de Telecomunicaciones. (2025). Informe final: Acceso y uso de Internet 2024. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. <https://www.subtel.gob.cl/wp-content/uploads/2025/02/Informe-Final-Subtel-Acceso-y-Uso-Internet-2024.pdf>

Love, P. E., & Edwards, D. J. (2004). Determinants of rework in building and civil engineering projects. *Perspectives in Civil Engineering*, 130(2), 259-266. <https://doi.org/10.1108/09699980410547612>

American Concrete Institute. (2005). Guide for consolidation of concrete (ACI 309R-05).

Forcada N., Macarulla M., Gangolells M.. (2014). Assessment of construction defects in residential buildings in Spain, *Building Research & Information*, 42(5): 629-640. <https://doi:10.1080/09613218.2014.922266>

OECD. (2019). Measuring the digital transformation: A roadmap for the future. *OECD Publishing*. <https://doi.org/10.1787/9789264311992-en>

Love, P. E. (2002). Influence of project type and procurement method on rework costs in building construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(1), 18-29. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:1\(18](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:1(18)

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (1992). Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones (D.S. N° 47). <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=8201>

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2018). Manual de reparaciones y refuerzos estructurales. Vol. 4 Estándares Técnicos de Construcción.

Solminihaç, H., & Thenoux, G. (2018). Procesos y técnicas de construcción (5ta ed.). Ediciones UC.

Angst U., Elsener B., Larsen C., Vennesland Ø. (2009). Cement and Concrete Research 39 (2009) 1122–1138. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.08.006>

Allen, D. E. (1979). Errors in concrete structures. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 6(3), 465-467. <https://doi.org/10.1139/l79-059>

Calcagni M. T., Salerno G., Martarelli M., Schlenger J. U., Hassan T., Heinikainen R., Borrmann A., Fies B., Revel G. M., (2025) Concrete defect identification and measurement in buildings, Acta IMEKO, vol. 14 no. 3, pp. 1-11. <https://doi.org/10.21014/actaimeko.v14i3.1965>

Navarrete, I., & Lopez, M. (2016). Estimating the segregation of concrete based on mixture design and vibratory energy. Construction and Building Materials, 122, 384-390. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.066>

Instituto Nacional de Normalización. (2016). Hormigón - Requisitos generales (NCh170:2016).

Instituto Nacional de Normalización. (2008). Hormigón armado – II Parte (NCh430:2008).

Instituto Nacional de Normalización. (2006). Acero - Barras laminadas en caliente para hormigón armado (NCh204:2006).

Instituto Nacional de Normalización. (2009). Hormigón - Determinación de la docilidad - Método del asentamiento del cono de Abrams (NCh1019:2009).

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2018). Manual de Control de Calidad en Obra.

CAPÍTULO 8: ANEXOS

8.1. Tabla n°12 de la norma NCh170.

Tabla 12 – Plazos mínimos de desmolde y descimbre

Tipos de elementos y moldajes	Plazo mínimo para desmolde y descimbre
	Temperatura media diaria $\geq 10^{\circ}\text{C}$
Paramentos verticales de columnas, muros y vigas largas	12 h (ver Nota 1)
Fondos de losas	4 días
Fondos de vigas y puntales de losas	10 días
Puntales de vigas	14 días
NOTA 1 Las 12 h corresponden a temperaturas ambientes mayores que 10°C (a efecto de contabilizar las 12 h no se deben incorporar los períodos con temperatura menor que 10°C).	
NOTA 2 Si la temperatura ambiente media diaria es menor que 10°C y no se han adoptado medidas especiales de protección, puede ser necesario incrementar los plazos indicados en esta tabla hasta que el hormigón alcance la resistencia requerida.	
NOTA 3 Al momento de retirar los moldajes y antes de proceder al reapuntalamiento, no deben existir sobrecargas de construcción en el elemento.	

NOTA Al momento de retirar los moldajes, antes de proceder al reapuntalamiento, no deben existir sobrecargas de construcción en el elemento.

8.2. Encuesta

Impacto económico de fallas de calidad del hormigón armado en el Norte y Centro de Chile

El propósito de este estudio es analizar las fallas de calidad del hormigón armado en proyectos de edificación, mediante la experiencia de profesionales que hayan trabajado en el área de Costos o Calidad, con el objetivo de evidenciar los costos durante la etapa de Obra Gruesa. Esta encuesta tiene como duración máxima 6 minutos.

Consentimiento informado

Agradecemos su participación en esta investigación sobre las fallas de la calidad y los costos que estas conllevan, realizada por la Universidad Técnica Federico Santa María. Nos comprometemos a cumplir con los aspectos establecidos en la Ley 19.628 sobre protección de datos de carácter personal.

1. ¿Desea participar voluntariamente en esta investigación, respondiendo la encuesta?

- ☐ Sí
- ☐ No

Información demográfica

2. Aproximadamente, ¿cuántos años de experiencia lleva en el rubro de la construcción?

3. ¿En qué región trabaja actualmente?

- ☐ XV Arica y Parinacota
- ☐ I Tarapacá
- ☐ II Antofagasta
- ☐ III Atacama
- ☐ IV Coquimbo
- ☐ V Valparaíso
- ☐ Metropolitana de Santiago
- ☐ VI Libertador General Bernardo O'Higgins
- ☐ VII Maule
- ☐ XVI Ñuble
- ☐ VIII Biobío

4. ¿En cuál de los siguientes cargos tiene más experiencia?

- ☐ Calidad y/o Inspector técnico de obra
- ☐ Oficina técnica y/o Administrador de obra

Calidad y/o Inspector técnico de obra.

Teniendo en consideración el Manual de Control de Calidad de Obra desarrollado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, responder las siguientes preguntas en base a su experiencia en obras de Edificaciones.

5. ¿Qué tipos de falla se han presentado en su experiencia? Puede seleccionar más de una opción.

- ☐ Presencia de barras a la vista
- ☐ Presencia de nidos
- ☐ Fisuras no superficiales y/o grietas
- ☐ Barra oxidada o corroída
- ☐ Recubrimiento menor al especificado
- ☐ Segregación
- ☐ Desviaciones del elemento respecto a la posición especificada

6. ¿Con qué frecuencia estas fallas se han presentado por proyecto?

ITEM	Muy frecuentemente	Frecuentemente	Ocasionalmente	Raramente	Nunca
Presencia de barras a la vista					
Presencia de nidos					
Fisuras superficiales					
Barra oxidada					
Recubrimiento menor					
Segregación					
Desviaciones del elemento					

7. ¿Qué causas observa usted en estos eventos de falla? Puede seleccionar más de una opción.

- ☐ Vibrado insuficiente
- ☐ Exceso de vibrado
- ☐ Desplazamiento de armadura
- ☐ Curado pobre
- ☐ Curado excesivo
- ☐ Mal encofrado
- ☐ Desencofrado y descimbrado inadecuados
- ☐ Personal no capacitado

8. ¿Con qué frecuencia estas causas se han presentado por proyecto?

ITEM	Muy frecuentemente	Frecuentemente	Ocasionalmente	Raramente	Nunca
Vibrado insuficiente					
Exceso de vibrado					
Desplazamiento de armadura					
Curado pobre					
Curado excesivo					
Mal encofrado					
Desencofrado y descimbrado inadecuados					
Personal no capacitado					

9. ¿Qué recomendaría o cambiaría en la industria de la construcción para prevenir estas fallas de calidad en el hormigón armado?

Oficina técnica y/o Administrador de Obra.

Teniendo en consideración su experiencia en obras de Edificación, responder las siguientes preguntas.

5. Según su criterio profesional, ¿Cuáles de las siguientes fallas tienen un mayor impacto monetario por reparación? Puede seleccionar más de una opción.

- ☐ Presencia de barras a la vista
- ☐ Presencia de nidos
- ☐ Fisuras no superficiales y/o grietas
- ☐ Barra oxidada o corroída
- ☐ Recubrimiento menor al especificado
- ☐ Segregación
- ☐ Desviaciones del elemento respecto a la posición especificada

6. ¿Qué porcentaje EXTRA respecto al Presupuesto Inicial de la partida de Obra Gruesa les asignaría a las reparaciones de las fallas anteriormente mencionadas? Para esto considere tanto el material para la reparación, como las herramientas, tiempo extra y personal que realice el trabajo.

- ☐ 0 - 5%
- ☐ 6% - 10%
- ☐ 11% - 25%
- ☐ 26% - 50%
- ☐ 51% - 75%
- ☐ 76% - 100%
- ☐ Mayor al 100%

