



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**VALIDACIÓN DE PROPUESTA DE MANUAL DE INSPECCIÓN TÉCNICA
DE OBRAS DE HORMIGÓN PARA EDIFICACIÓN EN ALTURA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

IVÁN PABLO ALCORTA LÓPEZ

PROFESORA GUÍA:
CARMEN MUÑOZ EFFA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
**MILENKO OGAZ CARRASCO
CARLOS GÁLVEZ LILLO
ADOLFO OCHOA LLANGATO**

SANTIAGO DE CHILE
2024

Resumen

Este Trabajo de Título busca verificar la aplicabilidad de los parámetros de conformidad que propone el Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón (Gálvez, José Tomás, 2023), pero exclusivamente en edificación en altura.

La verificación y posterior realización de un Manual definitivo permitirá realizar un adecuado control de la calidad del proceso de hormigonado, analizando variables que son efectivamente medibles en terreno y utilizando información que manejan los profesionales de obra. Se busca con él, lograr un proceso de hormigonado óptimo y de la más alta calidad, identificando en qué etapas del proceso están fallando las empresas, ya sea en cuanto a aspectos de las Especificaciones Técnicas (EETT) o normativos, para así orientar los recursos de manera efectiva y solucionar los problemas.

Para la verificación de aplicabilidad se escogieron tres casos de estudio diferentes, los cuales corresponden a obras de edificación en altura del tipo habitacional y de oficinas. En ellas, luego de hacer un levantamiento de la información contenida en la Propuesta de Manual y en las EETT respectivas de cada obra, se realizaron las mediciones establecidas en las Listas de Chequeo de la Propuesta de Manual, para analizar si efectivamente todos los parámetros establecidos en ella eran aplicables al trabajo de terreno y era información manejada en obra. Con lo anterior, se cumplieron los dos primeros objetivos específicos de la Memoria.

Con la aplicación de la Propuesta de Manual se verificó que éste efectivamente corresponde a un aporte al mundo de la construcción, cumpliendo el objetivo general del Trabajo de Título. Sin embargo, pese a lo anterior, fue necesaria la realización de modificaciones, de manera de obtener una versión optimizada que sea de fácil aplicación en terreno y contenga aspectos medibles y de los cuales se tenga información en obra, cumpliendo con ello el tercer objetivo específico.

En cuanto a los resultados de la aplicación, fue posible observar la directa relación existente entre una robusta EETT y la calidad del producto final, es decir, mientras más especificación y mayor cantidad de controles tenga la obra, mejor es el proceso de hormigonado. También, se evidenció la relevancia del proceso de vibrado, ya que fallas en ello generan un producto final de mala calidad. Por último, se observó que a nivel de industria de la construcción se debe mejorar en aspectos de protección del hormigón, curado de éste y tiempo de descarga de los camiones mezcladores en obra. Todo lo anterior, es de fácil identificación al momento de aplicar las Listas de Chequeo definitivas.

Para mi Tata querido, a quien admiro y extraño cada día. Siempre me quedo con su frase favorita: “caminante, no hay camino, se hace camino al andar”.

Agradecimientos

Primero que todo, me gustaría agradecer a mi querida madre. No tengo palabras para agradecer todo el apoyo que me ha brindado desde el primer día, siempre con una sonrisa y la mejor de las disposiciones a ayudarme en lo que sea. Con sus consejos y experiencia me ayudaba a tomar las decisiones correctas, e incluso me levantaba cuando más lo necesitaba. Aún recuerdo cuando estuve a punto de salirme de la carrera, y a pesar de mi tremenda frustración y enojo personal, mi madre encontraba la forma de tranquilizarme y ver salida a los problemas. A mi padre, que gracias a su tremendo esfuerzo, y también por supuesto al de mi madre, me entregó todo lo necesario para poder estudiar, nunca me faltó ni faltará nada gracias a ellos. Estoy profundamente agradecido de ser su hijo, y siempre agradeceré todo el esfuerzo que hacen por entregarme una vida como la que tengo.

Agradecer por supuesto a mi polola linda, mi princesa, la Cata. Sin ella no hubiese podido sobrellevar todas las dificultades que se me presentaron en los primeros años de carrera. Me ayudó a seguir luchando y perseguir mis sueños, incluso cuando todo estaba nublado y no veía por donde lograría ser Ingeniero Civil de la Universidad de Chile. Me hizo ser perseverante, un luchador y defender mis convicciones, me ayudó a madurar y dejar de ser tan ansioso. Sin duda, me hizo una mejor persona. Por esto y mucho más, eres lo máximo mi vida. Agradecido también de tu hermosa familia, quienes me acogieron como un miembro más desde el día que te conocí, este sueño también es gracias a ellos, por su ayuda y cariño que me entregan día a día.

A mi tíos, Eliseo y Claudia. Siempre me han ayudado y apoyado en todo lo que pueden, los quiero a ambos como si fuesen mis papás y estaré eternamente agradecido por todo lo que hacen por mí. Me ayudan cuando más lo necesito y son expertos en solucionar todas las dudas de mi vida adulta jajaja. Nunca olvidaré las vacaciones del verano 2023, que bien lo pasamos y disfrutamos a concho. Siempre buscando unir a la familia, son de verdad increíbles.

También, agradecer a mi profesora guía, quien con paciencia y mucho conocimiento me guió por el camino de la titulación. Me aterrizó cuando estaba un poco acelerado con el proceso y solucionó todas mis dudas, incluso si ello significaba reuniones tarde los días de semana. Espero haber cumplido a cabalidad sus expectativas y muchas gracias por ayudarme a cumplir este sueño.

No puedo dejar de agradecer a mi equipo de fútbol del Estadio Español, Cachañas. Los entrenamientos, partidos, copas que ganamos, la copa del 12 del año 2022 y los asados varios que hicimos, me permitieron despejar la cabeza y seguir estudiando y esforzándome por lograr titularme. El fútbol es lo que más me apasiona en la vida y con ellos jugamos todas las semanas, sin duda ya es algo fundamental en mi vida, y su compañía alegra mis días. Muchas gracias y vamos por más, somos el mejor equipo del Estadio por lejos.

Agradecer a mis amigos de Civil, en particular a Team Topo. Clemente y Jaime, qué buen grupo armamos, tomamos todos los ramos juntos hasta que Clemente se fue por la rama Hidráulica. A pesar de ello, seguimos siendo muy unidos y recuerdo con una sonrisa las tardes de estudio que teníamos, ayudándonos mutuamente. No tengo dudas que en el mundo laboral nos seguiremos encontrando, y nos juntaremos y recordaremos entre risas lo vivido en la Universidad. También agradecer a todos mis compañeros de Civil, con quienes compartimos varios cursos y almuerzos juntos, sin duda un tremendo grupo lleno de personas brillantes.

Por último, agradecer a mi grupo de amigos de la sección 4. Cuántas dificultades para aprobar Plan Común jajaja, pero quién lo diría, acá estamos, casi todos ya titulados o próximos a estarlo. Nunca olvidaré esos días de estudio, donde a veces sentía que no entendía absolutamente nada pero que aún así nos reíamos y lo pasábamos bien. Valle, Pepe, Cristóbal y Diego, siempre agradecido de haberlos conocido.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes Generales	1
1.2. Propuesta de Manual ITOH	3
1.3. Motivación	4
1.4. Objetivos	5
1.5. Alcances y Limitaciones	5
1.6. Metodología	6
1.7. Resultados Esperados	7
2. Marco Teórico	8
2.1. Generalidades del Hormigón	8
2.2. Especificación de Hormigón en Premezclado	9
2.3. Elementos Estructurales Principales de una Edificación	10
2.4. Fabricación Hormigón Premezclado, Transporte y Medición de Docilidad . .	10
2.5. Colocación, Compactación y Aceptación/Rechazo	13
2.6. Curado, Desmolde y Terminación de Hormigón	18
2.7. Reparaciones de Hormigón	21
3. Casos de Estudio	24
3.1. Tipología Obras	24
3.2. Hormigones Obras	24
3.3. Plan y Mediciones Realizadas	25

3.4. Levantamiento EETT	26
4. Resultados y Análisis	29
4.1. Consideraciones Previas	29
4.2. Resultados y Análisis de la Verificación	31
4.2.1. Etapa de Fabricación Hormigón Premezclado y Transporte	32
4.2.2. Etapa de Colocación, Compactación y Terminación	40
4.2.3. Etapa de Curado y Desmolde de Hormigón	62
4.2.4. Etapa de Aceptación/Rechazo de Hormigón	74
4.2.5. Etapa de Posibles Reparaciones	76
4.3. Niveles de Cumplimiento	80
5. Manual de ITOH Definitivo	87
5.1. Comentarios de la Aplicación	87
5.2. Modificaciones Realizadas	87
5.3. Listas de Chequeo Definitivas	92
6. Conclusiones	95
Bibliografía	100
Anexo	101

Índice de Tablas

2.1. Clasificación de Hormigones por Resistencia a Compresión. Fuente: Elaboración Propia, Información Obtenida de NCh 170:2016	9
2.2. Criterios de Aceptación del Ensayo de Asentamiento de Cono. Fuente: Elaboración Propia, Información Obtenida de NCh 170:2016.	13
2.3. Recomendaciones Para un Buen Proceso de Vibrado. Fuente: Tabla 49 de Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón, Gálvez, José Tomás, 2023.	17
3.1. Levantamiento EETT Obra 1. Fuente: Elaboración Propia.	26
3.2. Levantamiento EETT Obra 2. Fuente: Elaboración Propia.	27
3.3. Levantamiento EETT Obra 3. Fuente: Elaboración Propia.	27
3.4. Porcentaje de Especificación de Cada EETT. Fuente: Elaboración Propia.	28
4.1. Niveles de Cumplimiento Tabulados Etapa Fabricación y Transporte. Fuente: Elaboración Propia.	81
4.2. Niveles de Cumplimiento Tabulados Etapa Colocación, Compactación y Terminación. Fuente: Elaboración Propia.	83
4.3. Niveles de Cumplimiento Tabulados Etapa Curado y Desmolde de Hormigón. Fuente: Elaboración Propia.	84
4.4. Niveles de Cumplimiento Tabulados Etapa de Aceptación/Rechazo de Hormigón y Posibles Reparaciones. Fuente: Elaboración Propia.	85
A.1. Resultados de Etapa de Fabricación Hormigón Premezclado y Transporte de la Obra 1. Fuente: Elaboración Propia.	101
A.2. Resultados (Primera Parte) de Etapa de Colocación, Compactación y Terminación de la Obra 1. Fuente: Elaboración Propia.	102

A.3. Resultados (Segunda Parte) de Etapa de Colocación, Compactación y Terminación de la Obra 1. Fuente: Elaboración Propia.	102
A.4. Resultados de Etapa de Curado y Desmolde de la Obra 1. Fuente: Elaboración Propia.	102
A.5. Resultados de Etapas de Aceptación/Rechazo de Hormigón y de Posibles Reparaciones de la Obra 1. Fuente: Elaboración Propia.	103
A.6. Resultados de Etapa de Fabricación Hormigón Premezclado y Transporte de la Obra 2. Fuente: Elaboración Propia.	103
A.7. Resultados (Primera Parte) de Etapa de Colocación, Compactación y Terminación de la Obra 2. Fuente: Elaboración Propia.	103
A.8. Resultados (Segunda Parte) de Etapa de Colocación, Compactación y Terminación de la Obra 2. Fuente: Elaboración Propia.	104
A.9. Resultados de Etapa de Curado y Desmolde de la Obra 2. Fuente: Elaboración Propia.	104
A.10. Resultados de Etapas de Aceptación/Rechazo de Hormigón y de Posibles Reparaciones de la Obra 2. Fuente: Elaboración Propia.	104
A.11. Resultados de Etapa de Fabricación Hormigón Premezclado y Transporte de la Obra 3. Fuente: Elaboración Propia.	105
A.12. Resultados (Primera Parte) de Etapa de Colocación, Compactación y Terminación de la Obra 3. Fuente: Elaboración Propia.	106
A.13. Resultados (Segunda Parte) de Etapa de Colocación, Compactación y Terminación de la Obra 3. Fuente: Elaboración Propia.	107
A.14. Resultados de Etapa de Curado y Desmolde de la Obra 3. Fuente: Elaboración Propia.	108
A.15. Resultados de Etapas de Aceptación/Rechazo de Hormigón y de Posibles Reparaciones de la Obra 3. Fuente: Elaboración Propia.	109
A.16. Potencial de Fisuración Obra 1. Fuente: Elaboración Propia.	109
A.17. Potencial de Fisuración Obra 2. Fuente: Elaboración Propia.	109
A.18. Potencial de Fisuración Obra 3. Fuente: Elaboración Propia.	110

Índice de Ilustraciones

1.1. Superficie Total [m^2] y Participación por Materialidad en Muros [%]. Fuente: ICH, 2024.	1
1.2. Superficie Total [m^2] y Participación por Materialidad en Muros [%] en Edificación de 6 o más Pisos. Fuente: ICH, 2024.	2
1.3. Ejemplo de Etapa de Lista de Chequeo a la Cual se le Verificó su Aplicabilidad. Fuente: Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón, Gálvez, José Tomás, 2023.	3
1.4. Diagrama de Flujo de la Metodología de Trabajo de Título. Fuente: Elaboración Propia.	7
2.1. Camión Mixer Renault Truck C460 - 10M Liebherr. Fuente: Catálogo Salfa Camiones.	11
2.2. Capacho Concretero CCMG 500. Fuente: Catálogo Emaresa.	11
2.3. Bomba de Hormigón Mayco. Fuente: Catálogo Leis.	12
2.4. Ensayo de Cono de Abrams en Obra. Fuente: Elaboración Propia.	12
2.5. Moldajes Modular y Ligero. Fuente: Moldaje para Muros y Losas, ULMA.	14
2.6. Moldaje de Pilares. Fuente: Moldaje para Muros y Losas, ULMA.	14
2.7. Moldajes Utilizados en los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	15
2.8. Esquema de Instalación de Moldaje Vertical. Fuente: Figura 6.1 de Análisis de los Plazos de Construcción de Edificios en Chile y su Relación con los Métodos Constructivos Utilizados, Ruano, Daniela, 2010.	15
2.9. Condiciones a Cumplir en Colocación de Hormigón. Fuente: Figura 10 de Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón, Gálvez, José Tomás, 2023.	16
2.10. Vibrador de Inmersión M2500 Wacker Neuson. Fuente: Negocio y Construcción.	16

2.11. Recomendaciones Para un Buen Proceso de Vibrado. Fuente: Figura 14 de Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón, Gálvez, José Tomás, 2023.	17
2.12. Probetas Fabricadas en Obra a Partir de Hormigón Premezclado. Fuente: Elaboración Propia.	18
2.13. Proceso de Terminación en Obra. Fuente: Elaboración Propia.	21
2.14. Nidos Observados en los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	22
2.15. Micro Segregación Observada en Caso de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	22
2.16. Reparaciones Observadas en los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	23
3.1. Cantidad de Elementos por Obra en los que se Verificó la Aplicabilidad del Manual. Fuente: Elaboración Propia.	25
4.1. Resultados de Asentamiento de Cono de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	32
4.2. Resultados de Asentamiento de Cono de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	32
4.3. Resultados del Tiempo de Carga y Descarga de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	34
4.4. Resultados de Tiempo Carga y Descarga de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	34
4.5. Resultados del Tiempo de Descarga de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	36
4.6. Resultados de Tiempo de Descarga de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	36
4.7. Resultados del Tiempo en Obra de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	38
4.8. Resultados de Tiempo en Obra de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	38
4.9. Resultados de Temperatura del Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	40
4.10. Resultados de Temperatura del Hormigón de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	40
4.11. Resultados del Potencial de Fisuración de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	42

4.12. Resultados de Potencial de Fisuración de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	42
4.13. Resultados de la Altura de Vaciado de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	44
4.14. Resultados de Altura de Vaciado de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	44
4.15. Resultados del Espesor de Capas de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	46
4.16. Resultados de Espesor de Capas de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	46
4.17. Resultados del Diámetro del Vibrador de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	48
4.18. Resultados de Diámetro del Vibrador de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	48
4.19. Resultados del Diámetro de Acción de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	50
4.20. Resultados de Diámetro de Acción de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	50
4.21. Resultados de la Distancia al Moldaje de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	52
4.22. Resultados de Distancia al Moldaje de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	52
4.23. Resultados de Distancia Inserciones de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	54
4.24. Resultados de Distancia Inserciones de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	54
4.25. Resultados de Velocidad de Retiro de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	56
4.26. Resultados de Velocidad de Retiro de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	56
4.27. Resultados de Mallas Sistemáticas de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	58
4.28. Resultados de Mallas Sistemáticas de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	58

4.29. Resultados de Terminación de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	60
4.30. Resultados de Temperatura de Hormigón de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	60
4.31. Resultados de Método de Protección de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	62
4.32. Resultados de Método de Protección de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	62
4.33. Resultados de Plazo de Protección de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	64
4.34. Resultados de Plazo de Protección de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	64
4.35. Resultados de Método de Curado de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	66
4.36. Resultados de Método de Curado de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	66
4.37. Resultados de Plazo de Curado de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	68
4.38. Resultados de Plazo de Curado de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	68
4.39. Resultados de Plazo de Desmolde de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	70
4.40. Resultados de Plazo de Desmolde de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	70
4.41. Resultados de Plazo de Descimbre de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	72
4.42. Resultados de Plazo de Descimbre de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	72
4.43. Resultados de la Evaluación Estadística de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	74
4.44. Resultados de Evaluación Estadística de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	74
4.45. Resultados de Reparación de Nidos de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	76

4.46. Resultados de Reparación de Nidos de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	76
4.47. Resultados de Reparación de Terminación de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	78
4.48. Resultados de Reparación de Terminación de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.	78
4.49. Niveles de Cumplimiento Etapa Fabricación y Transporte de la Industria. Fuente: Elaboración Propia.	80
4.50. Niveles de Cumplimiento Etapa Colocación, Compactación y Terminación de la Industria. Fuente: Elaboración Propia.	82
4.51. Niveles de Cumplimiento Etapa Curado y Desmolde de Hormigón de la Industria. Fuente: Elaboración Propia.	83
4.52. Niveles de Cumplimiento Etapa Aceptación/Rechazo de Hormigón y Posibles Reparaciones de la Industria. Fuente: Elaboración Propia.	85
5.1. Verificación de Plomo y Nivel en los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.	89
5.2. Check List Definitiva de la Etapa de Fabricación Hormigón Premezclado y Transporte. Fuente: Elaboración propia.	92
5.3. Check List Definitiva de la Etapa de Colocación, Compactación y Aceptación/Rechazo de Hormigón. Fuente: Elaboración propia.	93
5.4. Check List Definitiva de la Etapa de Curado, Desmolde y Terminación de Hormigón. Fuente: Elaboración propia.	94
5.5. Check List Definitiva de la Etapa de Posibles Reparaciones. Fuente: Elaboración propia.	94

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes Generales

La industria de la Construcción es vital para la economía y desarrollo del país. Según el Resumen Ejecutivo del Estudio de Productividad en la Construcción de la Cámara Chilena de la Construcción (2020), dicha industria corresponde al sexto empleador nacional y concentra el 68 % de la inversión nacional. Es por lo anterior, que resulta evidente que el mencionado sector alcance los niveles de productividad deseados.

Conocido el contexto anterior, se introduce uno de los materiales más importantes de la industria: el hormigón. Según información entregada por el ICH (2024), el uso de este material ha ido al alza en los últimos años en las diferentes construcciones del país. Destacando que su uso, para el año 2022, corresponde al 68,25 % en todos los muros construidos a lo largo del territorio nacional, en contraposición con los 22,87 % y 8,48 % que representan otros materiales y la albañilería respectivamente. En la Figura 1.1 se puede observar dicha tendencia:

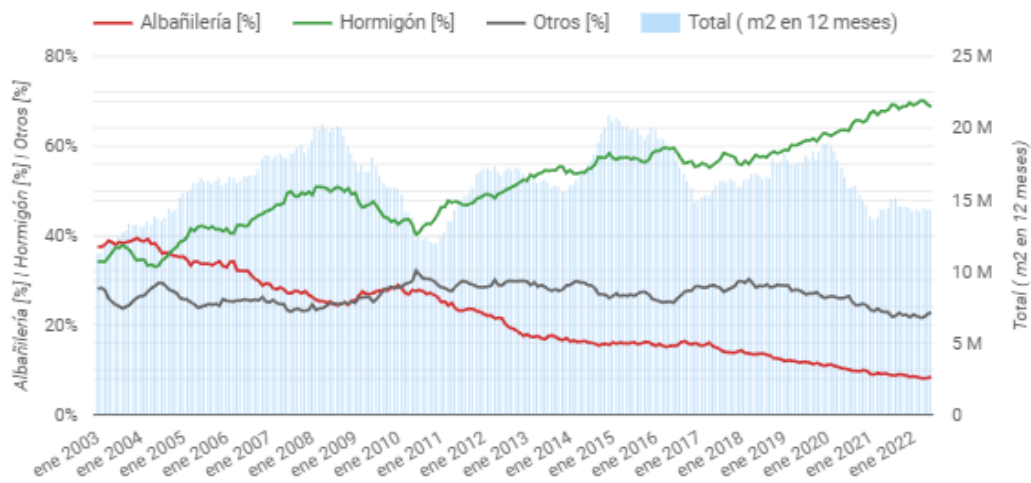


Figura 1.1: Superficie Total [m^2] y Participación por Materialidad en Muros [%]. Fuente: ICH, 2024.

Al momento de analizar solamente la confección de muros de edificios habitacionales en el mismo año, el hormigón corresponde al 99,8 % del material utilizado. Tendencia que se mantiene hace ya varios años (Figura 1.4).

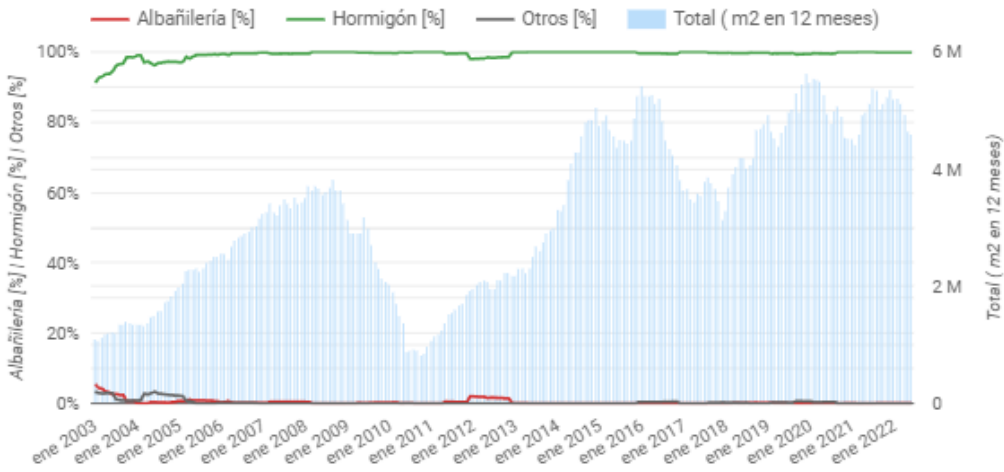


Figura 1.2: Superficie Total [m^2] y Participación por Materialidad en Muros [%] en Edificación de 6 o más Pisos. Fuente: ICH, 2024.

Entonces, resulta evidente que el hormigón es el material más importante en la industria de la construcción, por lo que el desarrollo de un Manual de Inspección Técnica de Obras de Hormigón resulta de suma utilidad. Esto debido a que es necesario lograr un control adecuado de la calidad del proceso de hormigonado, que cumpla con la normativa vigente y las Especificaciones Técnicas de cada proyecto.

Por lo tanto, el desarrollo de la presente Memoria se enmarca netamente en el mundo de la construcción, específicamente en lo que a hormigón se refiere. Se busca evaluar la aplicabilidad de una Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón (Gálvez, 2023) pero exclusivamente en Edificación en Altura, con lo que se espera ser un aporte para los profesionales y las empresas del rubro, ya que podrán utilizar el mencionado Manual para guiarse en el desarrollo de un correcto proceso de hormigonado, generando resultados de la más alta calidad. Se espera entregar una versión que sea aplicable de manera efectiva y eficiente en terreno.

1.2. Propuesta de Manual ITOH

El antecedente principal que tiene el Trabajo de Título corresponde a la Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón (Gálvez, 2023). El cual, según se indica en el mencionado documento, está orientado tanto a hormigón confeccionado in-situ como hormigón premezclado, y permite, mediante unas propuestas Listas de Chequeo, realizar la inspección y el control del proceso de hormigonado en su totalidad.

En base a lo anterior, es que surge la necesidad de verificar la aplicabilidad en terreno de dicha Propuesta. Para ello, fueron utilizadas y aplicadas las Listas de Chequeo mencionadas (Figura 1.3) específicamente en tres obras de Edificación en Altura.

3.3.2 "CHECK-LIST" Etapa de Colocación, Compactación y Terminación

CHECK-LIST ETAPA COLOCACIÓN, COMPACTACIÓN Y TERMINACIÓN							
1. PREVIO A LA COLOCACIÓN							¿Cumple?
Indicador	Unidad Medición	Método de medición	Meta objetivo	Medición en obra	SI	NO	Observaciones
Preparación de superficie	-	Registro en obra	Cumplir EETT/ Tabla 39				
Tolerancias para moldaje	mm	Registro en obra	Cumplir Tabla 40				
Temperatura hormigón	°C	ASTM 1074	[5°C, 35°C]				
Potencial fisuración E	kg/m ² h	NCh170	EETT/ E< 1kg/m ² h				
2. COLOCACIÓN DE HORMIGÓN							¿Cumple?
Indicador	Unidad Medición	Método de medición	Meta objetivo	Medición en obra	SI	NO	Observaciones
Equipos disponibles	Nº equipos	Registro en obra	De acuerdo a protocolos/instructivos				
Altura de vaciado	m	ET 002-05	%Nidos<10% / Tabla 44				
Velocidad de vaciado (cap. Moldaje)	m ³ /h	Registro de obra	De acuerdo a proveedor de moldaje				
Espesor de capas	cm	Registro de obra	Procedimiento de terreno validado				
Hormigonado en tiempo frío (si corresponde)	-	NCh170	Adoptar medidas de EETT/ Cap. 2.2.2.2.1 <i>Hormigonado en tiempo frío</i>				
Hormigonado en tiempo de alta evaporación (si corresponde)	-	NCh170	Adoptar medidas de EETT/ Cap. 2.2.2.2.1 <i>Hormigonado en tiempo alta evaporación</i>				

Figura 1.3: Ejemplo de Etapa de Lista de Chequeo a la Cual se le Verificó su Aplicabilidad. Fuente: Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón, Gálvez, José Tomás, 2023.

Se observa que las Listas de Chequeo corresponden a la verificación de cumplimiento de diversos indicadores asociados a las diferentes etapas del proceso de hormigonado. Dicha verificación, se asocia a lo indicado en la normativa vigente, Especificaciones Técnicas (EETT) respectivas o manuales de construcción.

Entonces, con la verificación de aplicabilidad se obtuvieron resultados de cumplimiento, incumplimiento o sin medición de los diferentes indicadores presentes en la Propuesta de Manual. De esta manera, se analizaron aquellos parámetros críticos que presentan niveles altos de incumplimiento o aquellos que no están siendo medidos en terreno y debiesen ser medidos, ya sea por indicación de normativa o por las EETT.

Por lo tanto, en base a los resultados obtenidos es que se podrán generar nuevas versiones de las Listas de Chequeo, de manera de hacer el procedimiento de control del proceso de hormigonado más eficiente y sencillo, acorde al trabajo de terreno.

1.3. Motivación

Las motivaciones para desarrollar este Trabajo de Título son varias, comenzando porque el rubro de la Construcción corresponde a aquel en que el autor quiere formar parte a lo largo de su carrera profesional. Así como también, y según lo indica la Revista Negocio y Construcción (2024), la industria carece de avances significativos en productividad e innovación, enfrentando desafíos importantes en temas de optimización de recursos. Es justamente en este último punto en que la Validación de la Propuesta de Manual cobra importancia, ya que con un Manual aplicable, el cual no existe en la actualidad en el país, será posible guiar a los profesionales y Constructoras en el proceso constructivo, cumpliendo todo lo necesario para tener un óptimo desempeño y saber en qué procesos de la fase de hormigonado están fallando, orientando los recursos de manera efectiva para lograr una construcción optimizada y de alta calidad.

Otro aspecto fundamental a tener en consideración, es que Chile es uno de los líderes mundiales en cuanto a ingeniería sismorresistente, y lo anterior radica, entre varios aspectos, en una correcta inspección de la construcción de hormigón armado. Por lo que resulta de suma importancia tener a disposición un Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón que facilite la inspección y sea aplicable en obra, considerando lo dinámico y cambiante que es el trabajo de terreno, así como también el extenso uso de dicho material en nuestro país. En este contexto, la Inspección Técnica de Obras (ITO) es la responsable de verificar que las obras se ejecuten según lo establecido en los contratos de construcción y los diversos documentos que forman parte del contrato (Corporación de Desarrollo Tecnológico (2011). Inspección Técnica de Obras: una mirada al futuro de la calidad. Cámara Chilena de la Construcción), por lo que juega un rol fundamental en la calidad de las obras, y la cual, con un adecuado Manual, podría ver facilitado su trabajo de terreno, identificando rápidamente los problemas y causas principales de las fallas.

Además de lo anterior, con la verificación de la aplicabilidad del Manual es posible relacionarse con diversos profesionales del mundo de la construcción, así como también los distintos equipos de trabajo existentes en terreno. Es por ello que este Trabajo de Título no sólo es una oportunidad de aporte al rubro, sino que también una posibilidad de desarrollarse aún más como un futuro profesional de la construcción, al estar en contacto directo con uno de los procesos fundamentales de este tipo de proyectos.

1.4. Objetivos

Con respecto a lo que se busca lograr con el presente Trabajo de Título, se define el siguiente Objetivo General y los Objetivos Específicos:

- **Objetivo General:** Verificar los parámetros de conformidad que propone el Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón (Gálvez, José Tomás. Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón, Universidad de Chile) para Edificación en Altura.
- **Objetivos Específicos:**
 - Realizar un levantamiento de la Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón, así como también de las Especificaciones Técnicas, de los Procedimientos y de los Instructivos aplicables a las obras analizadas.
 - Confeccionar un plan de medición considerando equipos disponibles en obra y elementos estructurales que presentan los mayores problemas en terreno de las obras analizadas. Esto con el fin de realizar mediciones en terreno y evaluar la aplicabilidad del Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón para Edificación en Altura. Luego, con los resultados obtenidos, presentar el cumplimiento, incumplimiento o no medición de los diferentes parámetros en terreno.
 - Proponer mejoras en procedimientos de control y Listas de Chequeo contenidos en el Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón, en específico para Edificación en Altura.

1.5. Alcances y Limitaciones

En cuanto al alcance y las limitaciones existentes, se tienen las presentes en la Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón (Gálvez, 2023) y un par de limitaciones adicionales, exclusivas de esta validación:

- Su uso se limita a Chile.
- El Manual es aplicable para hormigones tradicionales, es decir, aquellos que son moldeados o contra terreno.
- El Manual validado es exclusivamente para hormigón premezclado y transportado a la obra.
- Las conclusiones y resultados son aplicables solamente a Edificación en Altura, tanto para edificios del tipo habitacional, como para aquellos destinados a oficinas.
- El Manual validado es exclusivamente para obras que utilizan capacho y bomba como métodos de transporte interno de hormigón. Así como también aquellas que utilizan moldaje industrializado.

1.6. Metodología

Primero que todo, es importante destacar que el presente Trabajo de Título consiste en un estudio de casos de Edificación en Altura. Con eso en consideración, se presentará la Metodología utilizada para completar los objetivos antes mencionados.

1. Realización de un levantamiento de la información, de los procedimientos de control y de las Listas de Chequeo de la Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón (Gálvez, 2023).
2. Búsqueda de los casos de estudios, los cuales corresponden a obras de Edificación en Altura del tipo residencial y de oficina ubicadas en la Región Metropolitana, en las que fue posible realizar las mediciones y evaluar la aplicabilidad del Manual.
3. Realización del levantamiento de las Especificaciones Técnicas, de los Procedimientos de Terreno y de los Instructivos de cada una de las obras que se analizaron según el punto anterior.
4. Confección de un plan de medición, evaluando los equipos disponibles en obra y diversos elementos estructurales, tales como columnas, muros y losas. En particular, se enfocó en los elementos que presentaban los mayores problemas en terreno para cada una de las obras.
5. Utilizando el plan confeccionado en el punto anterior, se realizó la evaluación de aplicabilidad de la Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón (Gálvez, 2023), pero exclusivamente en Edificación en Altura. Para ello, se utilizaron las Listas de Chequeo contenidas en el mencionado Manual, evaluando si efectivamente era posible aplicarlas en terreno o era necesario realizar algunas modificaciones. Se aplicaron cada uno de los puntos contenidos en ellas en los distintos casos de estudio para diferentes elementos estructurales, evaluando la factibilidad de que los profesionales en obra realicen las mediciones y si es que efectivamente era necesaria la realización de todas ellas.
6. Luego, se analizó la información obtenida a partir de la aplicación del Manual realizando una evaluación estadística de la información, para así obtener datos cuantitativos. Se utilizaron diferentes tipos de gráficos para categorizar cada una de las mediciones realizadas, de manera tal de definir niveles de cumplimiento de los indicadores en cada una de las obras, así como también un análisis de las etapas del proceso de hormigonado en cada caso de estudio y a nivel global. Básicamente, se analizó el cumplimiento de cada uno de los puntos que proponen las Listas de Chequeo y si era posible medirlos en terreno.
7. Finalmente, se realizó una nueva Propuesta de Manual, la cual se obtuvo en base a la experiencia obtenida en las mediciones realizadas en terreno, con lo que se eliminaron y modificaron algunos indicadores de las Listas de Chequeo.

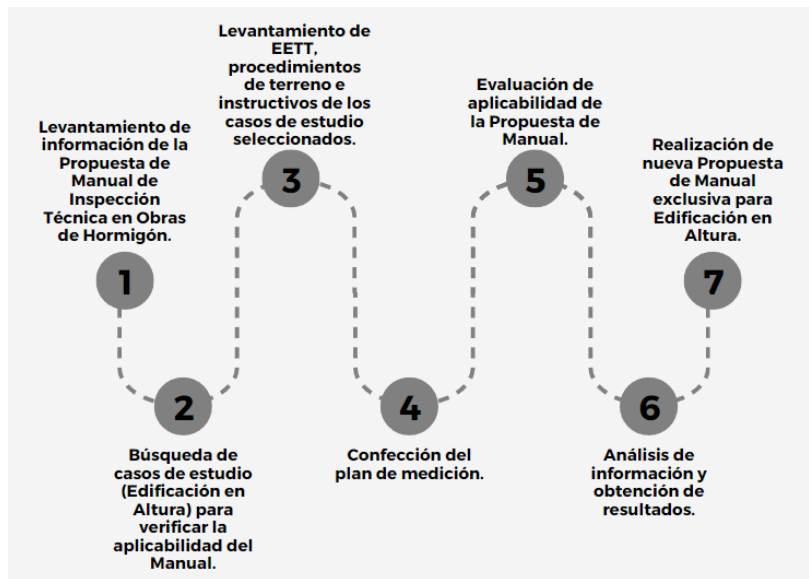


Figura 1.4: Diagrama de Flujo de la Metodología de Trabajo de Título. Fuente: Elaboración Propia.

1.7. Resultados Esperados

Con este Trabajo de Título acerca de la Validación de Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón aplicado en Edificación en Altura, se espera entregar una propuesta válida que sea aplicable e implementable en las obras de las características mencionadas, es decir, se busca verificar la aplicabilidad de Listas de Chequeo establecidas en el Manual y analizar si permiten detectar fallas en el uso del hormigón.

Además, en base a la aplicación de la Propuesta de Manual en los diferentes casos de estudio, es que se podrá hacer un análisis de la relación entre las distintas fases del proceso de hormigonado y ver cuáles son los errores más propensos de generar fallas en el producto final. Se podrá ver de manera gráfica lo anterior, de manera que sea fácil identificar los procesos críticos que determinan la calidad del producto terminado. También, se podrá hacer un análisis por etapas del proceso de hormigonado, evidenciando cuál o cuáles son las que poseen un mayor porcentaje de incumplimiento, lo anterior será posible de observar tanto a nivel de cada obra analizada como a nivel global o de industria.

Se pretende proponer mejoras para su implementación en caso de ser necesario, para así lograr un Manual de Inspección Técnica que sea sencillo y directo de aplicar en terreno. Con lo anterior, se tendría un Manual que será un aporte para el mundo de la construcción, en particular para las Constructoras, ya que servirá de guía para sus procesos constructivos relacionados al hormigón, de manera tal de cumplir con los aspectos técnicos que le son exigidos y de esa forma obtener un óptimo resultado.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Generalidades del Hormigón

Como se mencionó anteriormente, el hormigón es el material más utilizado de la industria de la Construcción. Su trabajabilidad y buen comportamiento frente a solicitaciones estáticas y dinámicas, como lo son los sismos, lo hacen el material favorito de las empresas constructoras.

Resulta importante mencionar que, de acuerdo a lo indicado en la normativa vigente, el hormigón es un material constituido por la mezcla de cemento, áridos y agua, con o sin la incorporación de aditivos y adiciones, que desarrolla sus propiedades por hidratación del cemento (NCh170:2016 Hormigón - Requisitos Generales, 2016). En esta línea, los áridos corresponden a materiales compuestos de partículas de origen pétreo, duras, de forma y tamaño estables. Se denominan o clasifican según su tamaño y textura superficial de sus partículas (Guía para la Selección y Control de Áridos para Hormigones, Melón 2016). Entonces, usando los materiales constituyentes mencionados es que se hace la dosificación del hormigón, la cual corresponde al diseño de la mezcla, es decir, a la proporción de los distintos materiales componentes del hormigón (NCh170:2016 Hormigón - Requisitos Generales, 2016). Lo anterior es sumamente importante, ya que se debe producir una mezcla que sea trabajable, económica y que le proporcione al hormigón la resistencia especificada (Manual del Constructor, Polpaico).

Una de las propiedades fundamentales que posee el hormigón es su gran resistencia a la compresión, sin embargo, no ocurre lo mismo para solicitaciones a tracción o flexión. Es por esto último que surge la necesidad de reforzar dicho material, generando el llamado hormigón armado. Este último, según NCh 170:2016, corresponde a un hormigón que incorpora refuerzos, preesforzados o no, en una cuantía igual o superior a la mínima establecida en la norma de diseño correspondiente. De acuerdo con NCh430, el grado mínimo de hormigón reforzado es G17 (NCh 170:2016 Hormigón - Requisitos Generales, 2016). Agregando el refuerzo, se complementa de manera perfecta la resistencia a tracción del acero con la resistencia a compresión del hormigón, obteniéndose un producto que es óptimo para las solicitaciones de las edificaciones en el país, y el cual debe ser inspeccionado de buena manera para lograr el comportamiento deseado.

Además, es importante mencionar que normativamente, en las obras de construcción, el hormigón se clasifica por su resistencia a la compresión a los 28 días, (...) especificada en probetas cilíndricas (NCh 170:2016 Hormigón - Requisitos Generales, 2016). De esta forma, a modo de ejemplo, se obtiene la clasificación mostrada en la Tabla 2.1.

Grado	Resistencia [MPa]
G17	17
G25	25
G35	35

Tabla 2.1: Clasificación de Hormigones por Resistencia a Compresión. Fuente: Elaboración Propia, Información Obtenida de NCh 170:2016

2.2. Especificación de Hormigón en Premezclado

Al momento de solicitar el hormigón a una planta hormigonera, este se debe especificar según la nomenclatura que se usa en premezclado. Lo anterior depende de su resistencia especificada, la fracción defectuosa, el tamaño máximo nominal del árido y el asentamiento de cono, que son todos parámetros exigidos en NCh 170:2016 para la designación de hormigón. Además de lo anterior, se debe indicar la forma en cómo éste será colocado en obra (bombeado o mediante capacho), lo cual es un indicador exclusivo de uso en premezclado.

Para un completo entendimiento de qué significa cada uno de los elementos que se deben especificar, resulta importante mencionar primero que la fracción defectuosa corresponde a una fracción del total del lote de resultados esperados con resistencias menores que un valor especificado, expresado en porcentaje (NCh 170:2016 Hormigón - Requisitos Generales, 2016). Por otro lado, de acuerdo a lo indicado en NCh 163:2013, el tamaño máximo nominal corresponde a la abertura del tamiz inmediatamente menor a aquel que deja pasar el 100 % de la masa del árido, cuando por dicho tamiz pase el 90 % o más de la masa del mencionado árido (NCh 163:2013 Áridos para Morteros y Hormigones - Requisitos, 2013). Finalmente, según NCh 1019:2009, el asentamiento de cono es el descenso que experimenta el hormigón fresco (NCh 1019:2009 Hormigón - Determinación de la Docilidad - Método del Asentamiento del Cono de Abrams, 2009) determinado según lo indica NCh1019. Entonces, en base a lo anterior es que, a modo de ejemplo, se tienen las siguientes especificaciones:

GR30(10)20/10 o GB30(10)20/10

Donde R (o N, depende de la hormigonera) o B corresponde a si el hormigón es regular (o normal) o bombeado, (10) es la fracción defectuosa en porcentaje, 20 el tamaño máximo nominal del árido en milímetros y 10 el asentamiento de cono en centímetros. Por último, destacar que los valores de resistencia especificada y fracción defectuosa son establecidos por el ingeniero calculista, mientras que los valores de tamaño máximo nominal y asentamiento son determinados por los profesionales en terreno, y se deben adecuar a las necesidades o limitaciones existentes en obra.

2.3. Elementos Estructurales Principales de una Edificación

Uno de los aspectos fundamentales para obtener un buen comportamiento estructural de una edificación frente a las diversas solicitaciones, es una correcta estructuración de los elementos resistentes. Dentro de los mencionados elementos se encuentran:

- **Losas:** Son los elementos encargados de soportar cargas verticales. En su plano se comportan como diafragmas rígidos y actúan como diafragmas de transferencia (Apuntes Curso Proyecto de Hormigón Armado, Juan Mendoza, 2023).
- **Vigas:** Son las encargadas de soportar las losas de pisos, disminuyendo su luz. También, actúan como elementos de transferencia de cargas (Apuntes Curso Proyecto de Hormigón Armado, Juan Mendoza, 2023).
- **Pilares:** Son los elementos encargados de apoyar vigas y losas, disminuyendo la luz de las primeras. También, transmiten cargas verticales a las fundaciones (Apuntes Curso Proyecto de Hormigón Armado, Juan Mendoza, 2023).
- **Muros:** Son los encargados de dar rigidez y estabilidad a la estructura para las cargas estáticas y dinámicas (Apuntes Curso Proyecto de Hormigón Armado, Juan Mendoza, 2023). También, dan apoyo a losas y transmiten cargas verticales a las fundaciones.
- **Fundaciones:** Son las encargadas de transmitir las cargas de la estructura al suelo donde ésta se encuentra.

Más adelante se presentarán los Casos de Estudio para la verificación de la aplicabilidad del Manual ITOH, sin embargo, debido al avance que tenían las distintas obras analizadas, solamente se pudieron analizar elementos de losas, vigas, columnas y muros. En ningún caso se logró aplicar la Propuesta de Manual en elementos de fundaciones.

2.4. Fabricación Hormigón Premezclado, Transporte y Medición de Docilidad

Primero que todo, es importante mencionar que en todos los casos de estudio analizados en el presente Trabajo de Título, los hormigones corresponden a hormigón premezclado preparados en diferentes centrales hormigoneras, las cuales mezclan, transportan y entregan el hormigón a las obras. Se destaca también que, según la normativa vigente, el hormigón preparado debe cumplir con la norma NCh 170 (Hormigón - Requisitos Generales), siendo de responsabilidad del comprador las operaciones y manipulaciones posteriores a la descarga del hormigón (NCh 1934:1992 Hormigón Preparado en Central Hormigonera, 1992).

Dicho lo anterior, y luego de que el hormigón es preparado, este debe ser transportado a destino para su colocación. Para ello es que se utilizan principalmente camiones mezcladores (o camiones mixer), los cuales, según indica Melón, poseen un tambor rotatorio estanco y no absorbente capaz de mantener la uniformidad según NCh 1789 del hormigón previamente amasado (Glosario, Melón). A continuación, en la Figura 2.1, se puede observar uno de los mencionados camiones.



Figura 2.1: Camión Mixer Renault Truck C460 - 10M Liebherr. Fuente: Catálogo Salfa Camiones.

Una vez que el camión se encuentra en obra, se recepciona. Para lo anterior, es que cada empresa proveedora del producto entrega una guía del hormigón contenido en el camión. En dicha guía, se encuentra la dirección de la obra, la empresa proveedora, la empresa compradora, la descripción del producto y los horarios de carga y salida de planta. Con lo anterior es que en obra se debe corroborar que el hormigón corresponda al solicitado, en la cantidad solicitada y sea efectivamente el destinado para la obra. Entonces, una vez recepcionado y aprobado el hormigón, se procede a la descarga de éste. Para ello, es que, de acuerdo a lo indicado en Polpaico, se puede utilizar carretillas, capachos, cintas transportadoras y bombas. En particular, los casos de estudio utilizaban principalmente los siguientes métodos:

- **Capacho** (Figura 2.2): Posee una capacidad entre 0,5 a 2 metros cúbicos. Además, es importante tener en consideración que para su utilización se requiere de una grúa, y también que, según Polpaico (Manual del Constructor, Polpaico), posee una altura máxima de vaciado de 1 metro sobre superficie dura y 2 metros sobre hormigón fresco.



Figura 2.2: Capacho Concretero CCMG 500. Fuente: Catálogo Emaresa.

- **Bomba** (Figura 2.3): Posee un rendimiento variable y, de acuerdo a Polpaico (Manual del Constructor, Polpaico), permite transportes horizontales de hasta 300 metros y verticales de hasta 90 metros. También, requiere de un asentamiento de cono mayor o igual a 10 centímetros.



Figura 2.3: Bomba de Hormigón Mayco. Fuente: Catálogo Leis.

Además, es importante mencionar que el tiempo transcurrido desde la hora de carga del camión agitador hasta el fin de la descarga de éste no debe exceder las dos horas, así como también, el transporte del hormigón dentro de la obra debe hacerse en un plazo no mayor a 30 minutos, cualquiera sea el método de transporte utilizado (NCh 170:2016 Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

Otro aspecto que se debe analizar al momento de recepcionar el hormigón en obra es la docilidad. Según el ICH, Compendio de Tecnología del Hormigón Capítulo 03 - Propiedades del Hormigón Fresco (1992), la docilidad corresponde al conjunto de la fluidez del hormigón, que es el frotamiento de las partículas granulares entre sí, y la consistencia de éste mismo, proveniente de la cohesión de la masa que es producida por la atracción entre las partículas. Es importante mencionar que ambas características son inversamente proporcionales, de esta forma, una mayor consistencia significa una menor fluidez. Lo anterior, son aspectos que definen los profesionales en terreno de acuerdo a sus necesidades y limitaciones. A modo de entendimiento adicional, según NCh 1019:2009 la docilidad es la facilidad del hormigón fresco para ser transportado, colocado y compactado sin que se produzca segregación (NCh 1019:2009 Hormigón - Determinación de la Docilidad - Método del Asentamiento del Cono de Abrams).

Con respecto a la forma de medir la docilidad, en los casos de estudio analizados se observó que se hacía mediante el Asentamiento de Cono de Abrams. Este ensayo, de acuerdo a la normativa vigente, corresponde a una muestra de hormigón fresco que se coloca y compacta en un molde con forma de tronco cónico. Luego, se levanta el molde para que el hormigón se asiente, midiendo y registrando dicho asentamiento, es decir, se mide la distancia vertical entre la altura original y la posición final del centro de la superficie superior del hormigón, obteniendo el asentamiento (NCh 1019:2009 Hormigón - Determinación de la Docilidad - Método del Asentamiento del Cono de Abrams). A continuación, en la Figura 2.4, se observa un ensayo realizado en uno de los casos de estudio.



Figura 2.4: Ensayo de Cono de Abrams en Obra. Fuente: Elaboración Propia.

Por último, se presentan los criterios de aceptación para el ensayo:

Ensayo	Criterio de Aceptación [cm]	
	Asentamiento	Tolerancia
Asentamiento de Cono	≤ 4	± 1
	4 a 9	± 2
	≥ 10	± 3

Tabla 2.2: Criterios de Aceptación del Ensayo de Asentamiento de Cono. Fuente: Elaboración Propia, Información Obtenida de NCh 170:2016.

En caso de incumplimiento de la docilidad de la muestra, es decir, que no se cumpla el asentamiento de cono especificado, la normativa vigente indica lo siguiente:

- **Asentamiento Sobre lo Especificado:** Se debe extraer una nueva muestra que cumpla con el asentamiento especificado (Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón - Gálvez, José Tomás, 2023).
- **Asentamiento Bajo lo Especificado:** Como indica la sección 9.6 de NCh 170:2016 se permite ajustar la docilidad del cono mediante agua o aditivos, según lo indiquen las EETT del proyecto (Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón - Gálvez, José Tomás, 2023). Lo anterior se debe realizar siempre y cuando el hormigón se encuentre dentro de los plazos establecidos en dicha normativa, es decir, que esté dentro del rango de tiempo de carga y descarga establecidos.

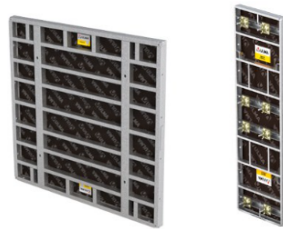
Finalmente, es importante mencionar que una de las grandes características del hormigón, y uno de los motivos por el cual es uno de los materiales constructivos más atractivos, es la durabilidad que éste posee (EMB Revista Construcción, Hormigón - Mucho más que un material estructural, 2013). De acuerdo a lo indicado en la Propuesta de Requisitos Normativos de Durabilidad de Hormigones (Vargas, Ricardo, 2022), la durabilidad corresponde a la capacidad del hormigón de resistir las acciones físicas, químicas, biológicas y ambientales durante un tiempo determinado previsto desde el proyecto, manteniendo su serviceabilidad y conservando su forma original, propiedades mecánicas y condiciones de servicio. Es por esta característica que surgen los denominados requisitos de durabilidad del hormigón, los cuales dependen de la exposición a la cual estará presente el elemento estructural. De esta manera, se pueden diferenciar dos grandes grupos, agentes internos y agentes externos. Con respecto a los primeros, éstos son requisitos que deben ser verificados por el fabricante del hormigón, mientras que los segundos los asigna el proyectista estructural (Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón - Gálvez, José Tomás, 2023).

2.5. Colocación, Compactación y Aceptación/Rechazo

Una vez que el hormigón se encuentra siendo transportado mediante capacho o un sistema de bombeo, éste se lleva al lugar de su colocación. Previo a esto, el lugar definitivo del hormigón debe tener la aprobación de los profesionales de terreno en aspectos relacionados a enfierradura, instalaciones, limpieza, seguridad y moldaje.

Con respecto a las dos primeras, es importante mencionar que ambas deben estar de acuerdo a los planos del proyecto, es decir, deben estar en los niveles y trazados establecidos, así como también deben poseer las dimensiones adecuadas. Entonces, una vez se encuentra aprobado todo lo anterior, se procede a la aplicación del desmoldante de manera uniforme en los moldajes, para luego instalar éstos últimos en los elementos que serán hormigonados. Con respecto a los tipos de moldaje utilizados en los casos de estudio analizados, se tienen los siguientes:

- **Moldaje Modular:** Este sistema (Figura 2.5a) es útil para todo tipo de construcción vertical. Según Ulma, está compuesto principalmente por paneles unidos mediante grapas, dispuestos en conjuntos que constituyen el moldaje (Moldaje para Muros y Losas, Ulma).
- **Moldaje Modular Ligero:** Este sistema (Figura 2.5b) es útil para la construcción de muros y pilares, perfecto para geometrías complejas (Moldaje para Muros y Losas, Ulma).



(a) Modular (b) Ligero

Figura 2.5: Moldajes Modular y Ligero. Fuente: Moldaje para Muros y Losas, ULMA.

- **Moldaje Circular para Pilares:** De acuerdo a Ulma, este sistema está diseñado para el hormigonado de pilares de sección circular. Se compone de paneles metálicos semi-circulares, que con una unión sencilla con cerrojos conforma el molde circular (Moldaje para Muros y Losas, Ulma).



Figura 2.6: Moldaje de Pilares. Fuente: Moldaje para Muros y Losas, ULMA.

- **Moldaje de Losas con Vigas Metálicas:** Este sistema consta de vigas metálicas que pueden adaptarse fácilmente a cualquier distribución. Es apto para losas de hormigón de hasta 112 centímetros de espesor (Moldaje para Muros y Losas, Ulma).

A continuación, en la Figura 2.7, se pueden observar los tipos de moldajes utilizados en los casos de estudio.



(a) Moldaje Modular (b) Moldaje Ligero (c) Moldaje Circular



(d) Moldajes de Losas

Figura 2.7: Moldajes Utilizados en los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Es importante mencionar que todos los moldajes de elementos estructurales verticales, como es el caso de los muros y pilares, requerían movilización mediante sistemas de izaje, que en los casos de estudio correspondía a la grúa torre. En el caso de los elementos estructurales horizontales, habían situaciones en que se utilizaba la grúa y otras en que las placas de moldaje eran transportadas por los trabajadores. A continuación, en la Figura 2.8, se presenta un esquema de la instalación de moldaje vertical:

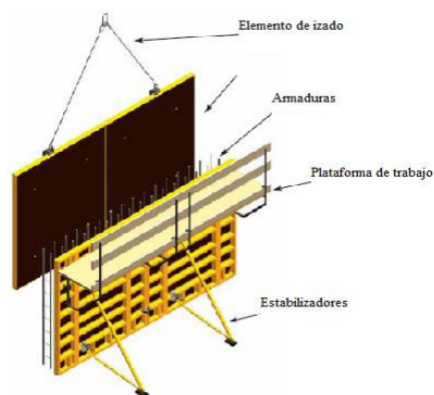


Figura 2.8: Esquema de Instalación de Moldaje Vertical. Fuente: Figura 6.1 de Análisis de los Plazos de Construcción de Edificios en Chile y su Relación con los Métodos Constructivos Utilizados, Ruano, Daniela, 2010.

Posterior a la instalación de moldaje, sigue la colocación del hormigón. De acuerdo a la Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón (Gálvez, José Tomás, 2023), ésta se debe efectuar con los equipos adecuados y mediante los procedimientos necesarios para cumplir lo siguiente:

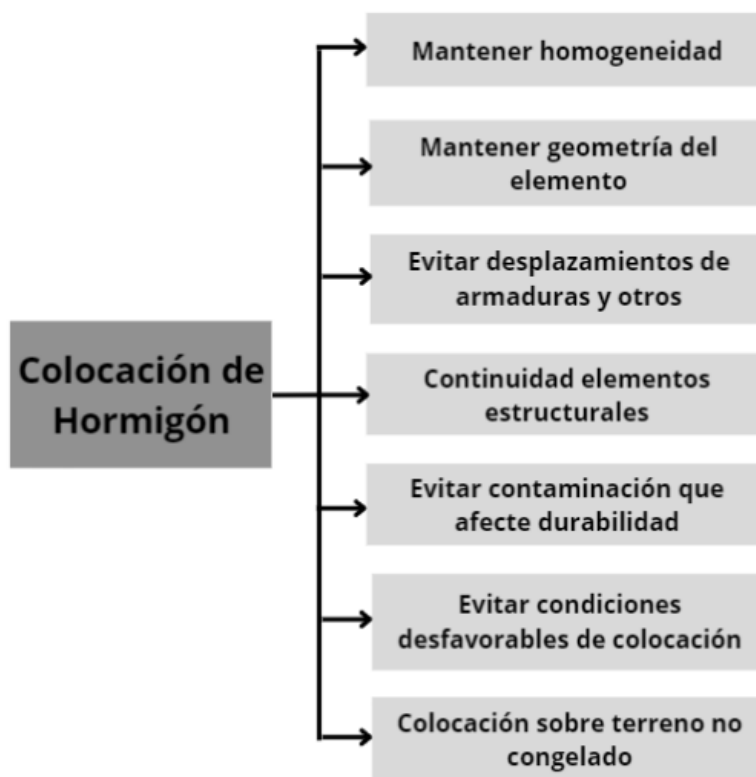


Figura 2.9: Condiciones a Cumplir en Colocación de Hormigón. Fuente: Figura 10 de Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón, Gálvez, José Tomás, 2023.

Una vez que el hormigón se empieza a vaciar sobre los moldajes, se procede a la compactación de éste. Para lograr un buen resultado, es necesario que se efectúe con los equipos adecuados y mediante los procedimientos necesarios para que, manteniendo la homogeneidad del hormigón, se obtenga la máxima compactación eliminando el exceso de aire atrapado, asegurando que las armaduras queden completamente embebidas en el hormigón y se obtenga la terminación superficial requerida (NCh 170:2016 Hormigón - Requisitos Generales, 2016). En los casos de estudio, dicho procedimiento era realizado mediante vibradores de inmersión de diferente diámetro, en la Figura 2.10 se puede apreciar uno de los mencionados productos.



Figura 2.10: Vibrador de Inmersión M2500 Wacker Neuson. Fuente: Negocio y Construcción.

Un aspecto importante a considerar es que en todos los casos de estudio, previa y posteriormente a la colocación de hormigón, se realizaba un chequeo de niveles, plomos y trazado de los elementos estructurales que serán hormigonados. Esto es sumamente esencial, ya que permite asegurar un correcto recubrimiento y posición de las armaduras y hormigón a vaciar, así como también una correcta verticalidad de los elementos y la edificación en su totalidad. Adicionalmente, en la Figura 2.11, se presentan recomendaciones para un correcto vibrado.

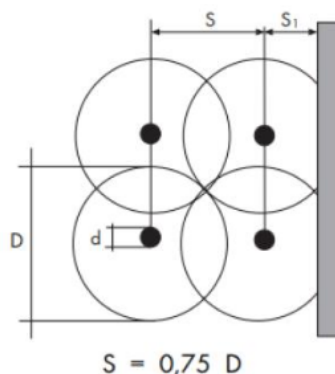


Figura 2.11: Recomendaciones Para un Buen Proceso de Vibrado. Fuente: Figura 14 de Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón, Gálvez, José Tomás, 2023.

Donde d corresponde al diámetro del vibrador, el cual tiene un diámetro de acción D y es insertado a una distancia $S1$ del moldaje, así como también a una distancia S entre inserciones. Con respecto a las recomendaciones de los valores presentados, se tiene lo siguiente:

Recomendaciones Vibrado	
Si $d < 10$ cm	$D = 8d$
Si $d > 10$ cm	$D = 7d$
$S = 0,75 D$	
$S1 = 3d$	

Tabla 2.3: Recomendaciones Para un Buen Proceso de Vibrado. Fuente: Tabla 49 de Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón, Gálvez, José Tomás, 2023.

Por último, toda obra realiza una evaluación estadística del hormigón, que, en general, es exigida en las Especificaciones Técnicas (EETT) de cada proyecto. Dicha evaluación, según NCh 1998:1989, tiene por objeto determinar la conformidad de los resultados de la resistencia a compresión con respecto a la especificada (NCh 1998:1989 Hormigón - Evaluación Estadística de la Resistencia Mecánica, 1989).

Para realizar los ensayos que permiten evaluar la calidad del hormigón en cuanto a su resistencia a la compresión, es que en obra se fabrican tres o más probetas, dependiendo de la exigencia de las EETT o el ingeniero calculista, las cuales se obtienen retirando porciones en tres o más intervalos regulares durante la descarga, sin incluir el principio ni el final de ésta (NCh 171:2008 Hormigón - Extracción de Muestras del Hormigón Fresco). A continuación, en la Figura 2.12, se observan tres probetas fabricadas en obra.



Figura 2.12: Probetas Fabricadas en Obra a Partir de Hormigón Premezclado. Fuente: Elaboración Propia.

Luego, dichas probetas son enviadas a un laboratorio que se encarga de ensayarlas a la cantidad de días que la empresa constructora le indica, determinando así su resistencia a la compresión a la fecha estipulada, que por lo general es a los 7 y 28 días.

2.6. Curado, Desmolde y Terminación de Hormigón

Luego de la colocación de hormigón viene el curado, desmolde y aspectos de terminación. Pero primero que todo, se debe mencionar que en algunos casos excepcionales es necesaria la protección del hormigón durante su colocación y por un periodo posterior al término de dicho proceso. Según NCh 170:2016 (Hormigón - Requisitos Generales, 2016) la protección tiene como propósito evitar que el hormigón, a temprana edad, se encuentre expuesto a acciones externas que puedan afectar sus propiedades. De esta forma, se consideran las siguientes situaciones para proteger el hormigón:

- **Lluvia o granizo:** De acuerdo a NCh 170:2016, en esta situación se debe proteger la superficie del elemento hormigonado desde el momento de la colocación hasta el inicio del fraguado (NCh 170:2016 Hormigón - Requisitos Generales, 2016).
- **Hormigonado en tiempo frío:** En esta situación se deben adoptar medidas para asegurar que la temperatura del hormigón colocado no descienda de 5°C (NCh 170:2016 Hormigón - Requisitos Generales, 2016), tanto al momento de hormigonado como el periodo inicial de fraguado.
- **Hormigonado en tiempo de alta evaporación de agua:** Según la normativa actual, en esta situación se deben utilizar retardantes de evaporación superficial, elementos que den sombra, pantallas que corten el viento, lloviznas que humedezcan el ambiente, u otras (NCh 170:2016 Hormigón - Requisitos Generales, 2016).
- **Solicitaciones externas:** Durante el periodo de curado se debe evitar que el hormigón sufra impactos, vibraciones, tránsito de personas, cargas de equipos y/o materiales, entre otros (NCh 170:2016 Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

Con respecto al curado de hormigón, éste tiene como propósito mantener la humedad y las condiciones de temperatura de dicho material, por el periodo de tiempo que se requiera, para que el hormigón alcance sus propiedades (NCh 170:2016 Hormigón - Requisitos generales, 2016). Existen diversos métodos de curado en obra, pero principalmente se utilizaban los siguientes en los casos de estudio de edificación en altura:

- **Riego continuo:** De acuerdo a lo indicado por Polpaico, este método consta de la utilización de nebulizadores que funcionan de forma permanente (Manual del Constructor, Polpaico).
- **Riego periódico:** Este método consta del riego aplicado a intervalos, cuando se observa que el hormigón empieza a secarse (Manual del Constructor, Polpaico).
- **Tejidos húmedos:** Según Polpaico, este método consta de la utilización de arpilleras, sacos y otros, (Manual del Constructor, Polpaico) que deben mantenerse constantemente húmedos.
- **Membrana de curado:** Este método consta de una membrana que debe cubrir toda la superficie y debe ser aplicada a la brevedad posible, con un espesor uniforme (Manual del Constructor, Polpaico).

Es importante mencionar que en todos los casos de estudio se utilizaba el riego periódico como el método por excelencia, y además en un caso, para retener la humedad, eran utilizadas arpilleras, en conjunto con el riego periódico, para el curado de pilares.

En cuanto al desmolde y descimbre de hormigón, el primero corresponde al proceso destinado a retirar el moldaje de una estructura del mencionado material, mientras que el segundo es aquel destinado a retirar los elementos de sustentación de las estructuras de hormigón (puntales, alzaprimas, entre otros) (NCh 170:2016 Hormigón - Requisitos Generales, 2016). Para ambos procesos mencionados, es importante tener en consideración las características de los elementos estructurales y los plazos en los cuales se pueden desarrollar, ya que es necesario que los elementos desmoldados y/o descimbrados tengan una resistencia adecuada que permita su sustentación.

Para desarrollar los procesos anteriores es que la norma NCh 170:2016 define resistencias mínimas que deben tener los elementos estructurales, las cuales se pueden obtener por medio de métodos de madurez o por probetas conservadas en condiciones similares a las del hormigón colocado. Sin embargo, los casos de estudio analizados consideraban los plazos mínimos que establece la norma o lo indicado en sus respectivas EETT. Con respecto a lo primero, la norma indica lo siguiente:

- **Columnas, muros y vigas largas:** Se requiere un plazo mínimo de 12 horas.
- **Fondos de losas:** Se requiere un plazo mínimo de 4 días.
- **Fondos de vigas y puntales de losas:** Se requiere un plazo mínimo de 10 días.
- **Puntales de vigas:** Se requiere un plazo mínimo de 14 días.

Se destaca que todos los plazos mostrados anteriormente son considerando una temperatura media diaria mayor o igual a 10°C. Entonces, a menos que el proyecto especifique algo diferente, en obra se debe optar con desmoldar y/o descimbrar con lo indicado por la norma.

Con respecto a la terminación del hormigón, una vez que se hayan desmoldado y/o retirado los puntales se debe verificar en obra el nivel, plomo, planeidad, cuadratura y trazado de los elementos estructurales, de manera tal que éstos se encuentren de acuerdo a los planos del proyecto y dentro de las tolerancias indicadas en las EETT o en los protocolos de terreno.

Además de lo anterior, resulta importante definir los grados de terminación superficial del hormigón. Destacándose que, según el ICH, existen terminaciones que son logradas como resultado de cuidadosas especificaciones técnicas, como también aquellas que son obtenidas de desmoldar un elemento sin especificaciones de superficie terminada (ET 004:06 Tolerancias Dimensionales en Elementos de Hormigón Armado, 2006). A continuación, se presentan los grados de terminación presentes en los casos de estudio:

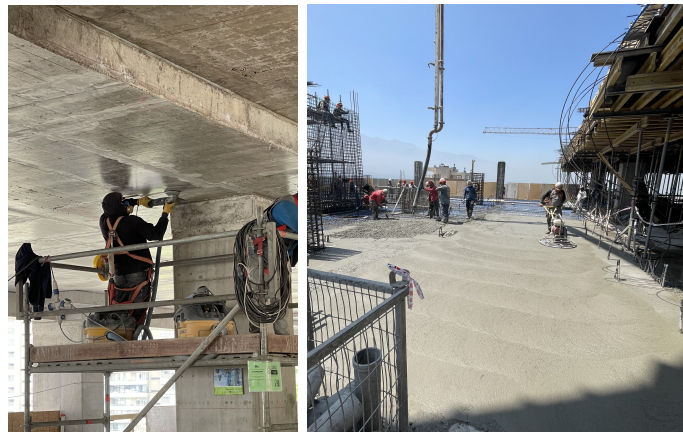
- **Grado 2:** De acuerdo a lo indicado por el ICH, corresponde a un hormigón a la vista para empaste y pintura (ET 004:06 Tolerancias Dimensionales en Elementos de Hormigón Armado, 2006).
- **Grado 4:** Corresponde a un hormigón de obra gruesa para recibir recubrimiento (enlucir) (ET 004:06 Tolerancias Dimensionales en Elementos de Hormigón Armado, 2006), como es el caso del estuco u otro recubrimiento diferente al Grado 2.
- **Grado 5:** Según el ICH, corresponde a un hormigón de superficies en pisos, para recubrir o afinado (ET 004:06 Tolerancias Dimensionales en Elementos de Hormigón Armado, 2006). Se destaca que el recubrimiento puede ser alfombra, madera o cerámicas.
- **Grado 6:** Corresponde a un hormigón de superficies en pisos, sin recubrimiento y sin afinado (ET 004:06 Tolerancias Dimensionales en Elementos de Hormigón Armado, 2006). Se destaca que éste se emplea en salas de máquinas, bodegas, entre otros.

Finalmente, y en base a los grados definidos anteriormente, es que se definen recomendaciones para la terminación superficial en hormigón moldeado. Entonces, en base a la información obtenida y observada en los casos de estudio, y según la Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón (Gálvez, José Tomás, 2023), se tienen las siguientes recomendaciones:

- **Eliminación de lechada:** Corresponde a la eliminación de todos los restos de lechada, emparejando las caras del elemento con un emeril de mano (Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón - Gálvez, José Tomás, 2023).
- **Esmerilado:** Corresponde a esmerilar intensamente mediante esmeril carborundum manual o electromecánico (Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón - Gálvez, José Tomás, 2023).

- **Texturado:** Corresponde a un texturado leve mediante solución de ácido muriático comercial disuelto en agua (proporción 1:4) (...), para posteriormente lavar con abundante agua (Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón - Gálvez, José Tomás, 2023). Este proceso se conoce en terreno como *quemado de muros*.
- **Platachado:** Corresponde a la utilización de platachos mecánicos (comúnmente conocidos como helicópteros) con el fin de aumentar la resistencia superficial, sellar de fisuras y otorgar una mayor facilidad al limpiar (Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón - Gálvez, José Tomás, 2023).

A continuación, en la Figura 2.13, se puede observar el proceso de esmerilado (2.13a) y el platachado de pisos (2.13b).



(a) Esmerilado

(b) Platachado

Figura 2.13: Proceso de Terminación en Obra. Fuente: Elaboración Propia.

2.7. Reparaciones de Hormigón

La última etapa del proceso de hormigonado corresponde a la reparación del elemento estructural, siempre y cuando ésta sea necesaria. Es justamente debido a posibles errores en la ejecución de los procesos descritos anteriormente, como es el caso del transporte, colocación, compactación, entre otros, que pudiesen existir defectos en el producto final. En particular, en los casos de estudio se observaron las siguientes fallas:

- **Nidos:** Según la Especificación Técnica (ET) del ICH, los nidos corresponden a zonas con áridos expuestos con escasa presencia de pasta de cemento. Se identifican los siguientes tipos:
 - Superficiales (2.14a): De acuerdo a dichas ET, estos nidos son aquellos que comprometen sólo el recubrimiento del elemento (ET 005-07 - Criterios de Aceptación de Superficies Moldeadas en Elementos de Hormigón, ICH, 2007).

- Profundos (2.14b): Según lo indicado en las ET del ICH, estos nidos corresponden a aquellos que se profundizan detrás de la enfierradura sin atravesar el elemento (ET 005-07 - Criterios de Aceptación de Superficies Moldeadas en Elementos de Hormigón, ICH, 2007).
- Estructurales (2.14c): Basado en la misma ET, estos nidos son aquellos que se profundizan por detrás de la enfierradura, pudiendo o no atravesar el elemento, y teniendo además, una dimensión mayor al 10 % de la longitud horizontal del elemento o una superficie mayor al 3 % respecto del área de la cara visible (ET 005-07 - Criterios de Aceptación de Superficies Moldeadas en Elementos de Hormigón, ICH, 2007).

A continuación, en la Figura 2.14, se presentan ejemplos de cada uno de los tipos de nidos observados en los casos de estudio:



(a) Nido Superficial. (b) Nido Profundo. (c) Nido Estructural.

Figura 2.14: Nidos Observados en los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

- **Micro segregación:** Según la mencionada ET, corresponde a un defecto que se produce en la unión entre placas de moldaje debido a la pérdida de lechada de cemento, produciendo una superficie rugosa con el árido fino a la vista (ET 005-07 - Criterios de Aceptación de Superficies Moldeadas en Elementos de Hormigón, ICH, 2007). A continuación, en la Figura 2.15, se presenta una micro segregación observada en los casos de estudio:



(a) Pilar Defectuoso (b) Defecto

Figura 2.15: Micro Segregación Observada en Caso de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Donde se menciona que el defecto mostrado se produjo precisamente en la zona de unión de los elementos del moldaje circular que era utilizado en obra.

- **Terminación superficial:** Una falla en este aspecto corresponde al incumplimiento en las tolerancias admisibles en la terminación superficial de un elemento de hormigón. Según lo indicado en la Propuesta de Manual de Inspección Técnica, en caso de cumplirse lo anterior, se propone en las ET del ICH diversos criterios de reparación según el grado de terminación del hormigón (Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón, Gálvez, José Tomás, 2023). Entonces, en base a los grados presentes en los casos de estudio, se tienen los siguientes criterios:
 - Hormigón sin recubrimiento (Grado 5): Reparaciones menores compatibles con requerimientos estructurales y estéticos.
 - Hormigón con recubrimiento (Grado 2, 4 y 6): Desbastar o rellenar defectos superficiales sin recubrimiento mínimo especificado.

Destacándose que lo anterior se realizaba en cada uno de los casos de estudio, siendo predominante el caso del hormigón con recubrimiento.

A continuación, en la Figura 2.16, se presentan algunas reparaciones observadas en la verificación de aplicabilidad. Se destaca que en 2.16a se muestra la reparación del fondo de un elemento tipo muro por la presencia de un nido, en 2.16b se presenta la reparación de una micro segregación observada en pilares y en 2.16c se aprecia la reparación de una pérdida de aristas de un muro.

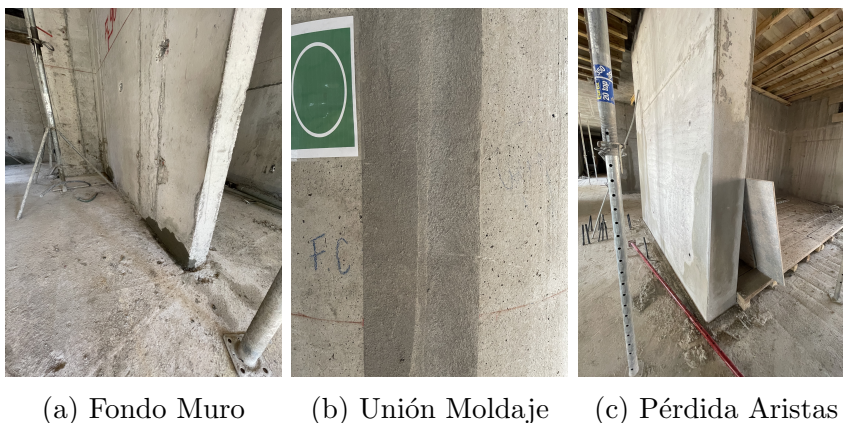


Figura 2.16: Reparaciones Observadas en los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, es importante mencionar también que en algunos casos existe la necesidad de reparar debido a la presencia de fisuras estructurales en muros de hormigón, así como también, debido al incumplimiento de resistencia mecánica en la evaluación estadística (Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón, Gálvez, José Tomás, 2023). Sin embargo, en ninguno de los casos de estudio se presentaron dichas necesidades de reparación.

Capítulo 3

Casos de Estudio

3.1. Tipología Obras

Como se mencionó en la Metodología, los casos de estudio serán tres. Por acuerdo de confidencialidad con las empresas involucradas, estos serán llamados Obra 1, Obra 2 y Obra 3. Cada uno de los casos corresponde a los siguientes tipos de edificaciones:

- Obra 1: Edificio Residencial (24 pisos).
- Obra 2: Edificio de Oficinas (15 pisos).
- Obra 3: Edificio de Oficinas y Residencial (23 pisos).

Es importante destacar que todas las obras mencionadas corresponden a Edificación en Altura y utilizaban Hormigón Premezclado que era transportado desde las respectivas plantas hormigoneras a las obras.

3.2. Hormigones Obras

A modo de información adicional, se presenta el tipo de hormigón utilizado en cada uno de los casos de estudio:

- Obra 1: GR25(10)20/8 o GB25(10)20/10.
- Obra 2: GB35(10)20/12.
- Obra 3: GB30(10)13/14, GB30(10)20/14 o GB30(10)20/16.

Donde se observa que tanto la Obra 2 como la Obra 3 solamente poseían hormigón bombeado, mientras que la Obra 1 utilizaba también hormigón colocado con capacho. Se destaca también que la Obra 3 posee un hormigón con un tamaño máximo nominal de árido de 13 milímetros, el cual corresponde a un hormigón que permite una mejor trabajabilidad y facilidad de colocación en estructuras densamente armadas y de bajos espesores (Ficha Técnica - Hormigón para Elementos con Alta Densidad de Enfierradura, Melón), que es justamente el caso de algunos pilares de la mencionada construcción.

3.3. Plan y Mediciones Realizadas

Para la Validación de la Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón, se utilizaron las Listas de Chequeo que entrega dicho trabajo y se verificó su aplicabilidad en los siguientes elementos estructurales en cada una de las obras:

- Muros
- Vigas
- Pilares
- Losas

En particular, el detalle del número de elementos analizados en cada uno de los casos de estudio se encuentra en la Figura 3.1.

Conteo de Elementos por Obra			
Elementos	Obra 1	Obra 2	Obra 3
Muros	6	2	6
Vigas	2	2	0
Pilares	0	2	16
Losas	2	2	6
TOTAL	10	8	28

Figura 3.1: Cantidad de Elementos por Obra en los que se Verificó la Aplicabilidad del Manual. Fuente: Elaboración Propia.

A partir de lo anterior se obtiene un total de 46 elementos estructurales analizados. Es importante destacar que tanto la Obra 1 como la Obra 2 tienen menos elementos a analizar que la Obra 3. Lo anterior se debe a que al momento de llegar a la Obra 1 la obra gruesa estaba casi terminando, por lo que no se pudo tomar más mediciones que las mostradas. Mientras que en el caso de la Obra 2, las mediciones no eran tan sencillas de realizar por diversas situaciones presentadas en terreno. Para las mediciones, el plan a seguir correspondía simplemente al orden lógico del proceso de hormigonado, analizando primeramente la llegada de hormigón a obra, la descarga de éste, la compactación del elemento estructural, los plazos de desmolde y descimbre, la terminación del hormigón y finalmente las posibles reparaciones que puedan realizarse, siguiendo lo indicado en las Listas de Chequeo mencionadas.

3.4. Levantamiento EETT

Un documento fundamental en los proyectos de construcción son las especificaciones técnicas (EETT). En ellas, de acuerdo a lo indicado en ICHA, se indican las normas técnicas que serán aplicadas, así como los procedimientos utilizados en los proyectos (ICHA, Instituto Chileno del Acero). Todo proyecto debe construirse estrictamente de acuerdo a los respectivos planos y EETT del permiso de edificación otorgado (MINVU, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, 2023).

Según la Propuesta de Manual, hay un gran número de parámetros de conformidad que deben estar conforme a las EETT del proyecto, o en su defecto, conforme a lo que indique la normativa vigente. Además, no está de más mencionar que cada proyecto es diferente, por lo que las EETT varían entre las diferentes empresas y obras de construcción, por lo que es fundamental identificar de buena manera las especificaciones de cada una de ellas.

Es por lo anterior que previo a la verificación de la aplicabilidad de la Propuesta de Manual, se realizó un levantamiento de las EETT de cada uno de los casos de estudio. De manera tal de identificar qué elementos principales de las Listas de Chequeo estaban especificadas en ellas. A continuación, se presenta el levantamiento realizado para la Obra 1:

Levantamiento EETT Obra 1	
Proceso	¿Está Especificado?
Muestreo de Hormigón	Sí
Asentamiento de Cono	Sí
Ajuste de Docilidad	No
Tiempos Transporte y Descarga de Hormigón	No
Juntas de Construcción (Preparación de Superficie)	Sí
Tolerancias de Moldaje	Sí
Temperatura de Hormigón y Potencial de Fisuración	No
Altura de Vaciado	Sí
Espesor de Capas	No
Hormigonado en Tiempo Frío	No
Hormigonado en Tiempo Cálido	No
Compactación de Hormigón	Sí
Terminación de Hormigón	No
Método y Plazo de Protección	No
Método de Curado	Sí
Plazo de Curado	No
Plazos de Desmolde	Sí
Plazos de Descimbre	Sí
Terminación Superficial	No
Reparación de Hormigón	Sí

Tabla 3.1: Levantamiento EETT Obra 1. Fuente: Elaboración Propia.

Es importante mencionar que no están presentes todos los indicadores de las Listas de Chequeo de la Propuesta de Manual, sino que sólo aquellos más relevantes y que se repetían más entre las diferentes EETT de los casos de estudio. Además, el código de colores es algo exclusivamente visual para poder reconocer de manera rápida los resultados.

Luego, se presenta el levantamiento realizado para la Obra 2:

Levantamiento EETT Obra 2	
Proceso	¿Está Especificado?
Muestreo de Hormigón	Sí
Asentamiento de Cono	Sí
Ajuste de Docilidad	Sí
Tiempos Transporte y Descarga de Hormigón	No
Juntas de Construcción (Preparación de Superficie)	Sí
Tolerancias de Moldaje	Sí
Temperatura de Hormigón y Potencial de Fisuración	Sí
Altura de Vaciado	Sí
Espesor de Capas	Sí
Hormigonado en Tiempo Frío	Sí
Hormigonado en Tiempo Cálido	Sí
Compactación de Hormigón	Sí
Terminación de Hormigón	No
Método y Plazo de Protección	No
Método de Curado	Sí
Plazo de Curado	Sí
Plazos de Desmolde	Sí
Plazos de Descimbre	Sí
Terminación Superficial	No
Reparación de Hormigón	Sí

Tabla 3.2: Levantamiento EETT Obra 2. Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, se presenta el levantamiento realizado para la Obra 3:

Levantamiento EETT Obra 3	
Proceso	¿Está Especificado?
Muestreo de Hormigón	Sí
Asentamiento de Cono	Sí
Ajuste de Docilidad	No
Tiempos Transporte y Descarga de Hormigón	No
Juntas de Construcción (Preparación de Superficie)	Sí
Tolerancias de Moldaje	No
Temperatura de Hormigón y Potencial de Fisuración	No
Altura de Vaciado	Sí
Espesor de Capas	Sí
Hormigonado en Tiempo Frío	Sí
Hormigonado en Tiempo Cálido	No
Compactación de Hormigón	No
Terminación de Hormigón	No
Método y Plazo de Protección	No
Método de Curado	Sí
Plazo de Curado	Sí
Plazos de Desmolde	Sí
Plazos de Descimbre	Sí
Terminación Superficial	No
Reparación de Hormigón	Sí

Tabla 3.3: Levantamiento EETT Obra 3. Fuente: Elaboración Propia.

A partir de la información mostrada anteriormente, es que se puede hacer una comparativa entre las diferentes EETT. Analizando cuál es la más completa y la que tiene mayores especificaciones de acuerdo a los parámetros analizados. Es por ello, que se tiene lo siguiente:

Porcentaje de Especificación	
Obra 1	50 %
Obra 2	80 %
Obra 3	55 %

Tabla 3.4: Porcentaje de Especificación de Cada EETT. Fuente: Elaboración Propia.

Observándose que la Obra 1 es aquella que tiene la menor cantidad de indicadores especificados en las EETT, mientras que la Obra 2 es la que tiene la mayor especificación. A partir de lo anterior, es que será posible evidenciar falencias en las diferentes etapas del proceso de hormigonado, ya que al no estar especificados ciertos aspectos fundamentales de éste, los casos de estudio no le dan la importancia necesaria, generando grandes porcentajes de incumplimiento.

Capítulo 4

Resultados y Análisis

A continuación se presentaran los resultados obtenidos de la aplicación de las Listas de Chequeo, en donde se hizo un levantamiento de lo que cada proyecto exigía y se evaluó cada indicador de dicho documento siguiendo el orden lógico del proceso de hormigonado. Identificando inmediatamente el cumplimiento, no cumplimiento o no aplicación de los indicadores, para luego analizar la información obtenida y entender las causas y relaciones más relevantes del no cumplimiento en el resultado final.

4.1. Consideraciones Previas

Es importante mencionar que en los tres casos de estudio existieron parámetros de los cuales no se tenía información alguna o que simplemente no eran relevantes para los profesionales de terreno y por ende no eran medidos, así como tampoco eran mencionados en las EETT. Los casos mencionados anteriormente serán indicados a continuación:

- **Etapas de Fabricación Hormigón Premezclado y Transportado:**
 - Certificado control de componentes de la planta: No se tenía información acerca de este indicador. En los tres casos de estudio se solicitó a las respectivas plantas hormigoneras el certificado, pero lamentablemente la respuesta fue negativa.
 - Validación de memoria de cálculo mediante hormigones de prueba: Con respecto a este indicador, no existía conocimiento de esto en los casos de estudio.
 - Reportes de carga: Al igual que en los indicadores anteriores, no se registraba en obra.
 - Condiciones de durabilidad: Pese a ser una de las características fundamentales del hormigón, y en la cual se debiese poner atención, en ninguno de los tres casos de estudio se tenía información acerca de esto, así como tampoco aparecía en las EETT cuando se mencionaban las características del hormigón.

- Tiempo de espera y sobreestadía: Con respecto a este indicador, en las tres casos de estudio sólo se consideraba el acuerdo comercial que tenían con las plantas hormigoneras, el cual consistía en que cada camión mixer podía estar un máximo de una hora en obra.
- **Etapa de Colocación, Compactación y Terminación**
 - Equipos disponibles: Este indicador era considerado en obra pero sólo en aspectos de inventario, en ningún momento era relacionado con algún proceso de hormigonado en cuanto al rendimiento necesario u otros aspectos.
 - Tolerancias para imperfecciones según grado: En ninguno de los tres casos de estudio se encontraba especificado el grado de terminación del hormigón, por lo que tampoco se detallaban las tolerancias de terminación. Simplemente reparaban en caso de existencia de nidos, micro segregaciones o evidentes deficiencias en la terminación.
 - **Etapa de Aceptación/Rechazo de Hormigón:**
 - Terminación superficial: Con respecto a este indicador, en ninguno de los casos de estudio se centraba en específico en los parámetros que se deben analizar. Simplemente realizaban una verificación de nivel, plomo, planeidad y cuadratura de los elementos estructurales, en el momento previo y posterior al hormigonado, así como también al momento de desmoldar. Además, realizaban una verificación de niveles a nivel de obra en general.
 - Fisuras no estructurales: Este indicador no se encontraba en las EETT ni en los documentos de los casos de estudio, como los protocolos e instructivos. Sin embargo, se realizó la medición de fisuras siguiendo las indicaciones de la Propuesta de Manual y sólo se encontró en un elemento estructural una fisura sobre el límite permitido, la cual no fue reparada.

Se destaca que para tener un completo entendimiento de lo que se indicó anteriormente, se recomienda la lectura de la Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón (Gálvez, José Tomás, 2023). En particular de las Listas de Chequeo que fueron mostradas en la Figura 1.3.

4.2. Resultados y Análisis de la Verificación

A continuación, se presentarán los principales resultados, y su respectivo análisis, obtenidos en la verificación de aplicabilidad de la Propuesta de Manual. Evidentemente serán exhibidos aquellos más relevantes, entendiendo estos últimos como aquellos indicadores críticos en el proceso constructivo o aquellos que presenten los casos de cumplimiento más desfavorables.

Es importante mencionar que los resultados serán presentados en gráficos circulares con porcentajes y también, para un total entendimiento de la información obtenida, en gráficos de columnas apiladas con porcentaje, los cuales indicaran lo siguiente:

- Cumplimiento.
- No Cumplimiento.
- Sin Medición.
- No Aplica.

Se destaca que la digitalización de las Listas de Chequeo aplicadas en los casos de estudio se encuentra adjuntada en el Anexo (Tablas A.1 a A.15). Además, el código de colores utilizado en los resultados corresponde a verde para cumplimiento del indicador, rojo para el incumplimiento y gris en caso de no aplicar o no existir la medición.

4.2.1. Etapa de Fabricación Hormigón Premezclado y Transporte

A continuación, se presentan los resultados relativos a los indicadores medidos en terreno de la etapa mencionada.

- **Asentamiento de Cono:** Con respecto a los resultados obtenidos de este indicador, se tiene lo siguiente:

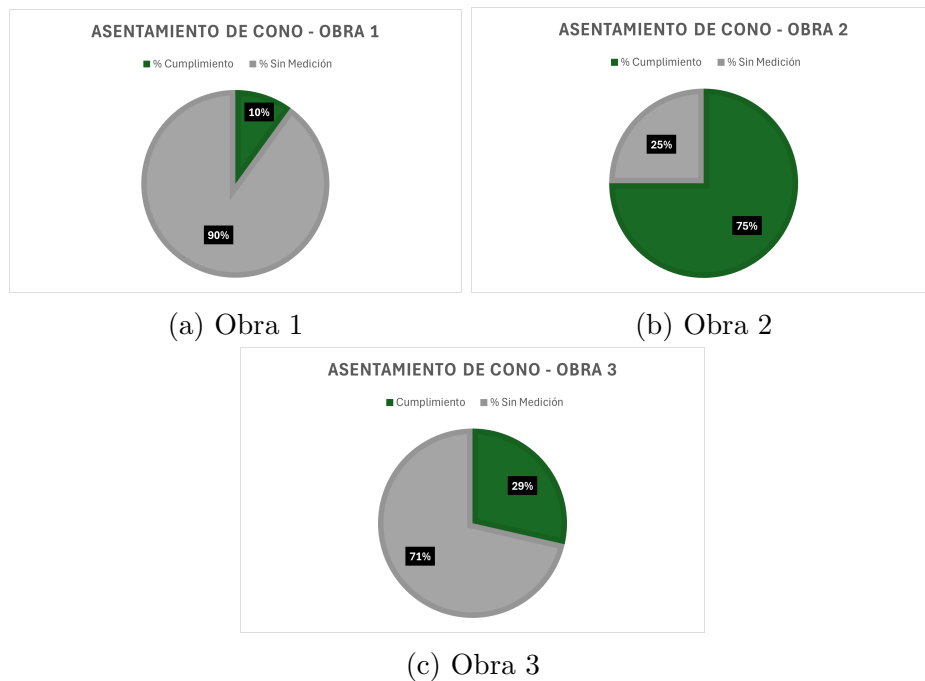


Figura 4.1: Resultados de Asentamiento de Cono de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para un mejor entendimiento, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

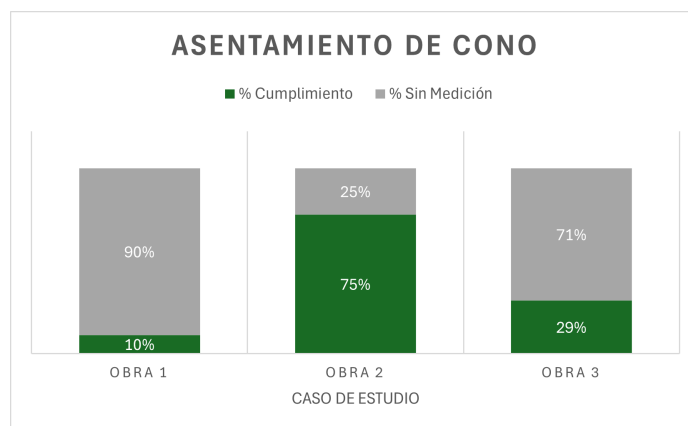


Figura 4.2: Resultados de Asentamiento de Cono de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Se debe mencionar que el cumplimiento del indicador corresponde a la medición o no del asentamiento de cono al hormigonar los elementos estructurales analizados. Entonces, a partir de la Figura 4.1, se puede observar que la Obra 2 (4.1b) era aquella que más realizaba la medición, mientras que la Obra 1 (4.1a) y Obra 3 (4.1c) presentaban un elevado porcentaje de no medición. Con respecto a estas últimas, se destaca que el indicador era medido, en general, siempre en el caso de hormigonar un elemento estructural de losa, ya que en ese caso se realizaba una toma de muestras midiendo además el asentamiento de cono. Por lo que existía una discordancia con lo especificado en las EETT respectivas, que exigían una mayor recurrencia en esta medición, debiendo medirse en cada elemento estructural hormigonado.

- **Tiempo de Carga-Descarga:** Este indicador presentó los siguientes resultados:

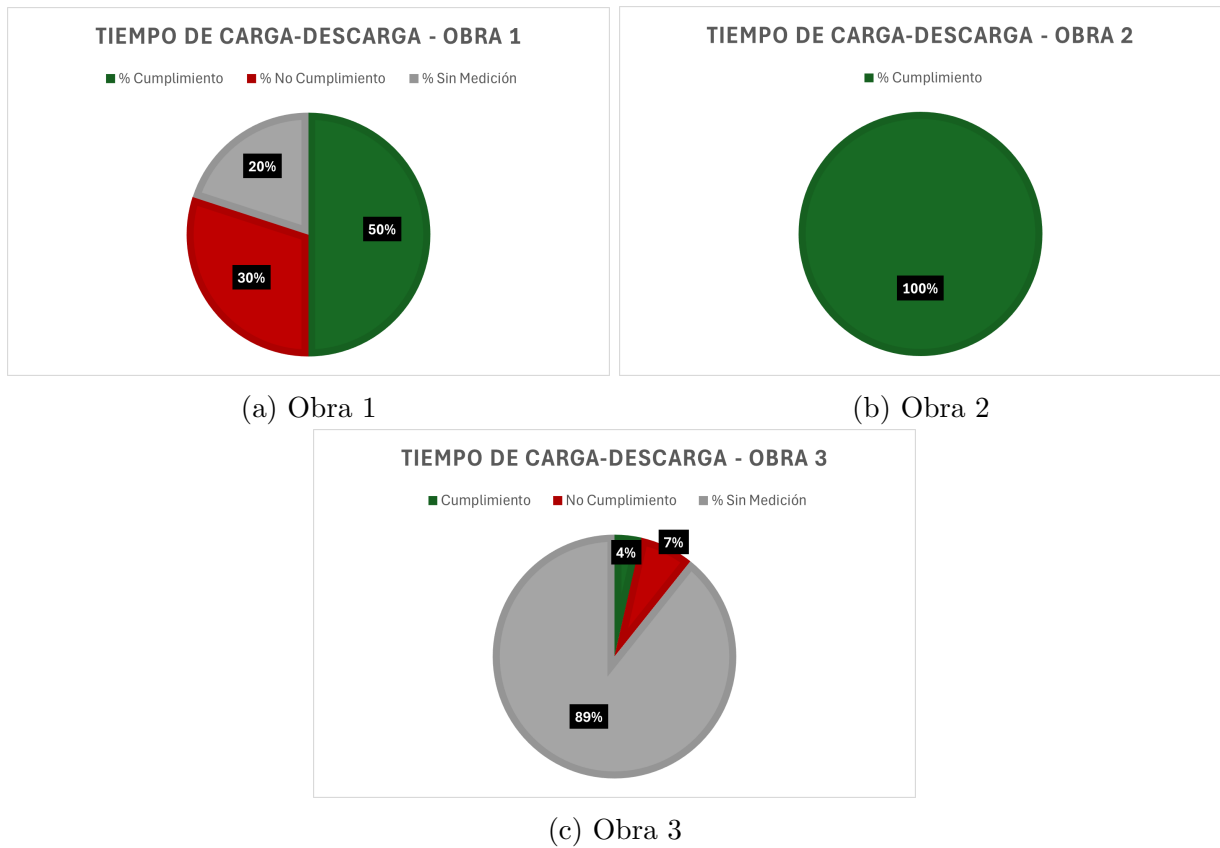


Figura 4.3: Resultados del Tiempo de Carga y Descarga de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para una mayor comprensión, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

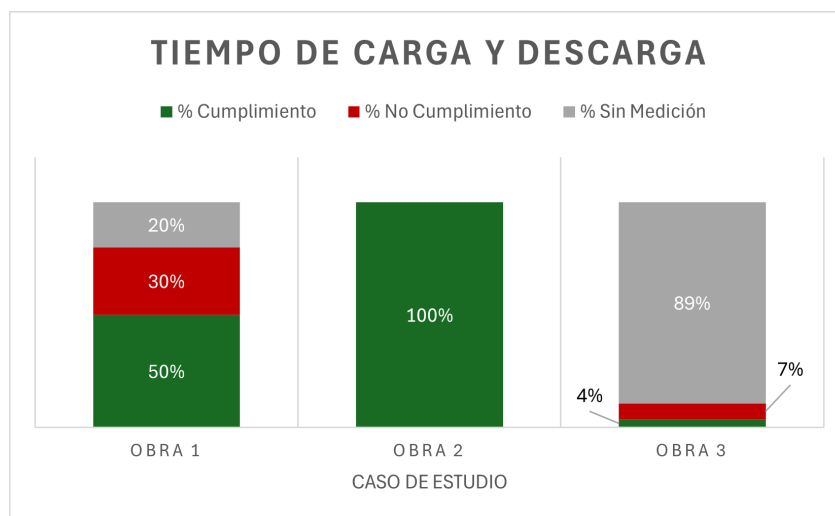


Figura 4.4: Resultados de Tiempo Carga y Descarga de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Donde el cumplimiento corresponde a que el tiempo entre la carga del camión mezclador y el fin de la descarga de éste, no debe exceder los 120 minutos. Con respecto a la Figura 4.3, se puede observar que nuevamente la Obra 2 (4.3b) es aquella con mejor desempeño de este indicador, cumpliendo en el 100 % de los casos. En cuanto a la Obra 1(4.3a) se tiene un cumplimiento en la mitad de las mediciones, con un incumplimiento de un 30 %. Finalmente, la Obra 3 (4.3c) presenta un elevado 89 % de no medición, incumpliendo en un 7 % de los casos. Sin embargo, se destaca que en el caso de esta última obra los camiones siempre eran descargados mediante bomba y tardaban alrededor de 20 minutos, por lo que, pese a tener un mayor incumplimiento que cumplimiento en los elementos medidos, es muy probable que en los casos de no medición se tenga cumplimiento.

- **Tiempo de Descarga:** Con respecto a los resultados obtenidos de este indicador, se tiene lo siguiente:

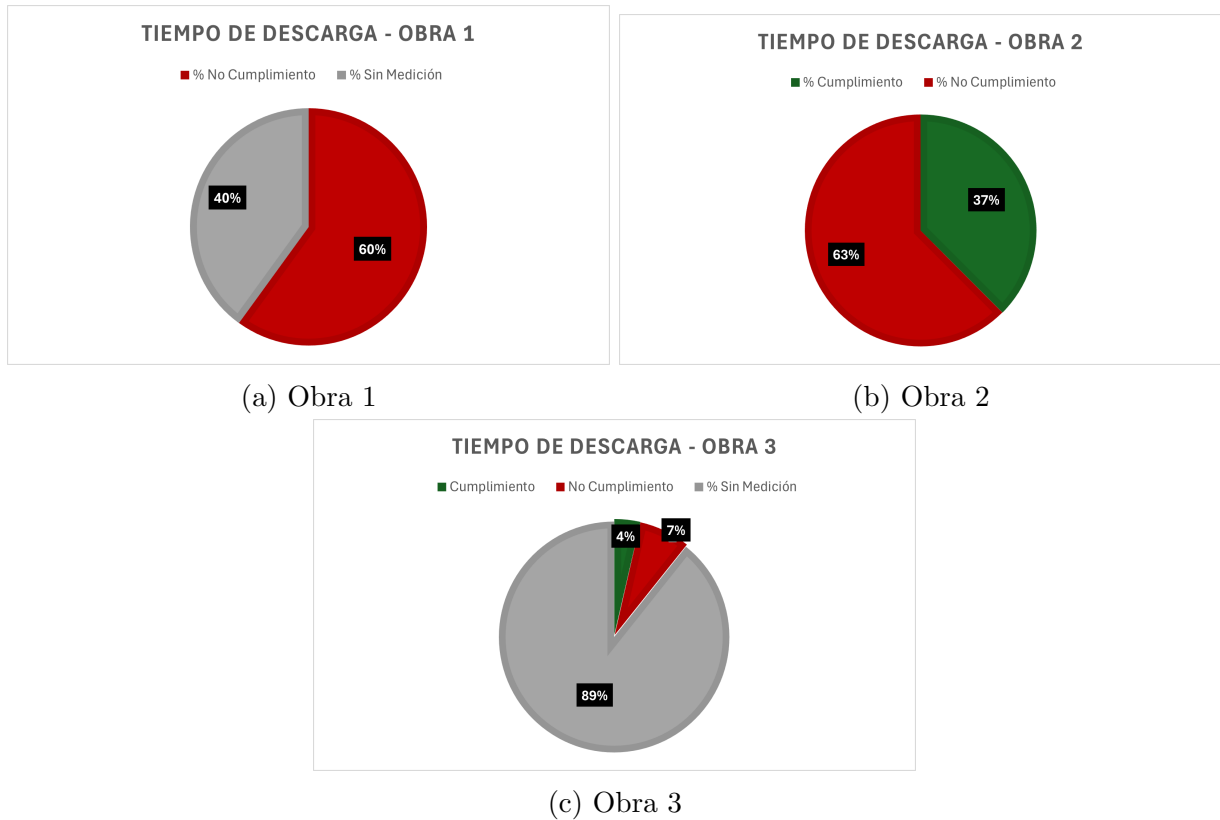


Figura 4.5: Resultados del Tiempo de Descarga de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para un mejor entendimiento, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

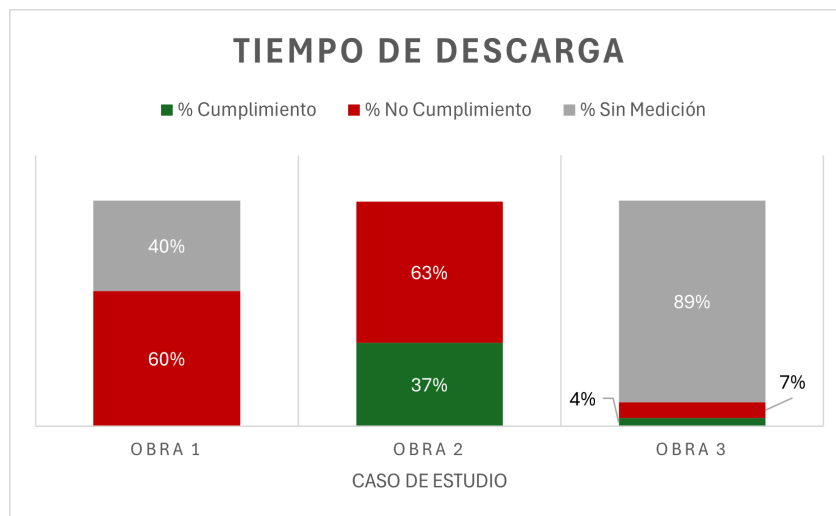


Figura 4.6: Resultados de Tiempo de Descarga de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Se debe mencionar que el cumplimiento corresponde a lo indicado en la norma, es decir, que la descarga del camión mezclador debe realizarse en un tiempo no mayor a 30 minutos. Entonces, a partir de la Figura 4.5, se puede observar que ni la Obra 1 (4.5a) ni la Obra 2 (4.5b) presentan un buen desempeño en este indicador, teniendo ambas alrededor de un 60 % de no cumplimiento. En el caso de la primera, dicho desempeño se debe a que en la mayoría de los casos el método de transporte predilecto era el capacho, generando una descarga bastante lenta. En el caso de la segunda, el bajo desempeño en este indicador podría deberse a la demora en los cambios de postura de las tuberías de la bomba a medida que se avanzaba en el proceso de hormigonado. Por otro lado, en cuanto a la Obra 3 (4.5c), se observa un 89 % de no medición, pero, tal como se mencionó en el indicador anterior, los camiones siempre eran descargados mediante bomba y tardaban alrededor de 20 minutos, por lo que es muy probable que en los casos de no medición se tenga cumplimiento, siendo en consecuencia la mencionada obra aquella con mejor desempeño.

- **Tiempo en Obra:** Este indicador presentó los siguientes resultados:

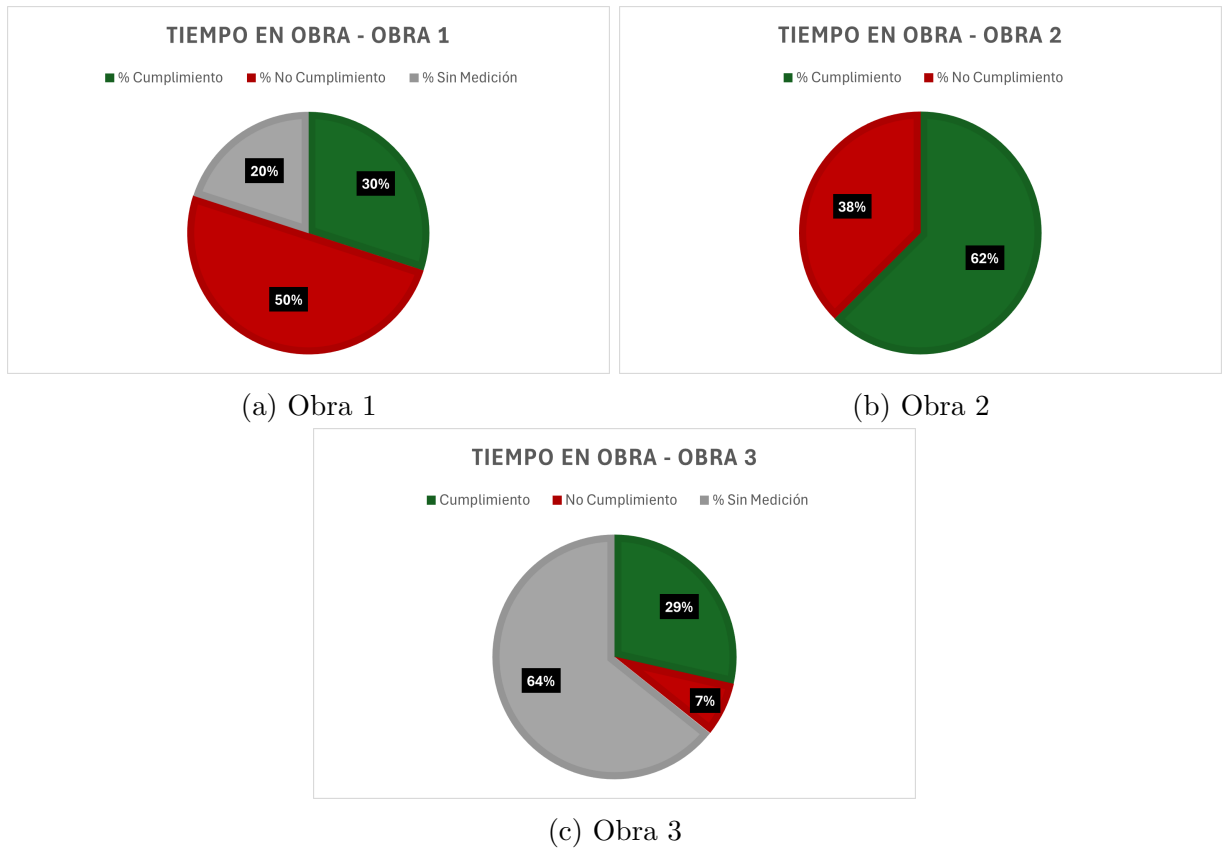


Figura 4.7: Resultados del Tiempo en Obra de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para una mayor comprensión, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

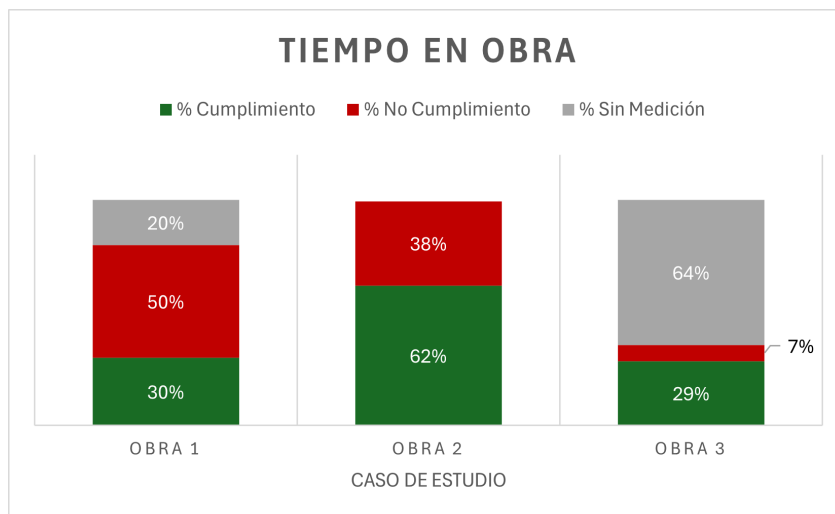


Figura 4.8: Resultados de Tiempo en Obra de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Donde el cumplimiento corresponde al acuerdo comercial existente entre los casos de estudio y las respectivas plantas hormigoneras, el cual establecía un tiempo máximo de 60 minutos en obra. Con respecto a la Figura 4.7, se observa que nuevamente la Obra 2 (4.7b) es aquella que presenta el mejor desempeño, con un 62 % de cumplimiento. En el caso de la Obra 1 (4.7a), ésta es la que tiene peor rendimiento con un 63 %, mientras que la Obra 3 (4.7c) presenta un elevado 64 % de no medición. En cuanto a esto último, y cómo se indicó anteriormente, es muy probable que dicho porcentaje se traduzca en cumplimiento del indicador, teniendo además un porcentaje de cumplimiento mayor que el de incumplimiento en los elementos en los que sí se realizó la medición.

Es importante mencionar que tanto la Obra 2 como la Obra 3 utilizaban bomba en la mayoría de los casos para el proceso de hormigonado, mientras que la Obra 1 casi siempre utilizaba capacho. Lo anterior, permite entender el motivo del bajo rendimiento de ésta última en todo lo relativo a tiempos de carga, descarga y de permanencia en obra. Además, en ninguno de los casos de estudio se encontraba especificado en las EETT los tiempos de transporte y descarga del hormigón, lo que permite entender los desempeños mostrados.

4.2.2. Etapa de Colocación, Compactación y Terminación

A continuación, se presentan los resultados relativos a los indicadores medidos en terreno de la etapa mencionada.

- **Temperatura Hormigón:** Con respecto a los resultados obtenidos de este indicador, se tiene lo siguiente:

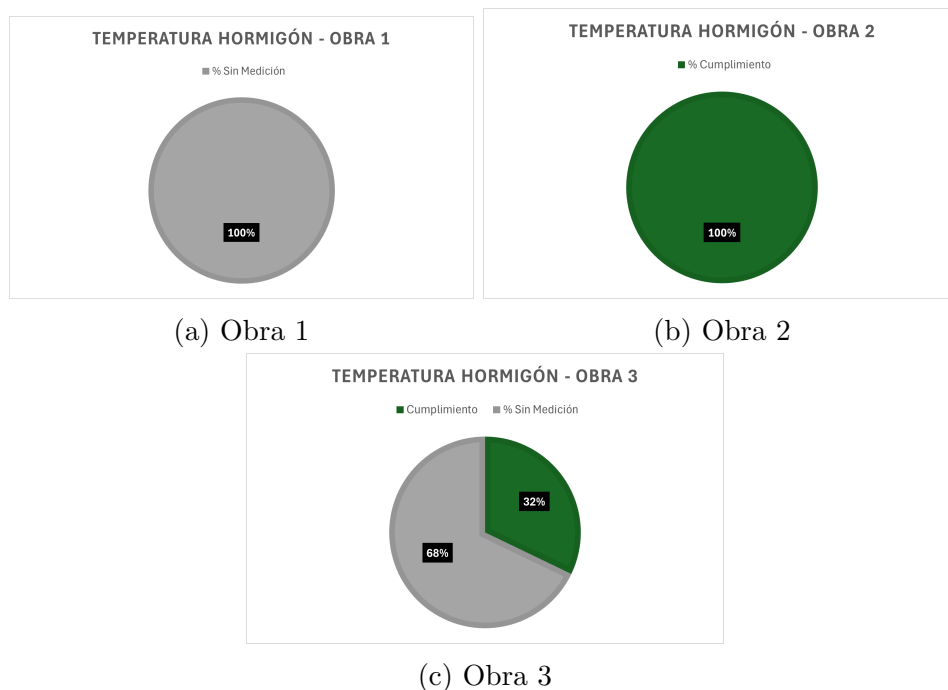


Figura 4.9: Resultados de Temperatura del Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para un mejor entendimiento, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

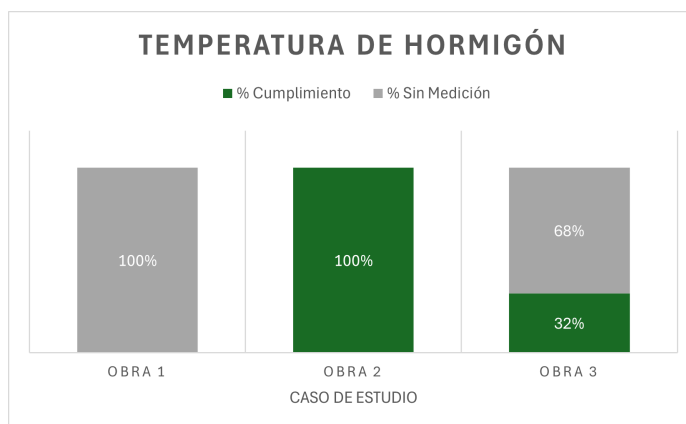


Figura 4.10: Resultados de Temperatura del Hormigón de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Se debe mencionar que el cumplimiento corresponde a que la temperatura del hormigón se encuentre entre 5°C y 35°C , según lo indicado en la Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón (Gálvez, José Tomás, 2023). Entonces, a partir de la Figura 4.9, se observa que la Obra 2 (4.9b) es aquella con el mejor rendimiento en este indicador, logrando un 100 % de cumplimiento, es decir, en todos los elementos estructurales analizados se medía la temperatura del hormigón y ésta estaba dentro de los rangos permitidos, lo cual era concordante con lo exigido en las EETT del mencionado caso de estudio. En cuanto a la Obra 1 (4.9a), lamentablemente en ningún elemento estructural fue medido el indicador, mientras que en la Obra 3 (4.9c) sólo fue medido en un 32 %, logrando siempre cumplimiento, lo cual es una consecuencia directa de las respectivas EETT, las cuales no exigían la medición de temperatura del hormigón colocado en obra.

- **Potencial de Fisuración:** Este indicador presentó los siguientes resultados:

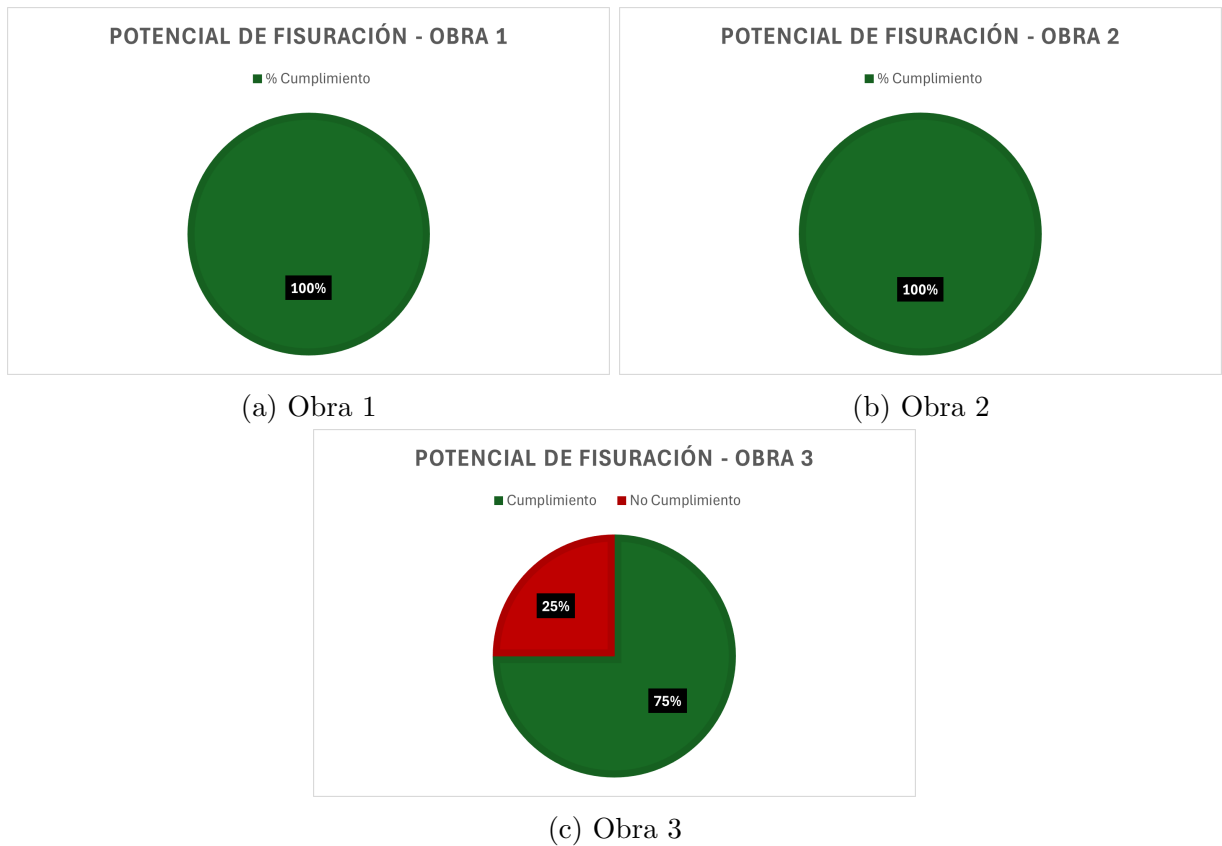


Figura 4.11: Resultados del Potencial de Fisuración de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para una mayor comprensión, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

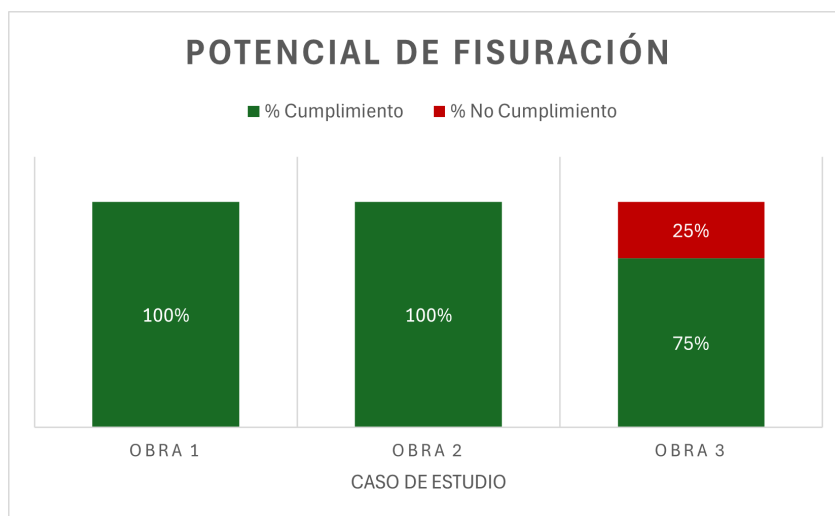


Figura 4.12: Resultados de Potencial de Fisuración de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Donde el cumplimiento corresponde a que el valor del mencionado indicador se encuentre por debajo de $1 \text{ kg/m}^2/\text{h}$, según lo indicado en la Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón (Gálvez, José Tomás, 2023). Con respecto a la Figura 4.11, se puede observar que tanto la Obra 1 (4.11a) como la Obra 2 (4.11b) presentan un 100 % de cumplimiento de este indicador, por lo que no fue necesario adoptar medidas de protección del hormigón en dichos casos de estudio. Por otro lado, en la Obra 3 (4.11c), se presenta un 25 % de incumplimiento, por lo que será muy importante analizar si se tomaron las medidas de protección pertinentes. Es importante destacar que, como se observó anteriormente, no se tenía la temperatura del hormigón en todos los casos, por lo que, en dichos casos, se utilizó una condición muy desfavorable para el cálculo del indicador, lo cual fue considerar una temperatura de hormigón de 26°C . Los resultados de lo anterior se encuentran adjuntados en el Anexo (Tablas A.16, A.17 y A.18). En este caso, los desempeños obtenidos también estaban alineados con lo exigido en las EETT respectivas.

- **Colocación:**

- **Altura de Vaciado:** Con respecto a los resultados obtenidos de este indicador, se tiene lo siguiente:

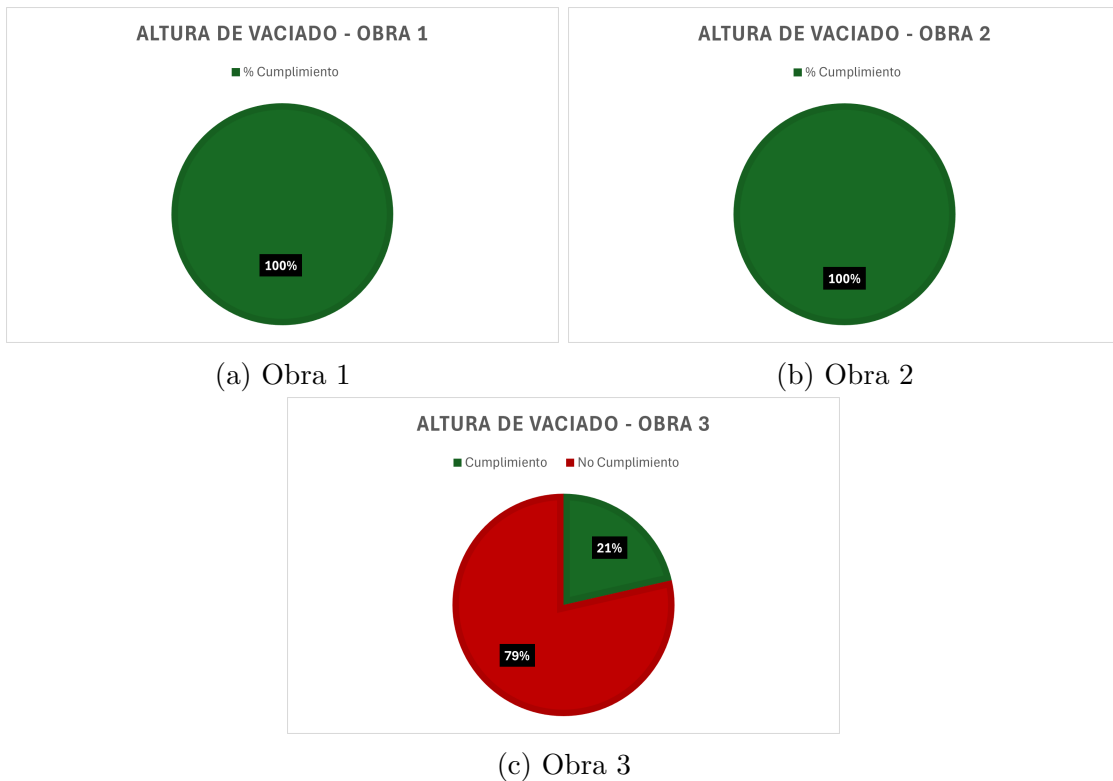


Figura 4.13: Resultados de la Altura de Vaciado de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para un mayor entendimiento, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

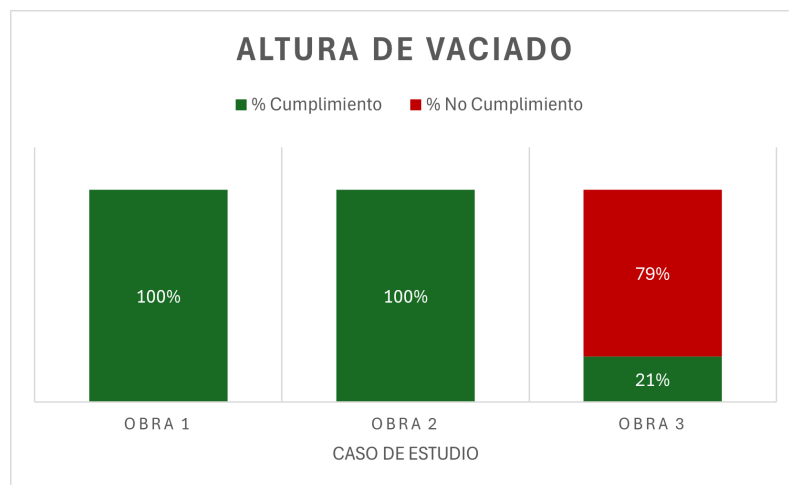


Figura 4.14: Resultados de Altura de Vaciado de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Se debe mencionar que el cumplimiento corresponde a lo indicado en las Especificaciones Técnicas del ICH (ET 002:05 Altura de Vaciado en Elementos de Hormigón Armado, 2005), las cuales establecen una altura de vaciado máxima de 3 metros para hormigón bombeable con un asentamiento de cono mayor o igual a 8 centímetros, o de 2.5 metros para un hormigón no bombeable con el asentamiento mencionado. Entonces, a partir de la Figura 4.13, se observa nuevamente que la Obra 1 (4.13a) y la Obra 2 (4.13b) tienen el mejor desempeño en este indicador, con un 100% de cumplimiento, lo cual está alineado con lo exigido en las respectivas EETT. En cuanto a la Obra 3 (4.13c), se tiene un 79% de incumplimiento, lo cual se debe a que dicha edificación poseía una altura entre piso de 3,95 metros, y en terreno hormigonaban los elementos estructurales verticales (muros y pilares) a esa altura aproximadamente, existiendo por ende una discordancia con lo especificado en las EETT.

– **Espesor de Capas:** Este indicador presentó los siguientes resultados:

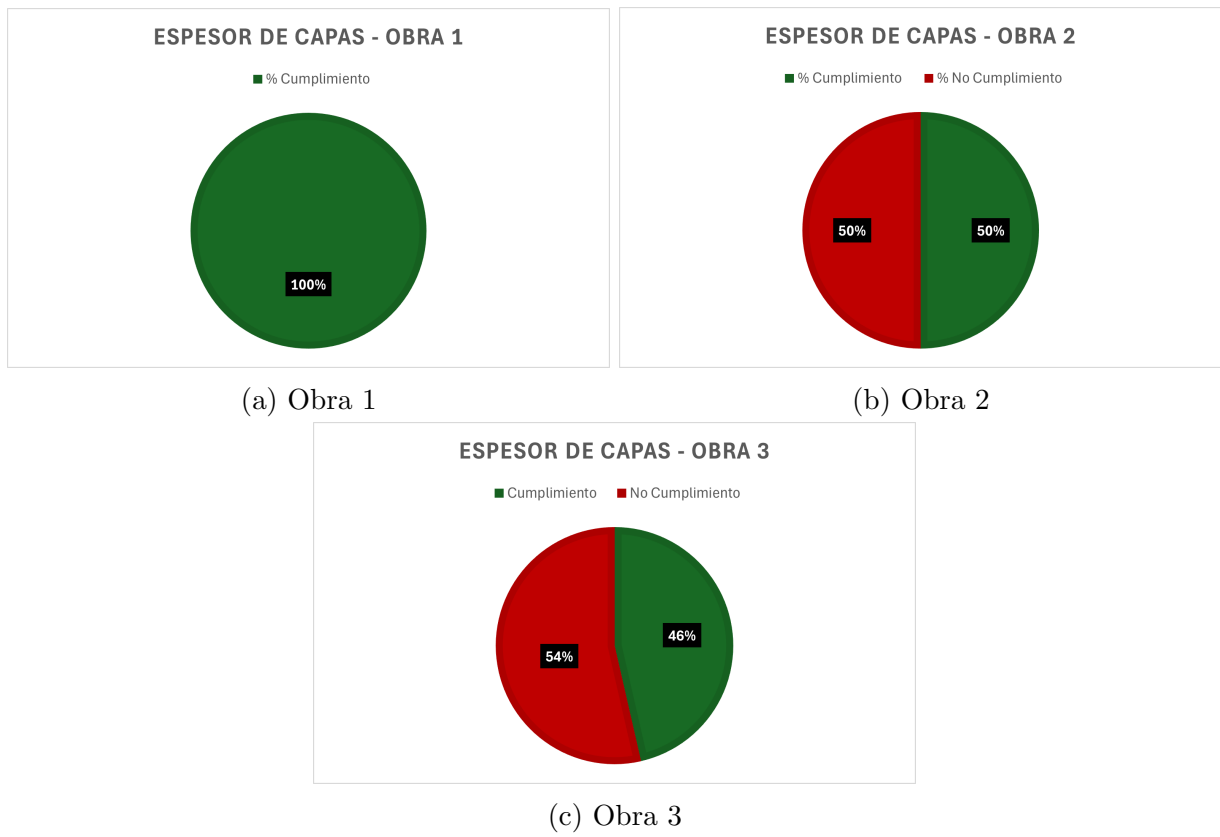


Figura 4.15: Resultados del Espesor de Capas de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para una mayor comprensión, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

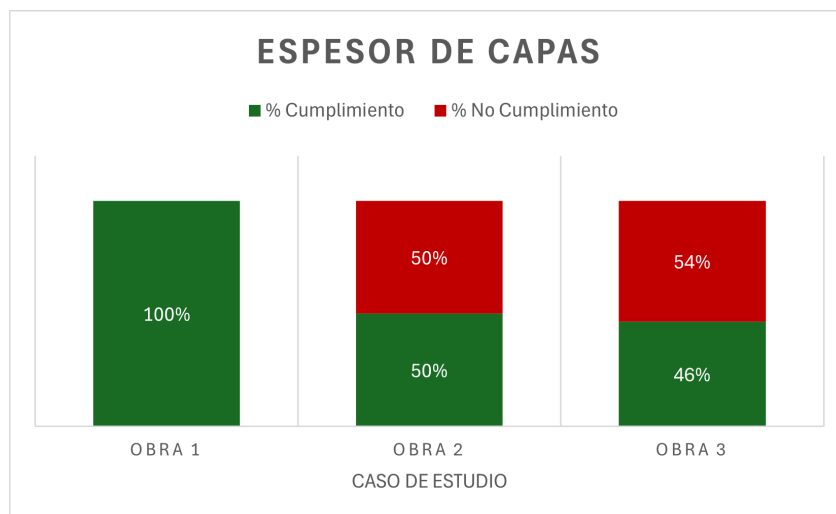


Figura 4.16: Resultados de Espesor de Capas de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Donde el cumplimiento corresponde a que el espesor máximo de la capa de hormigón que se está colocando no debe exceder los 50 centímetros, que era lo exigido en las EETT de dos de los tres casos de estudio. Con respecto a la Figura 4.15, se observa que la Obra 1 (4.15a) tiene el mejor rendimiento, logrando un 100 % de cumplimiento pese a no estar especificado en las EETT. En cuanto a la Obra 2 (4.15b) y Obra 3 (4.15c), ambas presentan alrededor de un 50 % de incumplimiento, el cual se observaba principalmente en el hormigonado de los pilares, ya que en ambos casos se comenzaba el vibrado al momento de un 50 % de llenado del elemento estructural. Lo mismo ocurría con el hormigonado de las vigas, ya que se comenzaba el vibrado una vez estuviera completamente llena de hormigón. Se destaca que en ambas obras existía una discordancia con las EETT respectivas, por lo que el incumplimiento es aún más grave.

- **Vibrado:**

– **Diámetro del Vibrador:** Con respecto a los resultados obtenidos de este indicador, se tiene lo siguiente:

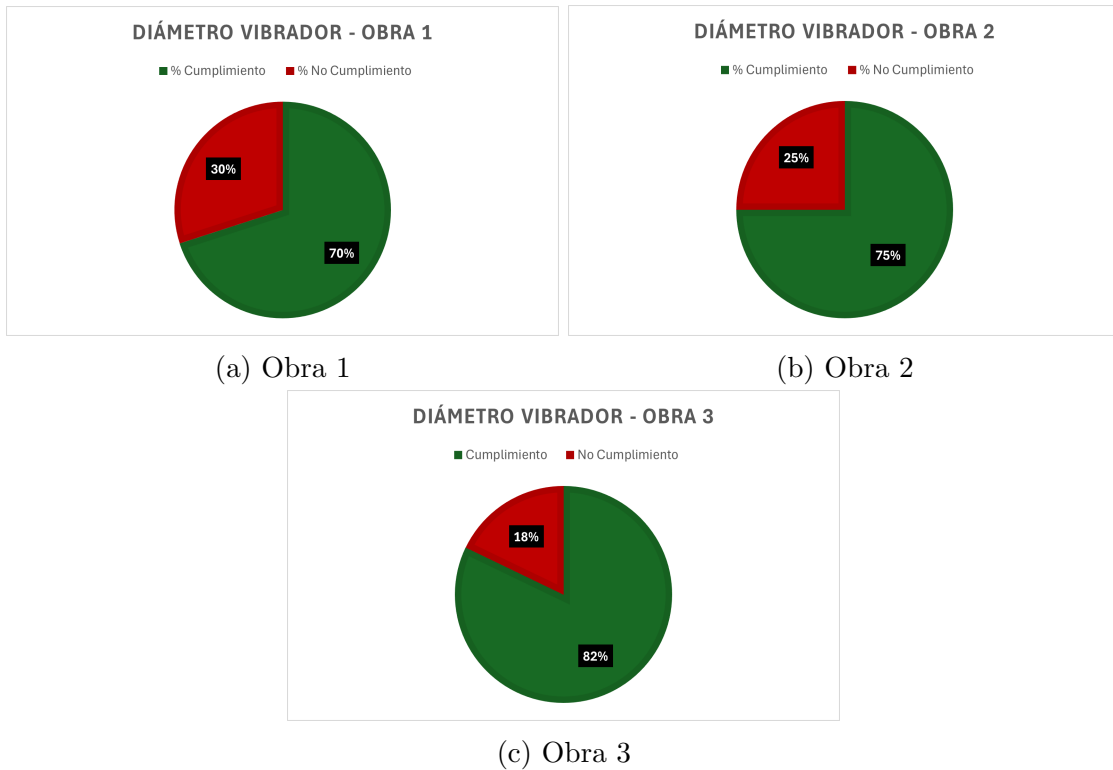


Figura 4.17: Resultados del Diámetro del Vibrador de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para un mejor entendimiento, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

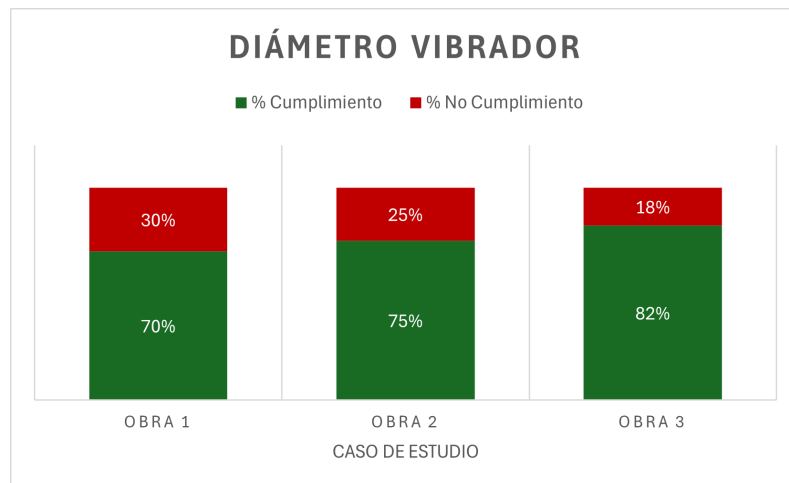


Figura 4.18: Resultados de Diámetro del Vibrador de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Se debe mencionar que el cumplimiento corresponde a que el vibrador utilizado sea compatible con la armadura del elemento estructural, es decir, que no exista interferencia entre la enfierradura y un correcto proceso de vibrado. Entonces, a partir de la Figura 4.17, se observa que en todos los casos de estudio se tiene un porcentaje de cumplimiento elevado. En particular, la Obra 1 (4.17a) presenta el incumplimiento mayor, con un 30%, mientras que la Obra 2 (4.17b) y Obra 3 (4.17c) presentan un 25% y 18% de incumplimiento respectivamente. Es importante destacar que los casos de no cumplimiento se presentaban en aquellos elementos estructurales que estaban densamente armados, y que en ninguna de las obras se procedía al uso de un vibrador de menor diámetro o la utilización del hormigón de tamaño máximo nominal de árido de 13 milímetros, el cual, si bien era utilizado en la Obra 3, en particular, no se utilizó en los elementos estructurales analizados. Será importante observar si lo anterior significó en una deficiencia en el producto final.

– **Diámetro de Acción:** Este indicador presentó los siguientes resultados:

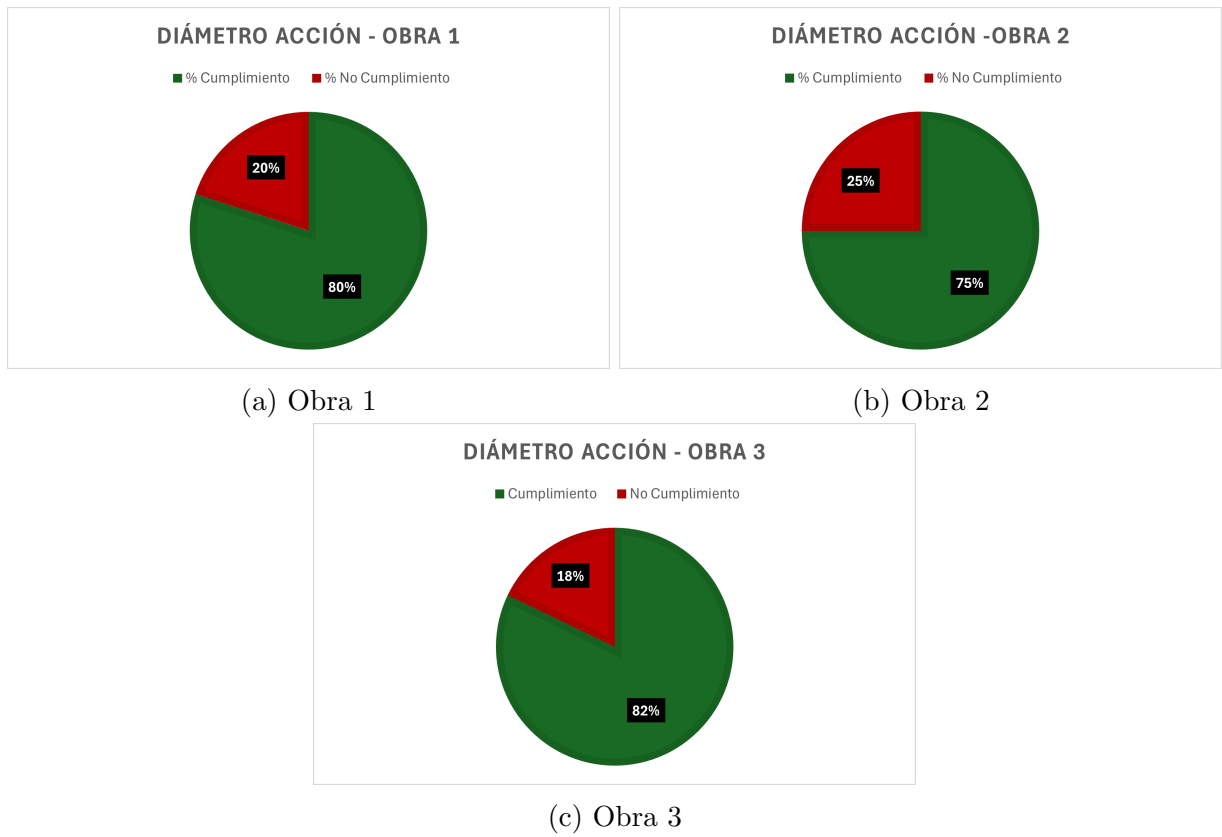


Figura 4.19: Resultados del Diámetro de Acción de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para una mayor comprensión, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

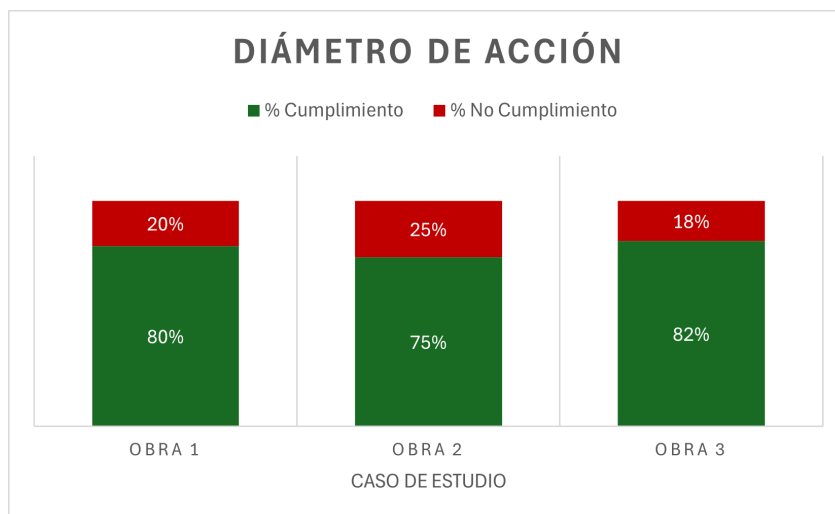


Figura 4.20: Resultados de Diámetro de Acción de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Donde el cumplimiento corresponde a lo indicado en la Figura 2.11 y en la Tabla 2.3, en las cuales se presenta el esquema y recomendaciones para un buen proceso de vibrado. Con respecto a la Figura 4.19, al igual que en el indicador anterior, se observa que en todos los casos de estudio se tiene un porcentaje de cumplimiento elevado. En cuanto a la Obra 2 (4.19b), ésta es la que tiene el porcentaje de incumplimiento mayor, con un 25%, mientras que la Obra 1 (4.19a) y Obra 3 (4.19c) tienen alrededor de un 20% de no cumplimiento. Al igual que en el caso anterior, será importante analizar si los resultados obtenidos generaron alguna deficiencia en el producto final.

– **Distancia a Moldaje:** Con respecto a los resultados obtenidos de este indicador, se tiene lo siguiente:

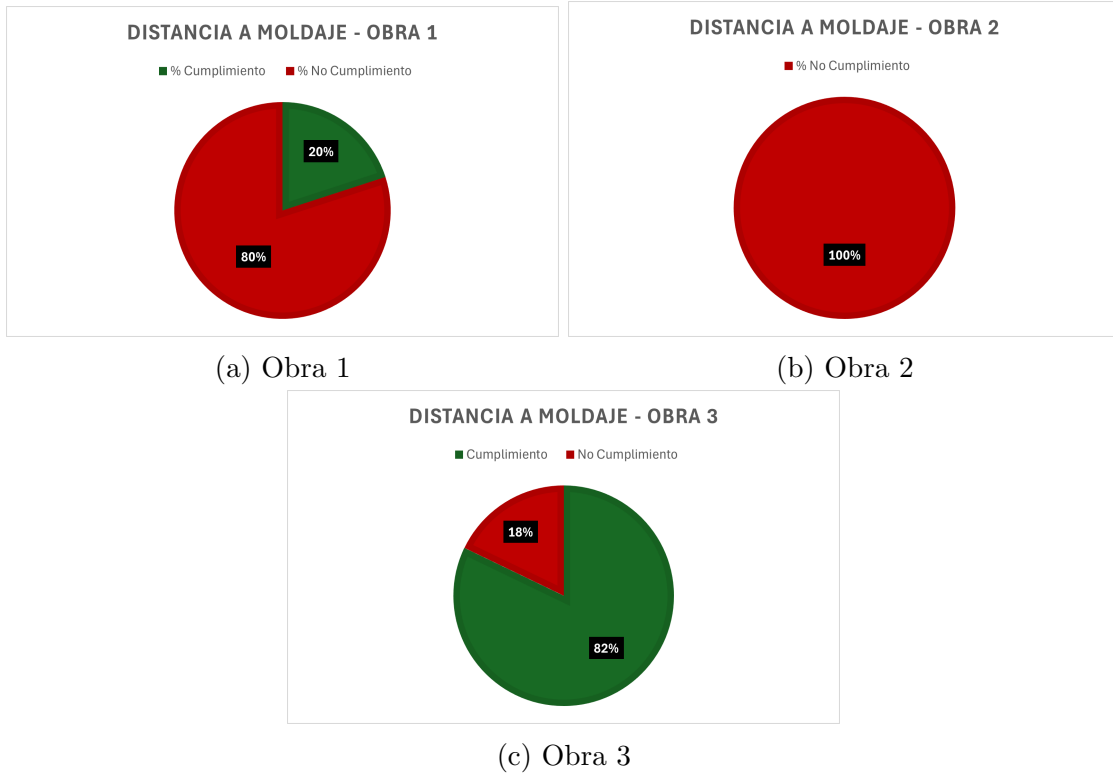


Figura 4.21: Resultados de la Distancia al Moldaje de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para un mejor entendimiento, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

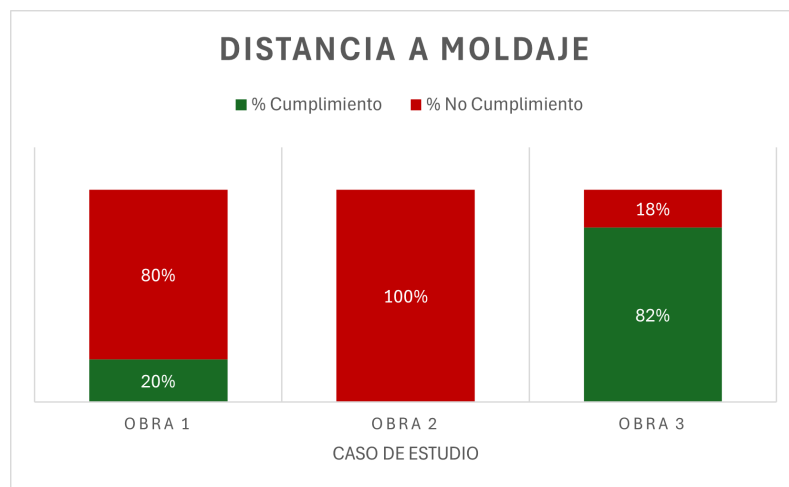


Figura 4.22: Resultados de Distancia al Moldaje de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Se debe mencionar que, al igual que en el indicador anterior, el cumplimiento corresponde a lo indicado en la Figura 2.11 y en la Tabla 2.3, en las cuales se presenta el esquema y recomendaciones para un buen proceso de vibrado. Entonces, a partir de la Figura 4.21, se observa que la Obra 2 (4.21b) tiene el peor desempeño del indicador, con un 100 % de incumplimiento. En cuanto a la Obra 1 (4.21a), el incumplimiento llegaba a un 80 % de los casos, mientras que la Obra 3 (4.21c) era aquella con mejor rendimiento, con un 82 % de cumplimiento. Es importante mencionar que en los casos de no cumplimiento, se debían a que los trabajadores pegaban el vibrador al moldaje, no cumpliendo con las distancias establecidas en las EETT o, en su defecto, en Polpaico (Figura 2.11, Manual del Constructor, Polpaico). Resulta muy interesante los resultados obtenidos, debido a que aquella obra con mejor rendimiento es justamente en la que las EETT no especificaban acerca de la compactación, mientras que las otras sí, por lo que lamentablemente no cumplían con lo establecido en dicho documento. Además, será de suma relevancia analizar el resultado del producto final, y cómo el pobre desempeño de este indicador en algunos casos de estudio afecta en ello.

– **Distancia Inserciones:** Este indicador presentó los siguientes resultados:

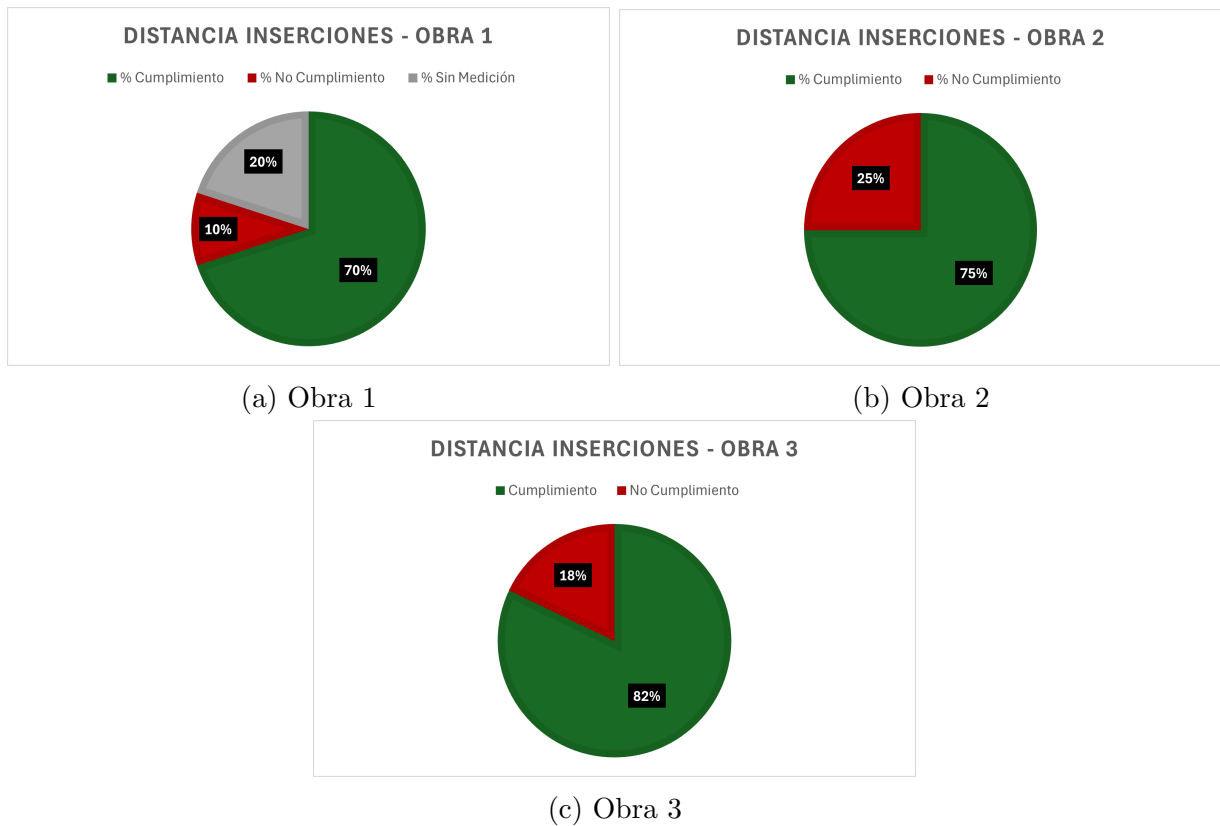


Figura 4.23: Resultados de Distancia Inserciones de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para una mayor comprensión, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

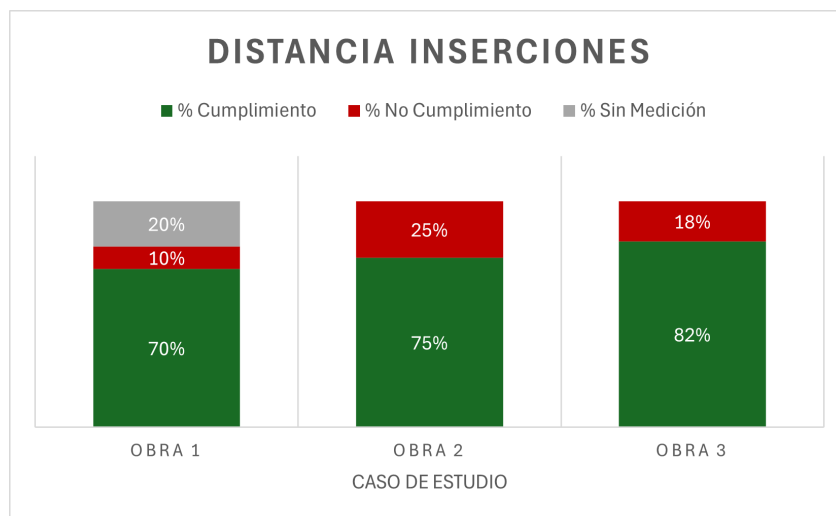


Figura 4.24: Resultados de Distancia Inserciones de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Donde el cumplimiento corresponde a lo indicado en la Figura 2.11 y en la Tabla 2.3, en las cuales se presenta el esquema y recomendaciones para un buen proceso de vibrado. Con respecto a la Figura 4.23, se observa que la Obra 3 (4.23c) es aquella con el mejor rendimiento en este indicador, con un 82 % de cumplimiento. En cuanto a la Obra 2 (4.23b), ésta tiene un 75 % de cumplimiento, mientras que la Obra 1 (4.23a) tiene un 70 %. Se destaca que esta última posee un 20 % sin medición, lo cual se debe a que los elementos estructurales que entran en ese porcentaje corresponden al hormigonado de la doble altura de unos muros del edificio, por lo que no fue posible realizar la medición debido a las dificultades de observar directamente el proceso de hormigonado.

– **Velocidad de Retiro:** Con respecto a los resultados obtenidos de este indicador, se tiene lo siguiente:

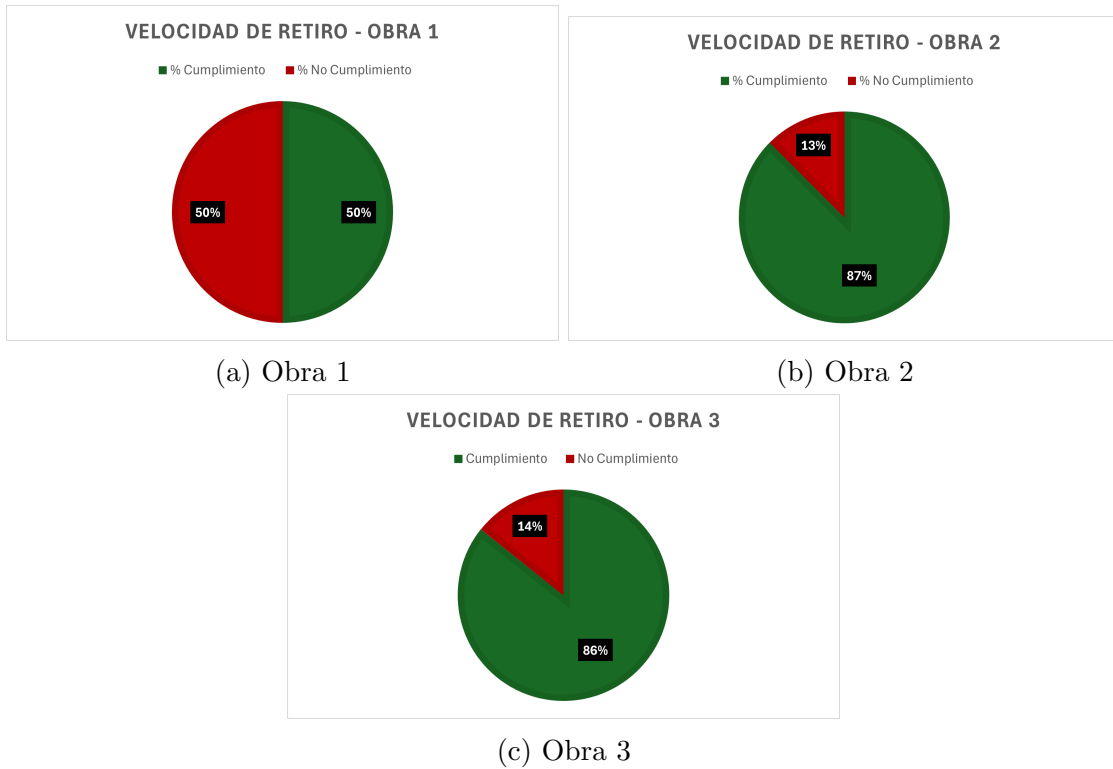


Figura 4.25: Resultados de Velocidad de Retiro de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para un mejor entendimiento, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

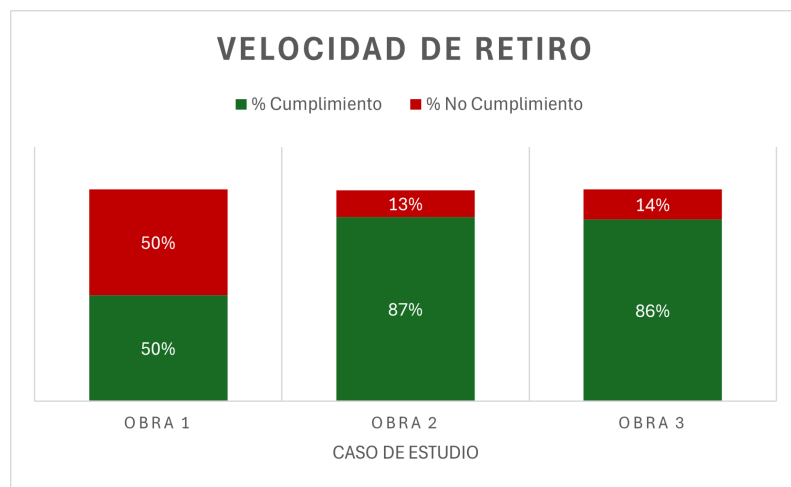


Figura 4.26: Resultados de Velocidad de Retiro de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Se debe mencionar que el cumplimiento corresponde simplemente a un retiro lento del vibrador, lo cual es una medición netamente observacional. Entonces, a partir de la Figura 4.25, se observa que tanto la Obra 2 (4.25b) como la Obra 3 (4.25c) presentan porcentajes de cumplimiento muy elevados para este indicador, con un 87 % y 86 % respectivamente. En cuanto a la Obra 1 (4.25a), ésta presenta un elevado 50 % de incumplimiento, lo cual no se encuentra alineado con las exigencias en las EETT respectivas. Será muy importante analizar si este indicador significó una deficiencia en el producto final, ya que el correcto retiro del vibrador es un aspecto fundamental para asegurar un buen proceso de vibrado.

– **Mallas Sistemáticas:** Este indicador presentó los siguientes resultados:

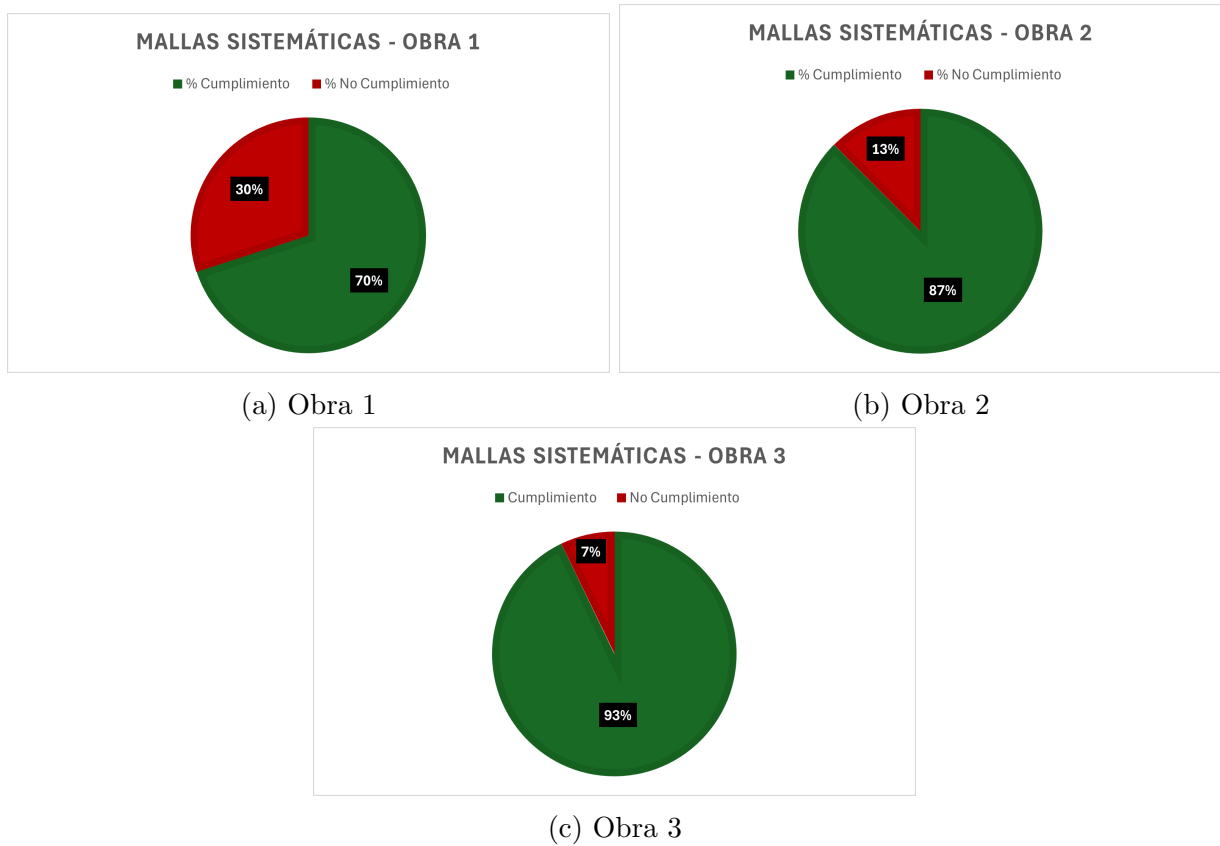


Figura 4.27: Resultados de Mallas Sistemáticas de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para una mayor comprensión, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

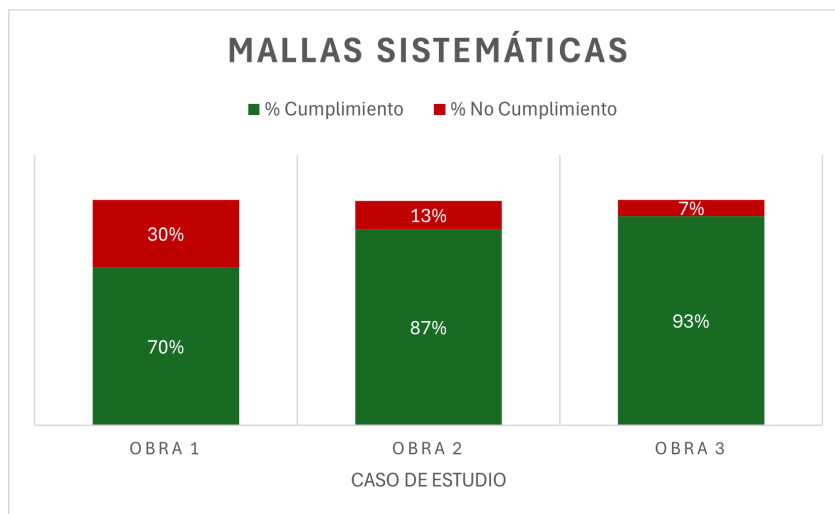


Figura 4.28: Resultados de Mallas Sistemáticas de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Donde, al igual que en el indicador anterior, el cumplimiento corresponde simplemente a un vibrado de forma ordenada y sistemática, es decir, es una medición netamente observacional. Con respecto a la Figura 4.27, se observa que nuevamente tanto la Obra 2 (4.27b) como la Obra 3 (4.27c) tienen el mejor desempeño en este indicador, con un 87% y 93% de cumplimiento respectivamente. En el caso de la Obra 1 (4.27a), se puede apreciar que ésta presenta un 30% de incumplimiento, por lo que será interesante analizar las repercusiones que esto puede tener en el resultado final, ya que, al igual que el indicador anterior, el vibrado de forma ordenada y sistemática es fundamental para asegurar un buen proceso de vibrado. Se destaca además que, en general, los desempeños obtenidos en este indicador son concordantes con las exigencias de las EETT, exceptuando el caso de la Obra 3, que no especificaba acerca de esto.

- **Terminación de Hormigón:** Con respecto a los resultados obtenidos de este indicador, se tiene lo siguiente:



Figura 4.29: Resultados de Terminación de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para un mejor entendimiento, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

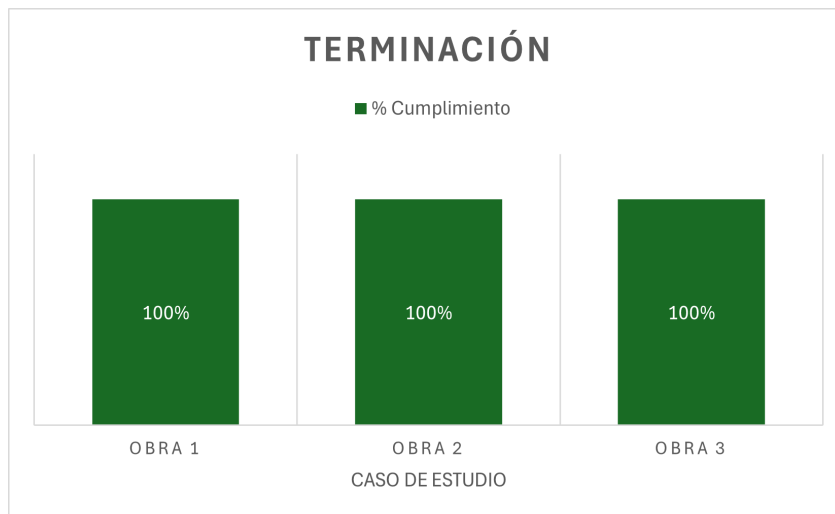


Figura 4.30: Resultados de Temperatura de Hormigón de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

A partir de la Figura 4.29, se puede observar que tanto en la Obra 1 (4.29a), 2 (4.29b) y 3 (4.29c) los elementos estructurales analizados cumplen en su totalidad el indicador, pese a no estar especificado en ninguna de las EETT. Es importante mencionar que se consideró como cumplimiento que en los casos de estudio se realizara el tratamiento respectivo de hormigón moldeado, como lo es la eliminación de lechada, el esmerilado, el texturado y el platachado. Se destaca también que en ninguna de las tres obras se conocía el grado de terminación superficial del hormigón, ya que no se encontraba especificado en ningún documento.

4.2.3. Etapa de Curado y Desmolde de Hormigón

A continuación, se presentan los resultados relativos a los indicadores medidos en terreno de la etapa mencionada.

- **Método de Protección:** Este indicador presentó los siguientes resultados:

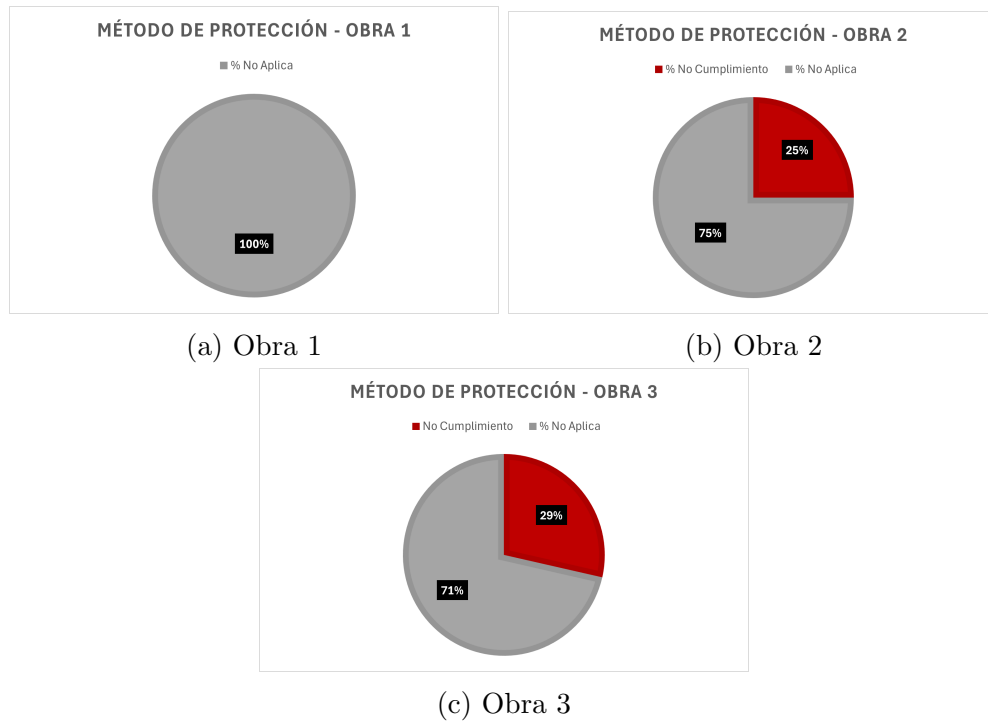


Figura 4.31: Resultados de Método de Protección de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para una mayor comprensión, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

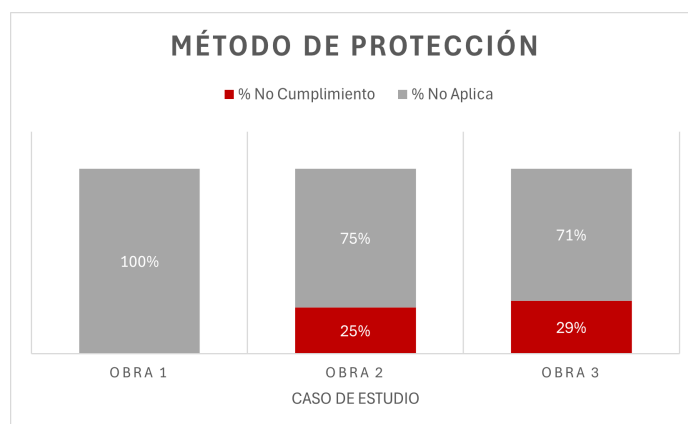


Figura 4.32: Resultados de Método de Protección de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Donde el cumplimiento corresponde a adoptar las medidas de protección indicadas en la Tabla 52 de la Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón (Gálvez, José Tomás, 2023), en caso de presentarse alguna situación de las descritas en el capítulo 2.6 del presente Trabajo de Título. Con respecto a la Figura 4.31, se observa que en el caso de la Obra 1 (4.31a) en ningún caso fue necesaria la aplicación de un método de protección del hormigón. Sin embargo, en el caso de la Obra 2 (4.31b) y Obra 3 (4.31c), existió un incumplimiento de un 25 % y 29 % respectivamente. Se menciona que en el caso de la Obra 2, la necesidad de protección era exclusivamente por hormigonado en días de lluvia, mientras que en el caso de la Obra 3 se debió de proteger, además de un día lluvioso, debido a un incumplimiento del potencial de fisuración, observable en la Figura 4.11c. Lamentablemente, en ninguna de las EETT se especificaba acerca de este indicador, con lo cual es posible entender los desempeños obtenidos. Se destaca que el no cumplimiento se debe a la no existencia de algún método de protección, ya que se dejaba el elemento estructural desprotegido en terreno.

- **Plazo de Protección:** Con respecto a los resultados obtenidos de este indicador, se tiene lo siguiente:

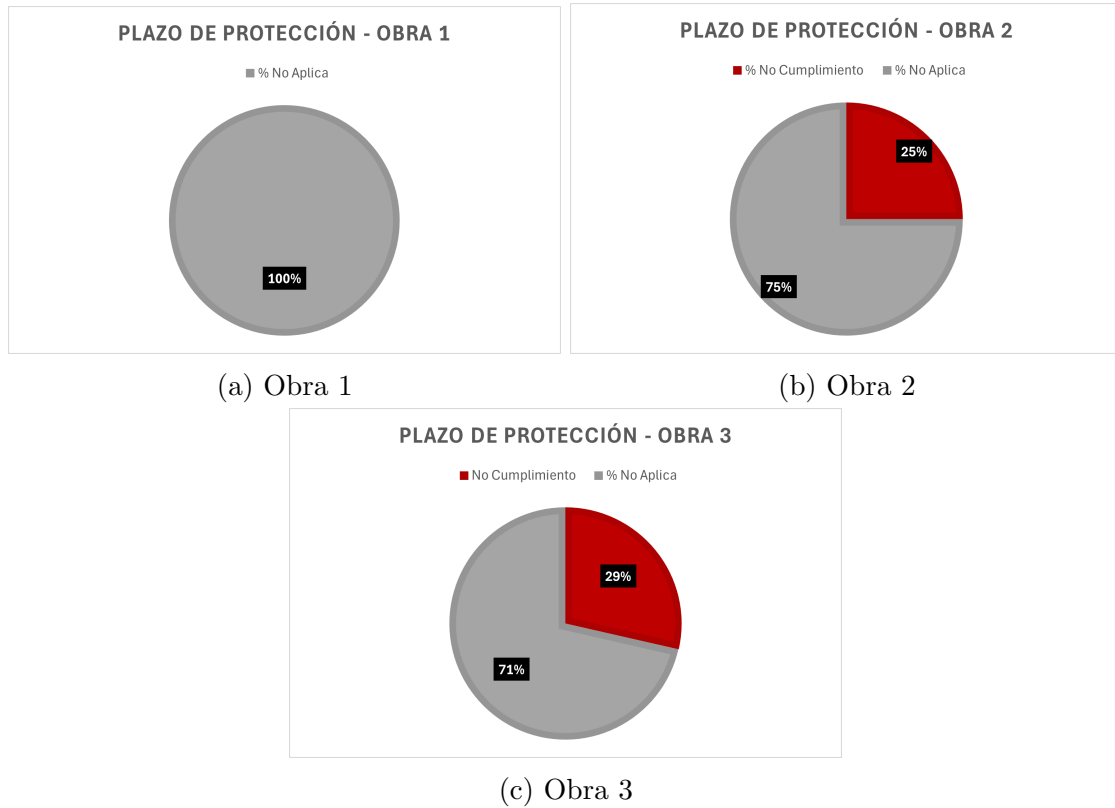


Figura 4.33: Resultados de Plazo de Protección de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para un mejor entendimiento, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

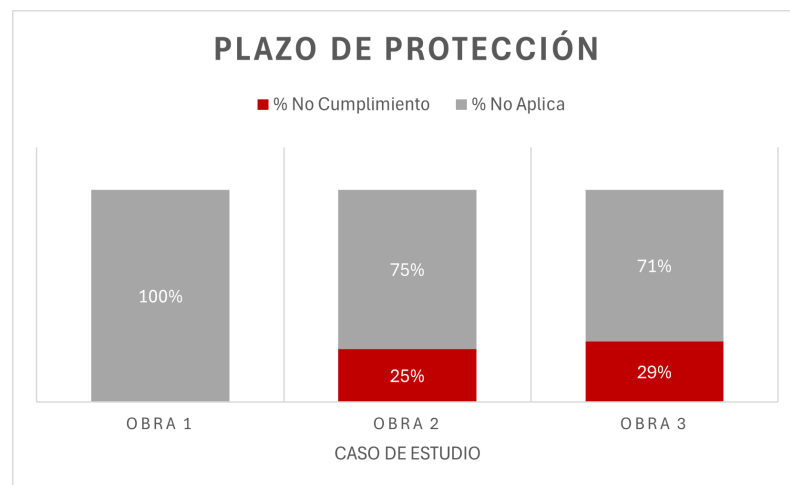


Figura 4.34: Resultados de Plazo de Protección de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Se debe mencionar que el cumplimiento corresponde al plazo que debía estar estipulado en los protocolos de protección de cada uno de los casos de estudio, los cuales lamentablemente no existían. Entonces, a partir de la Figura 4.33, se puede observar la relación directa entre el plazo de protección y el indicador anterior, ya que se obtienen los mismos porcentajes mencionados para los tres casos de estudio, es decir, evidentemente al no existir algún método de protección no se cumplirá con los plazos cuando ésta era necesaria. Entonces, en particular, la Obra 1 (4.33a) no necesitaba de protección, mientras que la Obra 2 (4.33b) y la Obra 3 (4.33c) tuvieron un incumplimiento de 25% y 29% respectivamente. Lo anterior es concordante con lo exigido en las EETT, las cuales no especificaban acerca de este tema.

- **Método de Curado:** Este indicador presentó los siguientes resultados:

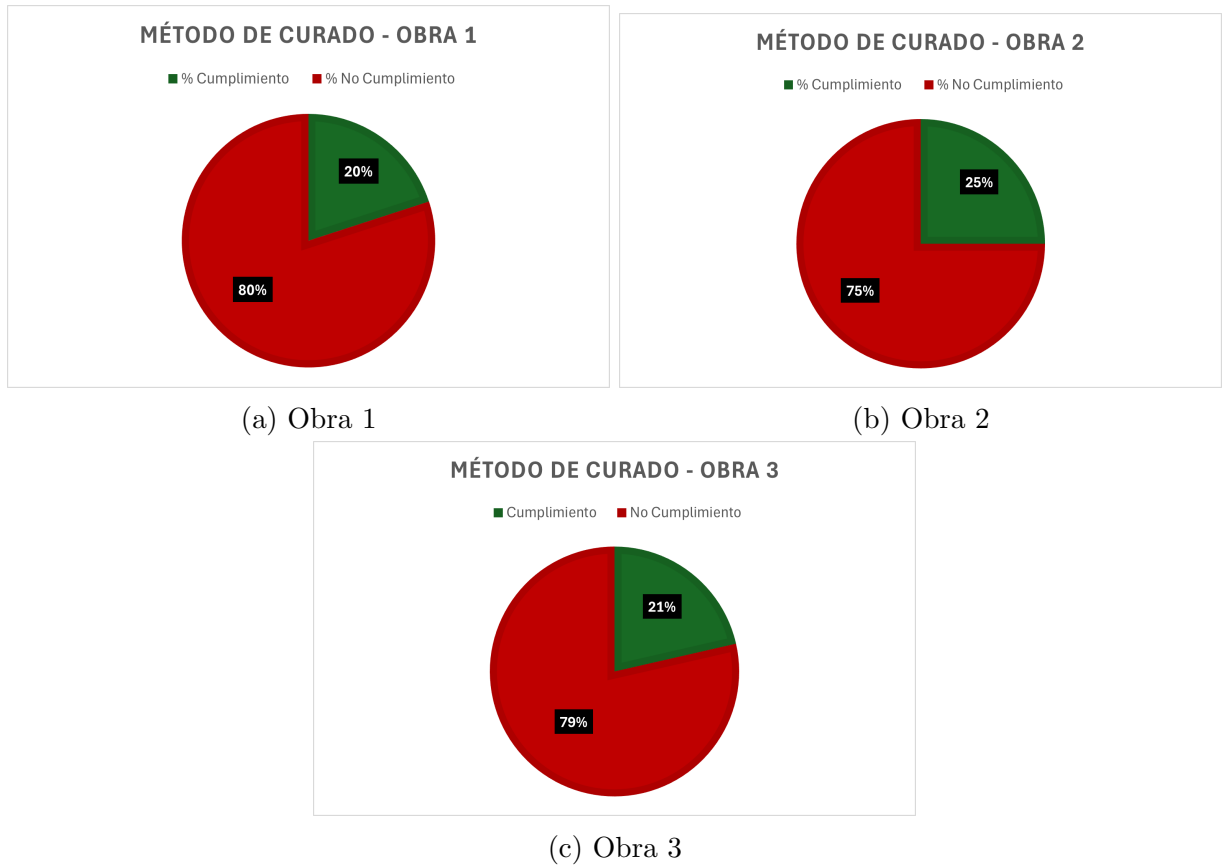


Figura 4.35: Resultados de Método de Curado de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para una mayor comprensión, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

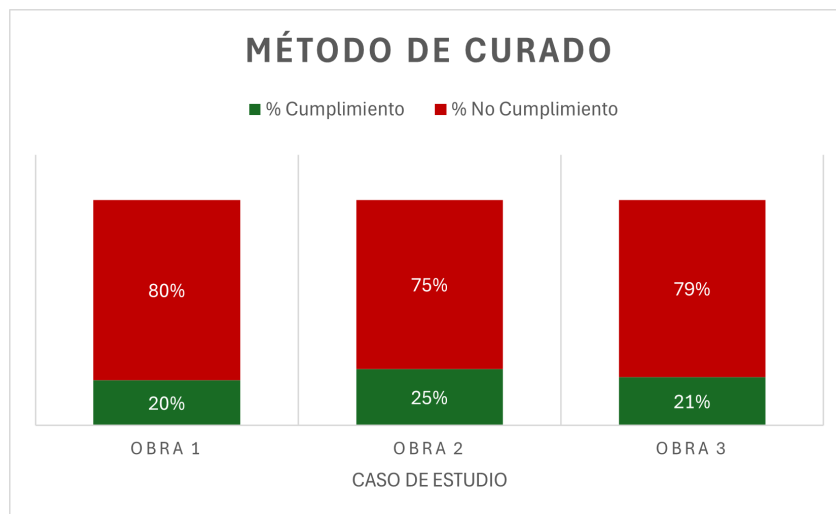


Figura 4.36: Resultados de Método de Curado de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Donde el cumplimiento corresponde a adoptar alguno de los métodos indicados en el capítulo 2.6 del presente Trabajo de Título. Con respecto a la Figura 4.35, se observa que todos los casos de estudio presentan porcentajes de incumplimiento muy elevados. En cuanto a la Obra 1 (4.35a), ésta presentó un incumplimiento de un 80 %, mientras que la Obra 2 (4.35b) y Obra 3 (4.35c) presentaron un 75 % y 79 % de no cumplimiento respectivamente. Es importante destacar que en los tres casos de estudio el cumplimiento del método de curado sólo se daba en los elementos estructurales de losas, ya que éstas eran curadas mediante riego periódico. En el caso de muros, pilares y vigas, no se realizaba ningún tipo de curado, lo que se refleja en el elevado incumplimiento obtenido. Lo anterior corresponde a una discordancia con las EETT respectivas, las cuales especificaban curado para todos los elementos estructurales.

- **Plazo de Curado:** Con respecto a los resultados obtenidos de este indicador, se tiene lo siguiente:

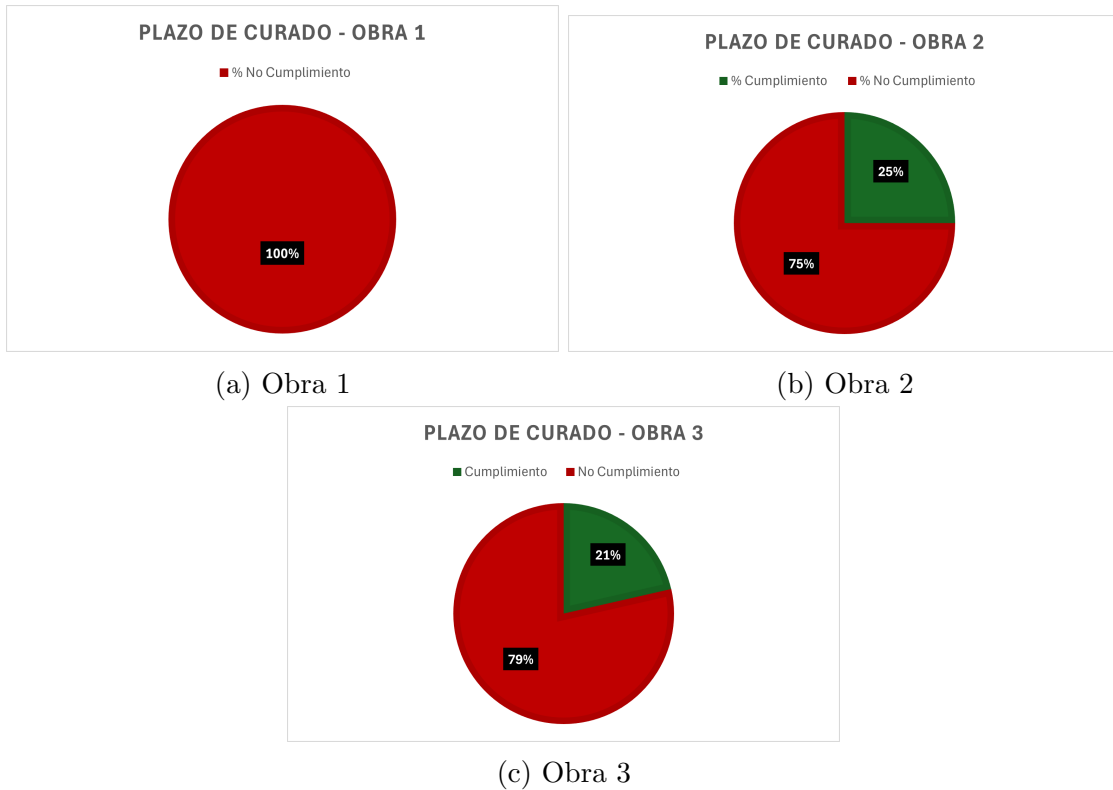


Figura 4.37: Resultados de Plazo de Curado de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para un mejor entendimiento, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

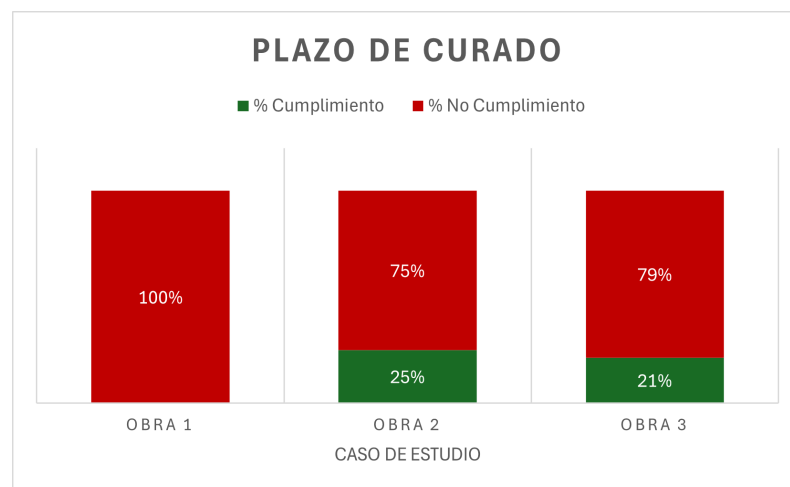


Figura 4.38: Resultados de Plazo de Curado de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Se debe mencionar que el cumplimiento corresponde a que los casos de estudio realicen el curado de los elementos estructurales por lo menos durante 7 días, según lo indica NCh 170:2016. Entonces, a partir de la Figura 4.37, se observa que evidentemente la Obra 1 (4.37a) es aquella con el peor desempeño del indicador, logrando un 100% de incumplimiento. En cuanto a la Obra 2 (4.37b) y Obra 3 (4.37c), se obtuvo un porcentaje de cumplimiento de un 25% y 21% respectivamente. En el caso de estas dos obras, es importante mencionar que el porcentaje de cumplimiento coincide con los mismos mostrados anteriormente, es decir, que el curado de las losas era realizado en el plazo correcto, según lo exigido en las EETT del respectivo proyecto. Sin embargo, en el caso de la Obra 1, el curado de dichos elementos estructurales solamente se realizaba en un plazo no mayor a tres días.

- **Plazo de Desmolde:** Este indicador presentó los siguientes resultados:

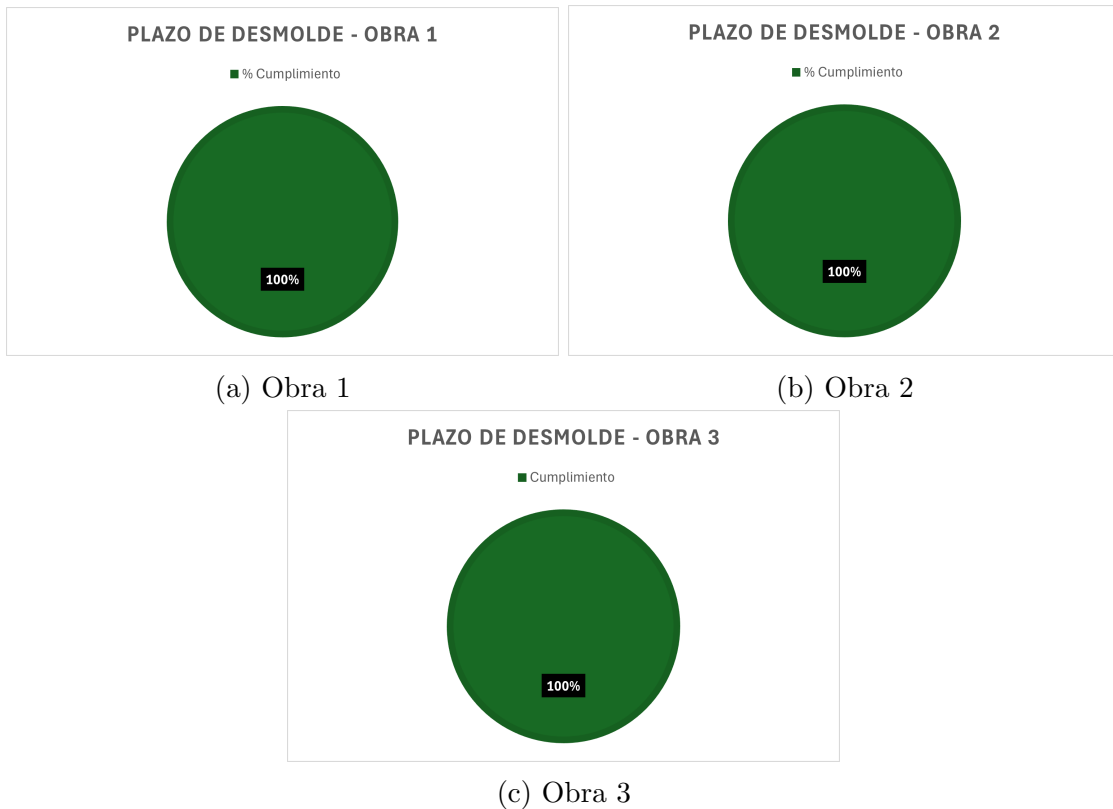


Figura 4.39: Resultados de Plazo de Desmolde de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para una mayor comprensión, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

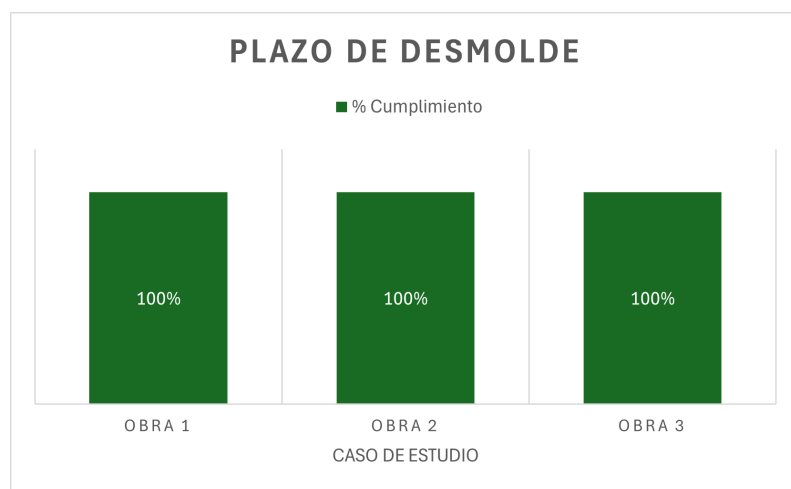


Figura 4.40: Resultados de Plazo de Desmolde de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Donde el cumplimiento corresponde a realizar el desmolde de los elementos estructurales en los plazos establecidos en el capítulo 2.6 del presente Trabajo de Título, lo cual es información obtenida de NCh 170:2016. Con respecto a la Figura 4.39, se puede observar que tanto la Obra 1 (4.39a), como la Obra 2 (4.39b) y 3 (4.39c) tienen un cumplimiento total de este indicador. En particular, los elementos de muros, pilares y vigas se desmoldaban en un plazo mayor a lo indicado normativamente y en las EETT respectivas, lo cual se acentuaba aún más en el caso de las losas. Por lo que todos los casos de estudio cumplían las exigencias de los mencionados documentos.

- **Plazo de Descimbre:** Con respecto a los resultados obtenidos de este indicador, se tiene lo siguiente:

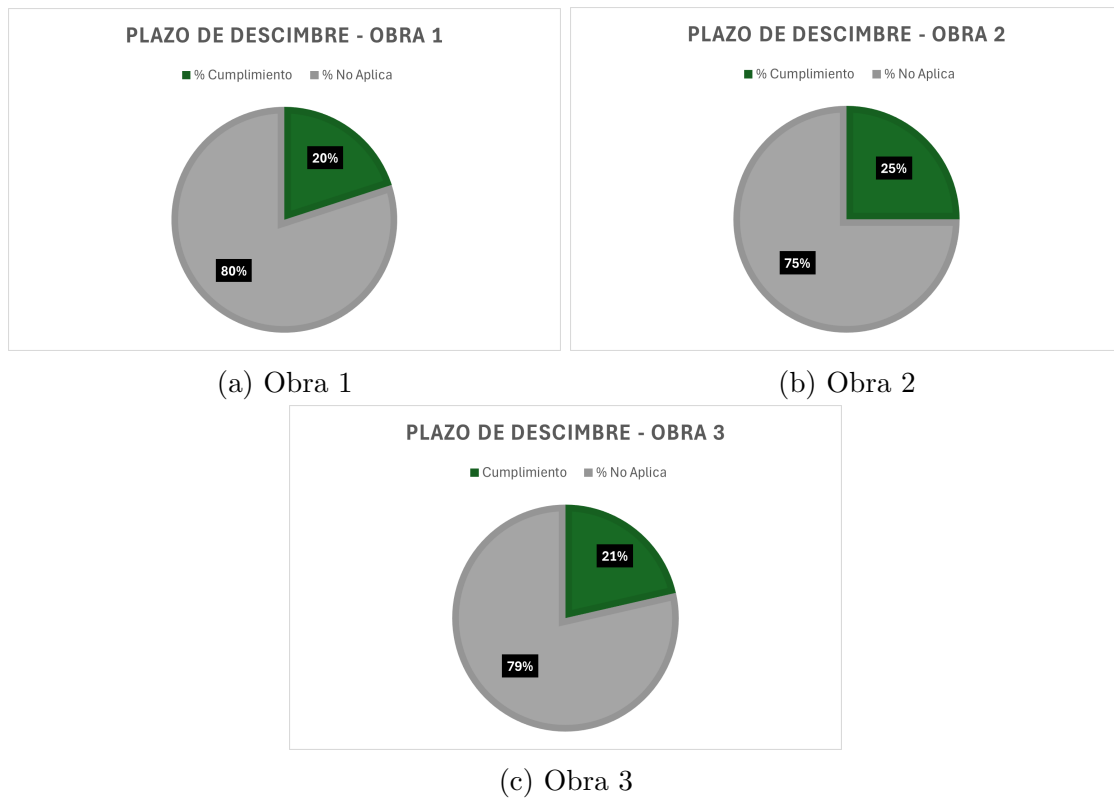


Figura 4.41: Resultados de Plazo de Descimbre de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para un mejor entendimiento, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

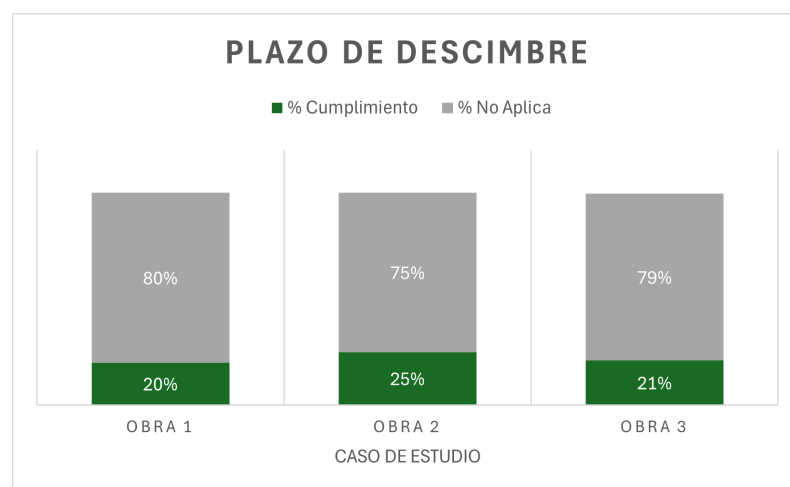


Figura 4.42: Resultados de Plazo de Descimbre de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Se debe mencionar que el cumplimiento corresponde a lo indicado en las EETT respectivas y a los plazos indicados en el capítulo 2.6 del presente Trabajo de Título. Entonces, a partir de la Figura 4.41, se observa que en todos los casos de estudio se tenía un cumplimiento total en caso de poder ser aplicado el indicador, es decir, en los elementos estructurales tipo losas. Se destaca que tanto la Obra 1 (4.41a), como la Obra 2 (4.41b) y 3 (4.41c), el porcentaje de cumplimiento coincide con el de método de curado (Figura 4.35), evidenciando que siempre se cumplió el plazo de descimbre en todas las losas analizadas. Lo anterior es concordante con lo que exigen las EETT respectivas, las cuales son particularmente muy detalladas en este indicador.

4.2.4. Etapa de Aceptación/Rechazo de Hormigón

A continuación, se presentan los resultados relativos a los indicadores medidos en terreno de la etapa mencionada.

- **Evaluación Estadística:** Este indicador presentó los siguientes resultados:

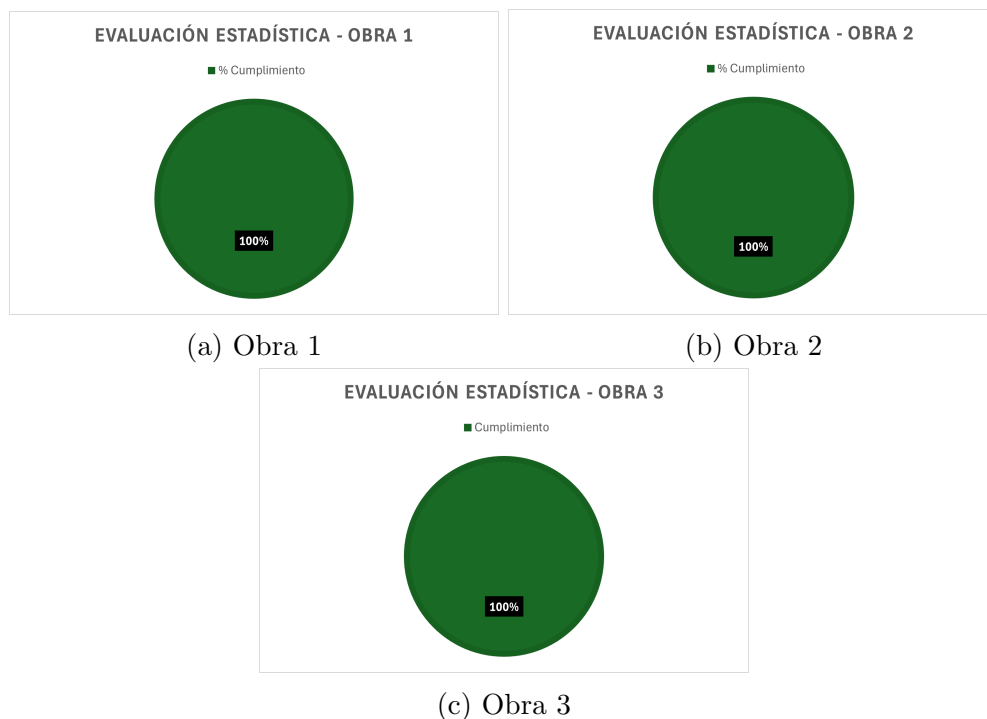


Figura 4.43: Resultados de la Evaluación Estadística de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para una mayor comprensión, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

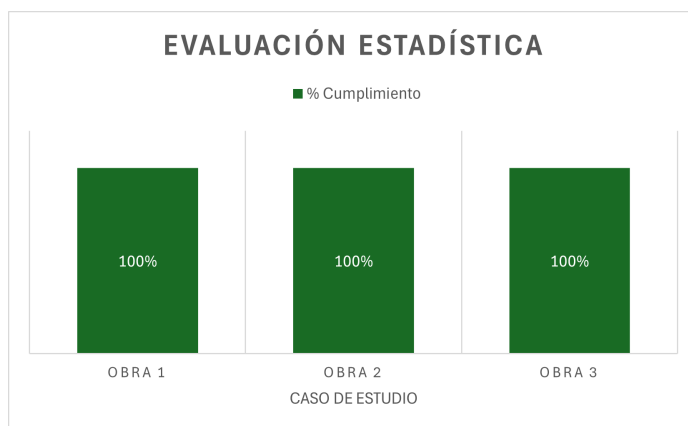


Figura 4.44: Resultados de Evaluación Estadística de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Donde el cumplimiento corresponde a obtener resultados positivos en la evaluación estadística de las probetas de hormigón, según lo indicado en NCh 1998:1989. Con respecto a la Figura 4.43, se observa que tanto la Obra 1 (4.43a) como la Obra 2 (4.43b) y 3 (4.43c) presentan un porcentaje de cumplimiento completo, es decir, que la evaluación estadística de las probetas ensayadas entregó como resultado que la resistencia de ellas cumplía con la resistencia especificada de los respectivos proyectos. Debido a lo anterior, en ningún caso de estudio fue necesaria la extracción y ensayo de testigos.

4.2.5. Etapa de Posibles Reparaciones

A continuación, se presentan los resultados relativos a los indicadores medidos en terreno de la etapa mencionada.

- **Medidas para Reparación de Nidos:** Con respecto a los resultados obtenidos de este indicador, se tiene lo siguiente:

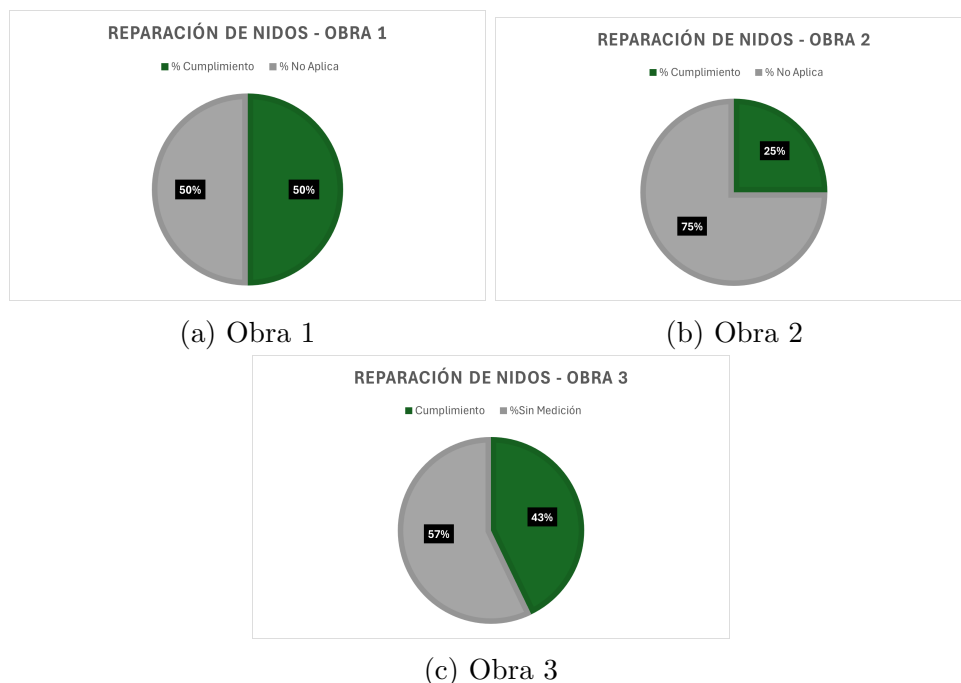


Figura 4.45: Resultados de Reparación de Nidos de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para un mejor entendimiento, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

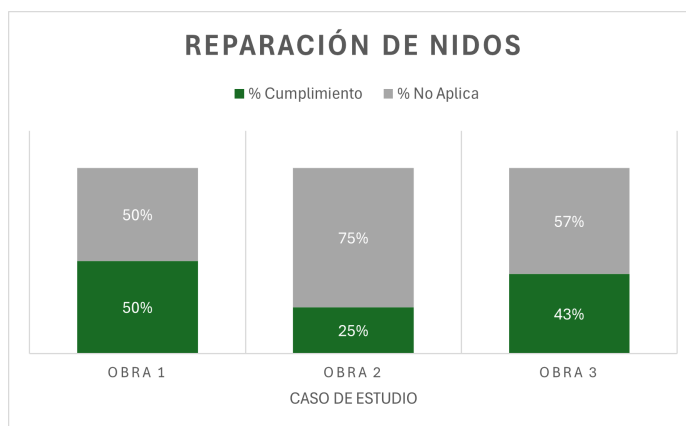


Figura 4.46: Resultados de Reparación de Nidos de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Se debe mencionar que el cumplimiento corresponde a adoptar las medidas de reparación indicadas en las respectivas EETT, en el caso de la existencia de algún nido en los elementos estructurales analizados. Entonces, a partir de la Figura 4.45, se observa que en el caso de la Obra 1 (4.45a), ésta fue la que presentó la mayor cantidad de nidos, ya que tiene el mayor porcentaje de cumplimiento de reparación. Lo anterior es concordante con el desempeño de dicho caso de estudio en el proceso de compactación de hormigón, en el cual tuvo el peor rendimiento en la mayoría de los indicadores asociados a dicho proceso. En cuanto a la Obra 2 (4.45b), ésta sólo tuvo un 25 % de aparición de nidos, el cual fue el mejor desempeño obtenido en este indicador. Con respecto a la Obra 3 (4.45c), a pesar de obtener un muy buen rendimiento en la fase de compactación de hormigón, presentó un elevado 43 % de presencia de nidos, lo cual probablemente sea producto de la gran altura de vaciado.

- **Medidas para Reparación de Terminación:** Este indicador presentó los siguientes resultados:

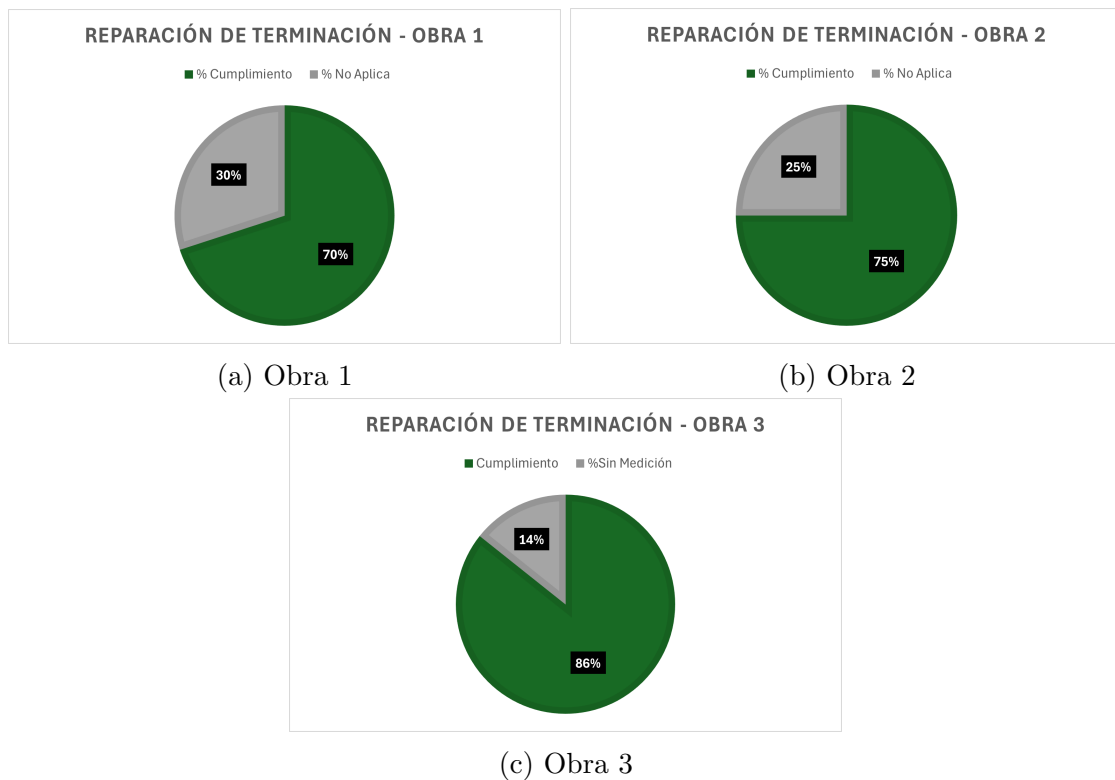


Figura 4.47: Resultados de Reparación de Terminación de Hormigón de los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

Para una mayor comprensión, también se presentan los resultados mediante un gráfico de columnas apiladas:

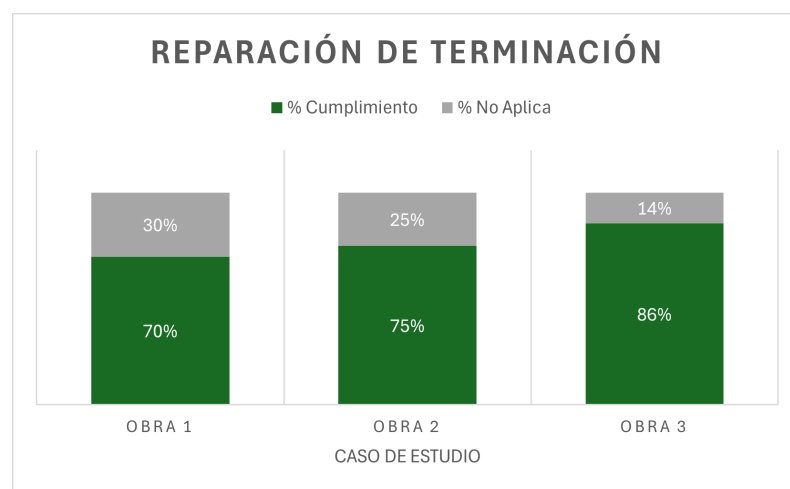


Figura 4.48: Resultados de Reparación de Terminación de los Casos de Estudio (Gráfico de Columnas). Fuente: Elaboración Propia.

Donde el cumplimiento corresponde, al igual que en el caso anterior, a adoptar las medidas de reparación indicadas en las respectivas EETT. Con respecto a la Figura 4.47, se obtuvo que en todos los casos de estudio fue necesaria una elevada reparación superficial, la cual se hacía siguiendo las EETT respectivas, o en su defecto, la ET del ICH (ET 004:06 Tolerancias Dimensionales en Elementos de Hormigón Armado, 2006). Se destaca que la Obra 2 (4.47b) y Obra 3 (4.47c) fueron las que requirieron de la mayor reparación de terminación.

Es importante mencionar que las reparaciones de la Obra 2 (Figura 2.16b) se debían principalmente a micro segregaciones producto de la unión entre placas de moldaje. Mientras que en la Obra 1 y Obra 3, además de lo mencionado anteriormente, las reparaciones se debían principalmente a terminaciones deficientes del elemento en sus aristas (Figura 2.16c) o fondos (Figura 2.16a). En cuanto a las reparaciones de nidos, y como se pudo evidenciar, todos los casos de estudio tuvieron que realizarlas, observándose principalmente en elementos densamente armados o con gran altura de vaciado.

4.3. Niveles de Cumplimiento

Para un mayor entendimiento de los resultados presentados anteriormente, se procedió a la realización de un análisis de niveles de cumplimiento de cada una de las etapas del proceso de hormigonado. Para lo anterior, fueron utilizados los gráficos radiales, ya que de esa forma fue posible analizar cada una de las variables involucradas en las diferentes etapas. Entonces, utilizando los resultados mostrados anteriormente y combinando en cada gráfico los tres casos de estudio analizados, se obtuvo el desempeño global de cada una de las obras.

Se analizó cada una de las etapas del proceso, de manera de realizar una radiografía de cómo está la industria de la construcción en cuanto al desempeño en el proceso de hormigonado. Esto permitió analizar de manera visual cómo se comportó cada uno de los casos de estudio y cuáles son los que presentan un bajo desempeño en alguna de las etapas, identificando también las principales causas de las deficiencias en el producto final.

También, se presentan los resultados tabulados para tener la posibilidad de una interpretación más directa de ellos. Los datos fueron categorizados en tres niveles de cumplimiento, alto, medio y bajo. En el caso del primero, se denominará un alto cumplimiento a aquellos indicadores que tengan un porcentaje de cumplimiento mayor o igual a 80%. Por el contrario, un bajo cumplimiento corresponden a todos aquellos indicadores con un porcentaje de cumplimiento inferior al 50%. En el caso de un cumplimiento medio, son todos aquellos indicadores con porcentajes de cumplimiento mayor o igual a 50% pero menores a 80%.

- **Etapas de Fabricación Hormigón Premezclado y Transporte:** A continuación, en la Figura 4.49, se presentan los resultados para esta etapa del proceso de hormigonado:

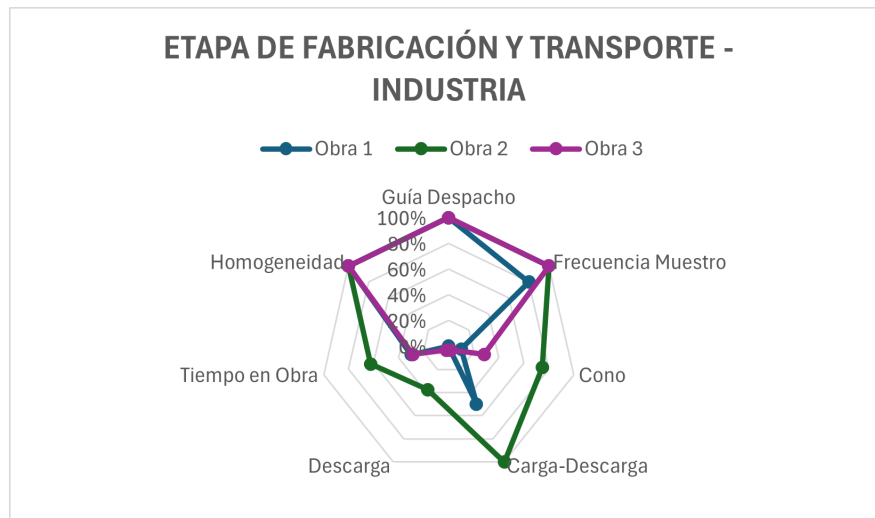


Figura 4.49: Niveles de Cumplimiento Etapa Fabricación y Transporte de la Industria. Fuente: Elaboración Propia.

Donde se observa que a nivel de los tres casos de estudio existen problemas de desempeño en cuanto a los tiempos en obra y de descarga de los camiones mezcladores. Lo anterior tiene directa relación, entre varias razones, a que dichos indicadores no se encuentran especificados en las EETT, lo cual, en caso de exigirse, podría ayudar bastante a mejorar este aspecto. Sin embargo, en otros aspectos como guía de despacho, homogeneidad y frecuencia de muestreo, todas las obras analizadas presentan buen rendimiento. En el caso del asentamiento de cono y el tiempo de carga y descarga, la Obra 2 tiene excelentes resultados, indicando que es posible lograr un buen rendimiento en dichos indicadores y resaltando nuevamente el beneficio del uso de bomba para el transporte de hormigón en obra. Por lo que se puede generar una mejoría en la Obra 1 y 3 para llegar a esos niveles de cumplimiento, pero en cuanto a los dos aspectos que se mencionaron primero, se debe hacer una mejoría a nivel general.

En base a los resultados obtenidos, y para una mejor comprensión de ellos, se presenta la siguiente tabla resumen con los niveles de cumplimiento de cada indicador:

Cumplimiento Etapa de Fabricación y Transporte			
Indicador	Obra 1	Obra 2	Obra 3
Guía Despacho	Alto	Alto	Alto
Frecuencia Muestreo	Alto	Alto	Alto
Asentamiento Cono	Bajo	Medio	Bajo
Tiempo Carga - Descarga	Medio	Alto	Bajo
Tiempo Descarga	Bajo	Bajo	Bajo
Tiempo en Obra	Bajo	Medio	Bajo
Homogeneidad	Alto	Alto	Alto

Tabla 4.1: Niveles de Cumplimiento Tabulados Etapa Fabricación y Transporte. Fuente: Elaboración Propia.

Donde es posible identificar de manera más directa lo que se indicó anteriormente, es decir, el desempeño de cada uno de los casos de estudio en los indicadores analizados.

- **Etapa de Colocación, Compactación y Terminación:** En la Figura 4.50 se observan los resultados para la mencionada etapa.

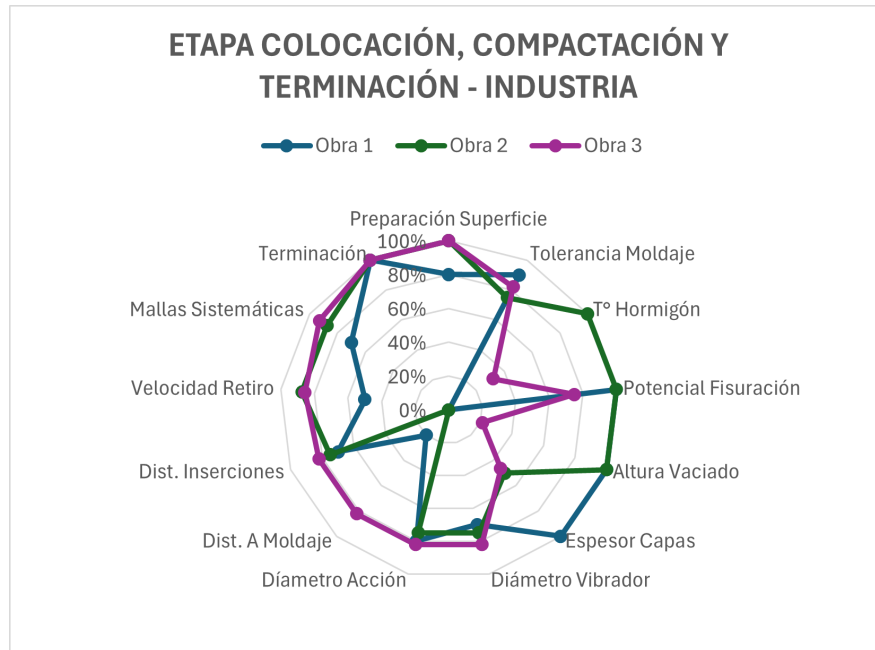


Figura 4.50: Niveles de Cumplimiento Etapa Colocación, Compactación y Terminación de la Industria. Fuente: Elaboración Propia.

Donde es posible evidenciar que si los tres casos de estudio se combinaran, lograrían un desempeño casi perfecto en esta etapa. Se destaca que las deficiencias de la Obra 1 y 2 en cuanto a los aspectos de vibrado, la Obra 3 los cumple de muy buena manera. Mientras que las deficiencias de esta última y la Obra 2 en cuanto a espesor de capas, la Obra 1 las suple y logra un desempeño perfecto. También, en cuanto a la temperatura de hormigón y potencial de fisuración, la Obra 2 logró un muy buen rendimiento. De esta manera, queda demostrado que los aspectos de esta etapa son posibles de cumplir, y que simplemente se debe realizar un buen control del proceso y tener una robusta EETT que hable de todos estos aspectos, ya que la relación de esto último con cada uno de los indicadores de las Listas de Chequeo es directo, es decir, en caso de ser exigido en dicho documento por lo general logra un muy buen desempeño en terreno. En cuanto a los aspectos de terminación y tolerancias de moldaje respecto a niveles y plomos, los tres casos de estudio obtuvieron un correcto rendimiento, siendo perfecto en el caso de la terminación superficial. Finalmente, se destaca la importancia de un correcto proceso de vibrado, ya que un desempeño deficiente se tradujo en una elevada presencia de nidos y reparaciones en terreno, así como también una correcta altura de vaciado, que también tiene una relación directa con lo mencionado.

A continuación, se presentan los niveles de cumplimiento tabulados para la mencionada etapa:

Cumplimiento Colocación, Compactación y Terminación			
Indicador	Obra 1	Obra 2	Obra 3
Preparación Superficie	Alto	Alto	Alto
Tolerancia Moldaje	Alto	Medio	Alto
Temperatura de Hormigón	Bajo	Alto	Bajo
Potencial Fisuración	Alto	Alto	Medio
Altura Vaciado	Alto	Alto	Bajo
Espesor de Capas	Alto	Medio	Bajo
Diámetro Vibrador	Medio	Medio	Alto
Diámetro de Acción	Alto	Medio	Alto
Distancia a Moldaje	Bajo	Bajo	Alto
Distancia Inserciones	Medio	Medio	Alto
Velocidad de Retiro Vibrador	Medio	Alto	Alto
Mallas Sistemáticas	Medio	Alto	Alto
Terminación de Hormigón	Alto	Alto	Alto

Tabla 4.2: Niveles de Cumplimiento Tabulados Etapa Colocación, Compactación y Terminación. Fuente: Elaboración Propia.

Con lo cual posible identificar de manera más directa el desempeño de cada uno de los casos de estudio en los indicadores analizados.

- **Etapa de Curado y Desmolde de Hormigón:** A continuación, en la Figura 4.51, se presentan los resultados para esta etapa del proceso de hormigonado:

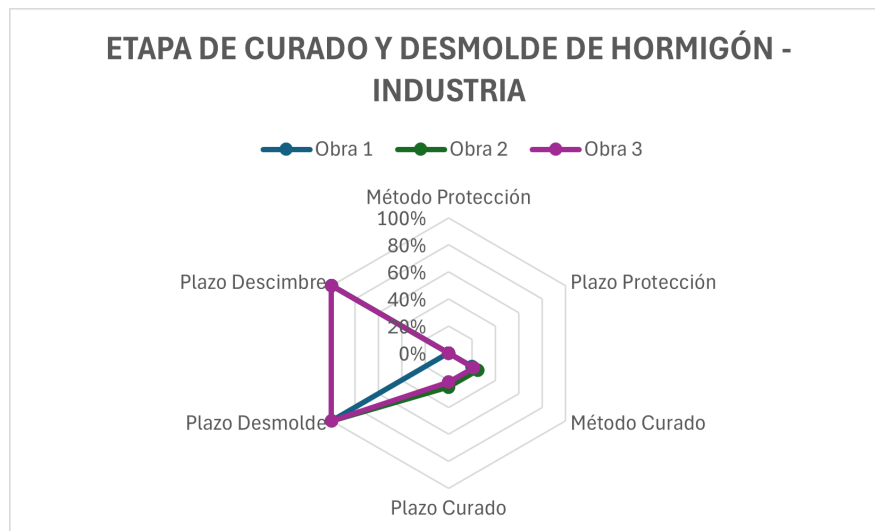


Figura 4.51: Niveles de Cumplimiento Etapa Curado y Desmolde de Hormigón de la Industria. Fuente: Elaboración Propia.

Donde se observa que en esta etapa la industria en su totalidad se encuentra con un muy bajo desempeño, exceptuando los plazos de desmolde y descimbre, los cuales se encontraban especificados en las EETT respectivas. Lamentablemente, en cuanto a métodos y plazos de curado, sólo se cumplía en el caso de las losas en las Obras 2 y 3, mientras que en la Obra 1 sólo se cumplía con el método y no con los plazos. Esto último es preocupante debido a que en general estaba presente en las mencionadas EETT, por lo que es algo que se pasa por alto y no se está considerando en terreno. Con respecto a la protección, ésta no se encontraba especificada en ninguna de las tres EETT, con lo cual es evidente el incumplimiento cuando ésta era necesaria, ya que, y tal como se mencionó anteriormente, en el caso de la Obra 2 se debió proteger dos elementos estructurales debido a lluvia, y en el caso de la Obra 3 se debió proteger varios elementos estructurales debido al elevado potencial de fisuración al momento de hormigonar, lo cual evidentemente no se hizo en ninguno de los casos mencionados. Por lo tanto, nuevamente es necesaria la mejoría a nivel general en estos aspectos.

En base a los resultados obtenidos, se presentan los niveles de cumplimiento tabulados para la mencionada etapa:

Cumplimiento Etapa de Curado y Desmolde			
Indicador	Obra 1	Obra 2	Obra 3
Método de Protección	N/A	Bajo	Bajo
Plazo de Protección	N/A	Bajo	Bajo
Método de Curado	Bajo	Bajo	Bajo
Plazo de Curado	Bajo	Bajo	Bajo
Plazo Desmolde	Alto	Alto	Alto
Plazo Descimbre	Alto	Alto	Alto

Tabla 4.3: Niveles de Cumplimiento Tabulados Etapa Curado y Desmolde de Hormigón. Fuente: Elaboración Propia.

Donde es posible identificar de manera más directa el desempeño de cada uno de los casos de estudio en los indicadores analizados

- **Etapa de Aceptación/Rechazo de Hormigón y Posibles Reparaciones:** En la Figura 4.52 se observan los resultados para la mencionada etapa.

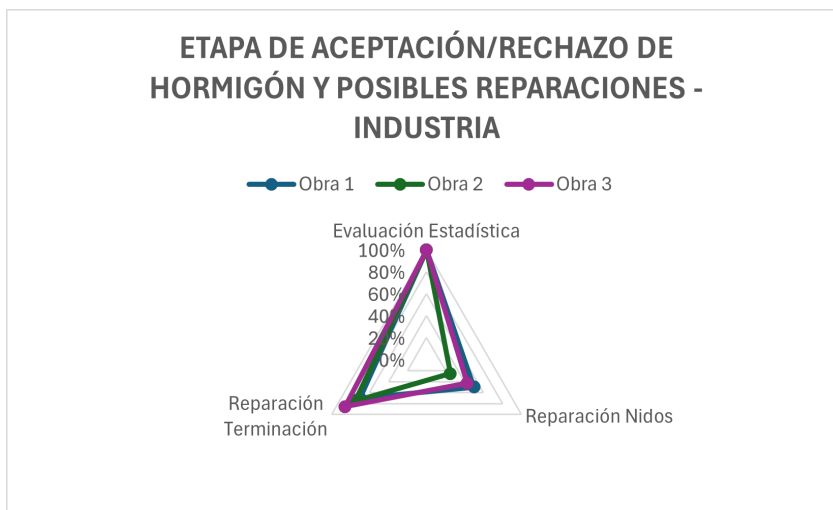


Figura 4.52: Niveles de Cumplimiento Etapa Aceptación/Rechazo de Hormigón y Posibles Reparaciones de la Industria. Fuente: Elaboración Propia.

Donde se observa que la industria, a nivel general, está reparando un porcentaje muy importante de elementos estructurales para lograr las terminaciones superficiales especificadas. En cuanto a la evaluación estadística, se presenta un desempeño de un 100 % en todos los casos de estudio, lo que indica que las plantas productoras de hormigón están entregando un producto que cumple la resistencia especificada en el proyecto. Con respecto a la reparación de nidos, se evidencia de manera gráfica que aquel caso con el peor desempeño en el vibrado (Obra 1) fue el que tuvo que reparar más y gastar más recursos en dichas fallas, mientras que la Obra 2, al tener un buen rendimiento de vibrado, fue la que menos tuvo que reparar deficiencias en el producto final. Sin embargo, en cuanto a la Obra 3, que fue aquella con mejor rendimiento en dicho aspecto, tuvo un elevado porcentaje de reparación de terminación, el cual fue debido a la gran altura de vaciado de sus elementos estructurales verticales, lo cual era abordado en las EETT pero lamentablemente no fue obedecido, así como también, que varios de dichos elementos se encontraban densamente armados, dificultando el proceso de vibrado. Por lo tanto, nuevamente la industria requiere una mejoría a nivel general en estos aspectos.

A continuación, se presentan los resultados tabulados para la mencionada etapa:

Cumplimiento Etapa de Aceptación/Rechazo			
Indicador	Obra 1	Obra 2	Obra 3
Evaluación Estadística	Alto	Alto	Alto
Cumplimiento Etapa de Posibles Reparaciones			
Reparación de Nidos	Medio	Bajo	Bajo
Reparación Terminación	Alto	Alto	Alto

Tabla 4.4: Niveles de Cumplimiento Tabulados Etapa de Aceptación/Rechazo de Hormigón y Posibles Reparaciones. Fuente: Elaboración Propia.

Con lo cual es posible identificar de manera más directa el desempeño de cada uno de los casos de estudio en los indicadores analizados. Es importante mencionar que en la Etapa de Posibles Reparaciones el código de color fue invertido. Lo anterior se debe a que un alto cumplimiento de reparaciones implica que se reparó un mayor número de elementos estructurales, lo que significa a su vez que el resultado final del proceso de hormigonado fue deficiente y tuvo que ser mejorado. Por el contrario, un bajo cumplimiento significa que se obtuvieron mejores resultados y que no fue necesario realizar un gran número de reparaciones.

Capítulo 5

Manual de ITOH Definitivo

5.1. Comentarios de la Aplicación

La verificación de aplicabilidad de la Propuesta de Manual generó muy buenos comentarios y observaciones en los profesionales de terreno con los que se trabajó. Además, fue de gran utilidad para entender los aspectos fundamentales del proceso de hormigonado, evidenciando de manera gráfica y estadística el impacto existente entre las distintas etapas de dicho proceso.

Sin embargo, y tal como se mencionó anteriormente, un aspecto considerable que se observó en terreno es que existen algunos indicadores que resultan muy difíciles de medir, o de los cuales no se tiene conocimiento alguno. Es por ello, que en base a lo anterior se presentarán las modificaciones a las Listas de Chequeo y el Manual Definitivo.

5.2. Modificaciones Realizadas

En base a lo analizado en la verificación de aplicabilidad de la Propuesta de Manual, es que se estimó conveniente una serie de modificaciones a las Listas de Chequeo.

Dichos cambios se relacionan principalmente en obtener un producto que sea más fácil de manipular y aplicar en terreno, de manera tal que no sea tedioso de implementar y que no ocupe exceso de tiempo de los profesionales de terreno. Lo anterior, se traduce en una disminución de hojas de la Propuesta de Manual y la necesidad de que los encargados de la inspección tengan un completo conocimiento de las EETT del respectivo proyecto y las exigencias varias de la normativa nacional. Entonces, la idea de la Propuesta Definitiva es justamente generar Listas de Chequeo de rápido entendimiento y fácil aplicación, donde no sea necesario una gran cantidad de hojas o documentos para su implementación.

Es importante mencionar que para tener un completo entendimiento de lo que será presentado a continuación, se recomienda la lectura de las Listas de Chequeo de la Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón (Gálvez, José Tomás, 2023). A continuación, se presentarán las modificaciones realizadas en cada una de las etapas del proceso de hormigonado definidas en la mencionada Propuesta de Manual.

- **Etapas de Fabricación Hormigón Premezclado y Transportado:** Para esta etapa las modificaciones son las siguientes:

- Eliminación de los ítems de verificación de calidad de materiales componentes, validación y cumplimiento de la dosificación, y condiciones de durabilidad, ya que lamentablemente ninguno de los tres casos de estudio tenía acceso a la información contenida en dichos ítems, la cual debiese ser proporcionada por las respectivas plantas hormigoneras. Se destaca que se decidió dejar el indicador que habla acerca de la verificación de que la guía de despacho del camión agitador indique que el hormigón corresponda al solicitado, lo cual era un aspecto que siempre era revisado en terreno. Además, se agregaron los siguientes indicadores relativos a durabilidad:
 - * Verificación de la toma de medidas preventivas ante la presencia de agente externo, lo cual es información que debe ser entregada por el calculista o proyectista estructural.
 - * Verificación de la toma de medidas preventivas ante la presencia de agente interno, lo cual es información que debe ser entregada por el proveedor de hormigón.

Lo anterior resulta de suma importancia verificarlo, ya que se relaciona con una de las características fundamentales del hormigón, que es su gran durabilidad como material de construcción.

- Se mantienen los ítems de muestreo y recepción de hormigón, eliminando aquellos indicadores que son medidos sólo “si corresponde” el caso. Lo anterior se debe a que dichas situaciones eran abordadas de manera particular en terreno, y era algo que ocurría muy esporádicamente.
- Se agregó en las Listas de Chequeo un espacio para describir el elemento estructural que será hormigonado, su ubicación y la guía de despacho correspondiente, de manera tal de lograr una trazabilidad del hormigón colocado en obra.

- **Etapas de Colocación, Compactación y Terminación:** Con respecto a esta etapa, las modificaciones son las siguientes:

- Se mantienen los indicadores de preparación de superficie, temperatura de hormigón y potencial de fisuración, ya que todos ellos son aspectos fundamentales a controlar en el hormigón si se desea tener un buen resultado final y, de esa forma, reducir eventuales gastos de reparación. Además, como se mencionó anteriormente, en algunos casos no se cumplió con lo establecido en la normativa chilena en cuanto al potencial de fisuración, y lamentablemente no se tomaron las medidas pertinentes en terreno para solucionarlo, por lo que resulta importante mantener el seguimiento del indicador y proteger el hormigón en caso de ser necesario.

- En el caso de tolerancias para moldaje de pilares y muros, se modificó por un indicador de inclusión de cuñas de madera entre armadura y moldaje para cumplir con el revestimiento especificado, y se agregó la verificación de niveles, plomos y trazo, previo y posterior al hormigonado (Figura 5.1a). En cuanto a las tolerancias en losas, vigas y capiteles, se modificó por un indicador de utilización de separadores entre armadura y planchas de moldaje para cumplir con el revestimiento, así como también se agregó la misma verificación mencionada en el caso de pilares y muros (Figura 5.1b). Lo anteriormente descrito correspondía a lo que efectivamente se revisaba en terreno. A continuación, se presentan ejemplos de medición de nivel y plomo observados en los casos de estudio.



(a) Plomo Muro

(b) Nivel Losa

Figura 5.1: Verificación de Plomo y Nivel en los Casos de Estudio. Fuente: Elaboración Propia.

- Se agregaron indicadores de colocación de desmoldante de forma uniforme en el moldaje, verificación de que las uniones entre moldaje sean de forma estanca y hermética, para así evitar micro segregaciones en el hormigón, y verificación de que el apuntalamiento de moldajes fuera realizado de forma adecuada. Lamentablemente lo anterior no era corroborado de buena manera en los casos de estudios, y resulta fundamental ya que permite lograr un buen producto final y evitar sobre costos en reparaciones.
- Se mantiene el ítem de colocación de hormigón. Eliminando el indicador de velocidad de vaciado, ya que éste depende de la capacidad del moldaje, y en todas las obras analizadas dicho moldaje se encontraba subcontratado. Es por lo anterior que la verificación de cumplimiento era realizada por externos, quienes simplemente enviaban el producto a obra, por lo que se decidió eliminar dicho indicador.
- En cuanto a la compactación del hormigón, se mantiene el indicador de diámetro del vibrador. Esto debido a que la utilización de un vibrador que sea compatible con la armadura, es fundamental a la hora de hormigonar elementos estructurales densamente armados. Lo anterior se pudo evidenciar en la mala utilización en terreno de un vibrador de mayor diámetro, resultando en nidos en los elementos estructurales.
- Con respecto a los indicadores de diámetro de acción, distancia de vibrador al moldaje, velocidad de retiro del vibrador y mallas de vibración sistemática, se modifican por lo siguiente:

- * Para el indicador de velocidad de retiro del vibrador, se agrega un ítem de verificación que el retiro sea despacio y que el ingreso sea rápido, penetrando aproximadamente 10 centímetros en la capa anterior.
- * Para los indicadores de diámetro de acción, distancia entre inserciones y mallas sistemáticas, se agrega un ítem de que el vibrado debe realizarse en mallas sistemáticas y no de forma aleatoria.
- * Para el indicador de distancia del vibrador al moldaje, se agrega un ítem de que el vibrado no debe hacerse tocando ni las armaduras ni el moldaje.

Las modificaciones mostradas son debido a la dificultad y peligro existente en terreno para medir las distancias recomendadas al momento de la compactación del hormigón, por lo que se modificó a observaciones simples pero que cumplen con los requisitos de las respectivas EETT y de las recomendaciones en el uso de vibradores de inmersión de Polpaico (Figura 2.11, Obtenida del Manual del Constructor, Polpaico).

- Eliminación de terminación de hormigón, ya que dicho indicador fue separado y agregado a las Etapas de Curado y Desmolde de Hormigón, y de Posibles Reparaciones. Lo anterior se debe a que la forma seleccionada corresponde al orden lógico, y del cual estaban de acuerdo los profesionales de los distintos casos de estudio.
- **Etapa de Curado y Desmolde de Hormigón:** En cuanto a los indicadores de esta etapa, se mantienen todos. Esto se debe a que todos eran aspectos analizados en terreno, a pesar de obtener resultados, en la mayoría de los casos, con niveles de cumplimiento bastante bajos. Además, y como se mencionó anteriormente, se agregó un ítem de terminación de hormigón, el cual contenía lo siguiente:
 - Grado de hormigón según indicaciones del arquitecto. Esto debido a que es muy relevante analizar este indicador, ya que permite entender qué tipo de tratamiento tendrá el elemento estructural para lograr la terminación superficial especificada. Lo anterior, es un ítem que se encuentra presente en las Listas de Chequeo de la Propuesta de Manual, en la Etapa de Posibles Reparaciones.
 - En el caso de muros y pilares, se agrega un ítem de verificación de plomo previo y posterior al hormigonado, con una tolerancia según lo indicado en las respectivas EETT o lo que se acuerde con el proyectista. Lo anterior, es algo que se medía en los tres casos de estudio analizados.
 - En el caso de losas, vigas y capitales, se agrega un ítem de verificación de nivel, idealmente con un nivel láser, previo y posterior al hormigonado, con una tolerancia según lo indicado en el punto anterior. Lo descrito, al igual que el caso de los plomos de muros y pilares, se medía en los tres casos de estudio.
 - **Etapa de Aceptación/Rechazo de Hormigón:** En cuanto a esta etapa, se destaca que se decidió dividirla y agregarla a las etapas de Colocación y Compactación, y de Curado y Desmolde de Hormigón, debido a que de esta manera se lograba un orden más lógico de medición. Entonces, las modificaciones son las siguientes:

- Se mantiene el indicador de evaluación estadística de probetas, ya que es fundamental tanto para el proyectista como para el constructor tener conocimiento si el hormigón utilizado en obra tiene la resistencia especificada. Se eliminan aquellos indicadores que son medidos sólo “si corresponde” el caso. Lo anterior, y tal como se mencionó anteriormente, se debe a que dichas situaciones eran abordadas de manera particular en terreno, y era algo que ocurría esporádicamente. Sin embargo, en el caso de la evaluación de testigos, se agrega de igual manera a las Listas de Chequeo, ya que en caso de existir la necesidad, es muy importante mantener un seguimiento de la resistencia de éste.
- En cuanto a la terminación superficial, se eliminó en su totalidad dicho ítem, modificándolo por lo siguiente:
 - * En cuanto a los pilares y muros, se agregó un ítem de chequeo de niveles, plomos, cuadraturas y trazado de los elementos, lo cual era efectivamente revisado en los tres casos de estudio y fue incluido en el indicador de Terminación Superficial.
 - * En relación a las losas, vigas y capiteles, se agregó un ítem de chequeo de niveles, planeidad, cuadraturas y trazado, ya que, tal como se mencionó anteriormente, efectivamente se realizaba en terreno y también fue incluido en el indicador de Terminación Superficial.
 - * Se agregó también un ítem de realización de un levantamiento topográfico de la obra en su totalidad, para verificar desviaciones de plomo y nivel de manera global.

De esta manera, se optimizó de forma muy considerable la verificación de cuadraturas, planeidad y variaciones de los elementos estructurales con respecto a los planos de proyecto. Se destaca que las mediciones de nivel y plomo de dichos elementos eran realizadas de la misma manera que en la Figura 5.1, sin embargo, éstas se realizaban sin los respectivos moldajes.

- Eliminación del ítem de fisuras no estructurales, el cual sólo se mantuvo en la etapa de Posibles Reparaciones, en la cual se debe analizar la existencia de dicha falla y si se reparó de manera adecuada. Lo anterior, se debe nuevamente a que de esta manera se sigue un orden lógico de medición.

● **Etapas de Posibles Reparaciones:** Con respecto a esta etapa, las modificaciones son las siguientes:

- Se mantienen todos los ítems de reparación de nidos, reparación de terminación superficial, reparación de fisuras y evaluación estadística. Sin embargo, se agrega distinción entre el tipo de nido (Figura 2.14) presente en el elemento estructural, es decir, si éste es superficial, profundo o estructural. En cuanto a la terminación superficial, es de suma relevancia indicar cuál o cuáles de las recomendaciones de la Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón (Gálvez, José Tomás, 2023) fueron abordadas, como por ejemplo, las indicadas en la Figura 2.13.
- Se agrega un ítem de micro segregación, para poder analizar y actuar en caso de que la unión entre placas de moldaje esté generando alguna repercusión en el producto final.

Además de todo lo mencionado anteriormente, se destaca que el indicador acerca de equipos disponibles en obra, el cual estaba en varias de las etapas del proceso de hormigonado, fue eliminado. Lo anterior, se debe a que en todos los casos de estudio se tenían un gran número de equipos, tanto de reserva como para la ejecución del trabajo, por lo que en ningún caso fue un impedimento para un correcto desempeño de éste.

5.3. Listas de Chequeo Definitivas

En base a lo descrito anteriormente, es que surgen las Listas de Chequeo definitivas para edificación en altura, las cuales corresponden a modificaciones de aquellas presentes en la Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón. Es importante mencionar, que en las Listas que serán presentadas, y con el objetivo de agilizar su implementación, se juntó la Etapa de Colocación, Compactación y Terminación con la de Aceptación/Rechazo de Hormigón. Además, en la Etapa de Curado y Desmolde de Hormigón, se agregaron indicadores de terminación, tal como se mencionó en las modificaciones.

Por lo tanto, las Listas Definitivas son las siguientes:

- **Etapa de Fabricación Hormigón Premezclado y Transporte:** A continuación, en la Figura 5.2, se presenta la Lista Definitiva de la mencionada etapa.

CHECK LIST ETAPA DE FABRICACIÓN HORMIGÓN PREMEZCLADO Y TRANSPORTE						
Descripción Elemento Estructural y Ejes:		Piso:		Fecha:		N° Guía:
Ítem	Descripción	¿Cumplimiento?			Observaciones/Valores	
1	Hormigón Solicitado	SI	NO	N/A		
1.1	Hormigón Corresponde al Solicitado.					
Ítem	Descripción	¿Cumplimiento?			Observaciones/Valores	
2	Condiciones de Durabilidad	SI	NO	N/A		
2.1	Medidas Preventivas Ante la Presencia de Agente Externo (Según Indicaciones Calculista).					
2.2	Medidas Preventivas Ante la Presencia de Agente Interno (Según Indicaciones Proveedor Hormigón).					
Ítem	Descripción	¿Cumplimiento?			Observaciones/Valores	
3	Muestreo de Hormigón	SI	NO	N/A		
3.1	Toma de Muestra Adecuada (en caso de realizarse).					
3.2	Frecuencia de Muestreo.					
3.3	Toma de Muestra y/o Ensayo Especial					
Ítem	Descripción	¿Cumplimiento?			Observaciones/Valores	
4	Recepción de Hormigón	SI	NO	N/A		
4.1	Cono Inicial					
4.2	Tiempo de Carga y Descarga (Máximo 120 Minutos).					
4.3	Tiempo de Descarga (Máximo 30 Minutos).					
4.4	Tiempo del Camión en Obra (Según Acuerdo Comercial).					
4.5	Ajuste de Docilidad (En Caso de Realizarse y que lo Permitan las EETT).					
4.6	Inspección Visual de Homogeneidad de la Mezcla.					

Figura 5.2: Check List Definitiva de la Etapa de Fabricación Hormigón Premezclado y Transporte. Fuente: Elaboración propia.

- Etapa de Colocación, Compactación y Aceptación/Rechazo de Hormigón:
En la Figura 5.3 se presenta la Lista Definitiva.

CHECK LIST ETAPA DE COLOCACIÓN, COMPACTACIÓN Y ACEPTACIÓN/RECHAZO DEL HORMIGÓN					
Item	Descripción	¿Cumplimiento?			Observaciones/Valores
		SI	NO	N/A	
1 Condiciones Hormigonado					
1.1	Limpieza y Preparación de Superficie				
1.2	Pilares y Muros: Cufas entre Armadura y Moldaje para Cumplir con Revestimiento.				
1.3	Losas, Vigas y Capiteles: Separadores entre Armadura y Planchas para cumplir con Revestimiento.				
1.4	Colocación de Desmoldante de Forma Uniforme en el Moldaje				
1.5	Uniones entre Moldajes de Forma Estanca y Hermética.				
1.6	Apuntalamiento de Moldajes de Forma Adecuada.				
1.7	Temperatura del Hormigón (entre 5°C y 35°C)				
1.8	Cálculo de Potencial de Fisuración				
2 Colocación Hormigón					
2.1	Altura de Vaciado Adecuada (Según Indicaciones de EETT)				
2.2	Colocación de Hormigón en Capas, de Espesor Uniforme (Según Indicaciones de EETT).				
2.3	En Caso de Tiempo Frio, Adoptar Medidas.				
2.4	En Caso de Tiempo de Alta Evaporación, Adoptar Medidas.				
3 Compactación Hormigón					
3.1	Compatibilidad Vibrador con Armadura				
3.2	Velocidad de Entrada (rápido) y Salida (lenta) del Vibrador.				
3.3	Vibrador 10 cm en la Capa Anterior y Mantener de 10 a 15 segundos antes de Extraer				
3.4	Vibrado de Forma Ordenada y Sistemática.				
3.5	Vibrado sin Contacto con Armaduras ni Moldaje.				
3.6	Finalización de Vibrado cuando la Superficie está Cerosa y Brillante, sin Presencia de Burbujas.				
4 Verificación de Ejes y Niveles					
4.1	Pilares y Muros: Chequeo de Niveles, Plomos y Trazado de los Elementos Previo a Hormigonar.				
4.2	Pilares y Muros: Chequeo de Niveles, Plomos y Trazado de los Elementos Posterior a Hormigonar.				
4.3	Losas, Vigas y Capiteles: Chequeo de Niveles y Trazado de los Elementos Previo a Hormigonar.				
4.4	Losas, Vigas y Capiteles: Chequeo de Niveles y Trazado de los Elementos Posterior a Hormigonar.				
4.5	Realización del Levantamiento Topográfico del Elemento Estructural.				
4.6	Verificación Posición Enfermedad Vertical (No Deben Existir Variaciones)				
5 Evaluación Estadística					
5.1	Evaluación Estadística Probetas				
5.2	Evaluación Estadística de Testigos				

Figura 5.3: Check List Definitiva de la Etapa de Colocación, Compactación y Aceptación/Rechazo de Hormigón. Fuente: Elaboración propia.

- **Etapa de Curado, Desmolde y Terminación de Hormigón:** A continuación, en la Figura 5.4, se presenta la Lista Definitiva de la mencionada etapa.

CHECK LIST ETAPA DE CURADO, DESMOLDE Y TERMINACIÓN DE HORMIGÓN					
Ítem	Descripción	¿Cumplimiento?			Observaciones/Valores
		SI	NO	N/A	
1	Protección de Hormigón (en caso de ser necesario)				
1.1	Método de Protección (Según Indicaciones de NCh170).				
1.2	Plazo de Protección (Según Indicaciones en Obra).				
Ítem	Descripción	¿Cumplimiento?			Observaciones/Valores
		SI	NO	N/A	
2	Curado de Hormigón				
2.1	Método de Curado (Según Indicaciones de EETT).				
2.2	Plazo de Curado (Según Indicaciones de EETT o NCh170).				
Ítem	Descripción	¿Cumplimiento?			Observaciones/Valores
		SI	NO	N/A	
3	Desmolde y Descimbre de Hormigón				
3.1	Pilares y Muros: Plazo para Desmolde (Según Indicaciones de EETT).				
3.2	Losas, Vigas y Capiteles: Plazo para Desmolde (Según Indicaciones de EETT).				
3.3	Losas, Vigas y Capiteles: Plazo para Descimbre (Según Indicaciones de EETT).				
Ítem	Descripción	¿Cumplimiento?			Observaciones/Valores
		SI	NO	N/A	
4	Terminación de Hormigón				
4.1	Grado de Hormigón				
4.2	Pilares y Muros: Chequeo de Niveles, Plomos, Cuadratura y Trazado de los Elementos.				
4.3	Losas, Vigas y Capiteles: Chequeo de Niveles, Planeidad, Cuadratura y Trazado de los Elementos.				

Figura 5.4: Check List Definitiva de la Etapa de Curado, Desmolde y Terminación de Hormigón. Fuente: Elaboración propia.

- **Etapa de Posibles Reparaciones:** En la Figura 5.5 se presenta la Lista Definitiva.

CHECK LIST ETAPA DE POSIBLES REPARACIONES					
Ítem	Descripción	¿Se Observa?			Observaciones/Valores
		SI	NO	N/A	
1	Reparaciones del Elemento Estructural				
1.1	No Requiere de Reparación				
1.2	Nido Superficial (Compromete Sólo el Recubrimiento del Elemento).				
1.3	Nido Profundo (Profundizado Detrás de la Enfierradura, Sin Atravesar el Elemento).				
1.4	Nidos Estructurales (Profundizado Detrás de la Enfierradura, Pudiendo o no Atravesar el Elemento).				
1.5	Micro Segregación (Producto de la Unión del Moldaje)				
1.6	Fisuras No Estructurales				
1.7	Terminación Superficial (Verificar el Tipo de Tratamiento según Grado de Hormigón).				
Ítem	Descripción	¿Cumplimiento?			Observaciones/Valores
		SI	NO	N/A	
2	Corroboración Evaluación Estadística (sólo en caso de no cumplir con la Evaluación Estadística)				
2.1	Cumplimiento de Criterio del Proyectista Estructural				

Figura 5.5: Check List Definitiva de la Etapa de Posibles Reparaciones. Fuente: Elaboración propia.

Con lo cual se obtienen Listas de Chequeo más fáciles de interpretar y de manipular en terreno, que siguen un orden lógico de medición, lo que permite hacer un seguimiento continuo del elemento estructural. Lo anterior será de suma utilidad para detectar fallas en el proceso de hormigonado y relaciones directas entre los diferentes indicadores, permitiendo gestionar de mejor manera los recursos y evitar sobre costos por posibles reparaciones.

Capítulo 6

Conclusiones

La industria de la Construcción es vital para la economía y desarrollo del país, y uno de los materiales más utilizados en la industria corresponde precisamente al hormigón. Es por ello que el desarrollo de una Propuesta de Manual de Inspección Técnica de Obras de Hormigón (Gálvez, José Tomás, 2023) exclusiva para Edificación en Altura resulta de suma utilidad, ya que es necesario lograr un adecuado control de la calidad del proceso de hormigonado, material que ya se observó es ampliamente utilizado en una industria que es fundamental en la economía del país. Sin embargo, no basta sólo con el desarrollo de la Propuesta de Manual, sino que éste se debe aplicar en terreno y verificar su aplicabilidad en escenarios reales. Es por lo anterior que se realizó dicha verificación, realizando algunas modificaciones para obtener así un Manual que sea efectivo y optimizado de aplicar en terreno, siendo ello el objetivo principal de este Trabajo de Título. Adicionalmente, se desarrollaron tres objetivos específicos.

En cuanto al primero de ellos, éste consistía en la realización de un levantamiento de la Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón y las Especificaciones Técnicas, Procedimientos e Instructivos de los casos de estudio. Para lograr lo anterior, fue necesaria la lectura completa de la Propuesta Manual así como también la impresión de las Listas de Chequeo presentes en ésta para poder aplicarlas en terreno. También, se realizó una lectura complementaria de las normativas principales asociadas al proceso de hormigonado, como es el caso de NCh170:2016, NCh163:2013, NCh171:2008, NCh1017:2009, NCh1019:2009, NCh1934:1992 y NCh1998:1989. De esta forma se entendió en su totalidad el proceso de hormigonado y sus distintas etapas, de manera tal de realizar una correcta aplicación de las Listas de Chequeo. En cuanto al levantamiento de las EETT, Instructivos y Procedimientos, se procedió a la selección de los tres casos de estudio, y en ellos se solicitó dicha documentación. Con ello, se realizaron las respectivas lecturas y se realizó una comparación entre las obras analizadas, de manera tal de poder observar cuál o cuáles contenían una mayor especificación en cuanto a las etapas del proceso de hormigonado. Todo ello se encuentra en las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3. Con lo anterior, se da cumplimiento al primer objetivo.

Con respecto al segundo objetivo específico, éste consistía en la confección de un plan de medición para verificar la aplicabilidad de la Propuesta de Manual, así como también presentar los resultados de los distintos parámetros medidos en terreno. En cuanto al plan de medición, la manera en que se verificó el cumplimiento de los parámetros de conformidad presentes en las Listas de Chequeo fue simplemente un seguimiento de éstas, entendiendo lo anterior como ir analizando cada una de las etapas del proceso de hormigonado, tal como estaban establecidas en la Propuesta de Manual. Con ello, y la utilización de la Memoria de José Tomás, fue posible hacer seguimiento del proceso completo en los diferentes elementos estructurales analizados. Con respecto a los resultados obtenidos de lo anterior, éstos fueron presentados en gráficos circulares, en los cuales era directo el análisis de cumplimiento, incumplimiento o no fue posible realizar la medición (o en su defecto, que no aplica) de los indicadores de las Listas de Chequeo, con lo cual se realizó una comparación entre los diferentes casos de estudio, haciendo una relación con el nivel de especificación de las respectivas EETT. Además de lo anterior, se realizaron gráficos radiales para analizar el comportamiento específico de cada obra, así como también a nivel de industria de la construcción, en las diferentes etapas del proceso de hormigonado, y de esa forma relacionar cada una de éstas comparando los tres casos analizados. Todo ello se encuentra detallado en el Capítulo 4. Con lo anterior, se logró el cumplimiento del segundo objetivo.

En cuanto al tercer objetivo específico, éste corresponde a proponer mejoras en los indicadores de las Listas de Chequeo contenidos en la Propuesta de Manual, lo cual se realizó en base a las observaciones de terreno, ya que fue posible evidenciar limitaciones de información y problemáticas para realizar ciertas verificaciones. Lo anterior se encuentra detallado en la sección 5.2 del Capítulo 5, donde se analizó cada una de las modificaciones realizadas a cada una de las etapas del proceso de hormigonado. Entonces, con ello se da cumplimiento a dicho objetivo.

Con el desarrollo de los objetivos específicos se logró el cumplimiento del objetivo general del Trabajo de Título, el cual es verificar los parámetros de conformidad que propone el Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón para Edificación en Altura. Es importante mencionar que el presente trabajo tiene como entregable principal las Listas de Chequeo definitivas, que surgen en base a las observaciones y análisis de cada uno de los indicadores de la Propuesta de Manual.

La aplicación de la Propuesta de Manual permitió verificar que éste efectivamente corresponde a un aporte al mundo de la construcción, ya que con él fue posible realizar una inspección técnica de los aspectos asociados al hormigón en los casos de estudio analizados. También, sirvió para evidenciar las relaciones directas que existen entre las diferentes etapas del proceso de hormigonado, y cómo una falla en alguno de los indicadores genera un producto final deficiente. Sin embargo, pese a lo anterior, fue necesaria la realización de modificaciones al mencionado Manual, de manera de obtener una versión optimizada que sea más fácil de aplicar en terreno y contenga aspectos medibles y de los cuales se tenga información en terreno.

Con respecto a los análisis realizados en el Trabajo de Título, fue posible evidenciar de manera directa la importancia de que un proyecto tenga Especificaciones Técnicas robustas, es decir, que contengan especificadas la mayor cantidad de aspectos relacionados a las etapas del proceso de hormigonado. En base a los análisis de resultados, se observó la directa relación entre la especificación de un proceso en las EETT y un buen resultado final, ya que, en general, al estar presente en el mencionado documento los profesionales en terreno son más cuidadosos y se preocupan de cumplir lo especificado, ya que corresponde a un aspecto comprometido de manera contractual.

Uno de los aspectos de mayor impacto en el producto final del proceso correspondía al vibrado de los elementos estructurales. Se pudo observar que aquellos casos de estudio con mayor cantidad de fallas en lo anterior eran justamente los que reparaban el mayor porcentaje de elementos estructurales, así como también se evidenció la influencia de los elementos densamente armados y la altura de vaciado en la calidad del resultado final. Por lo tanto, resulta de suma importancia supervisar y entregar los equipos adecuados para lograr un proceso de vibrado del más alto estándar y así obtener un elemento estructural que no tenga necesidad de ser reparado. Lo anterior se debe traducir en cumplir con lo especificado en el Manual de Constructor de Polpaico en cuanto a los esquemas de vibrado, y a la utilización de vibradores adecuados a la densidad de enfierradura del elemento estructural, o en su defecto, utilizar un hormigón que contenga áridos más finos y que sirva para dichos elementos.

Es importante destacar que los mayores porcentajes de incumplimiento de los casos de estudio se encuentran asociados a los tiempos de descarga de los camiones mezcladores y a todos los aspectos relacionados al curado. Lo anterior es algo que la industria tiene pendiente y debe ser modificado, ya que, con respecto al primer incumplimiento, no se está cumpliendo con lo especificado en la normativa chilena pertinente (NCh 170:2016, Hormigón - Requisitos Generales) y, en cuanto al segundo incumplimiento, se está infringiendo lo especificado en las respectivas EETT, además de la norma mencionada. Si bien se observó que lo anterior no tuvo un impacto en la calidad del producto final, sí es algo que contractualmente debe ser cumplido y no se está haciendo, lo que se transforma en una situación que debe ser corregida. En particular, se evidenció el bajo desempeño del vaciado de camiones mediante capacho en lo que respecta a los tiempos de descarga.

Con las Listas de Chequeo definitivas se tiene una Propuesta de Manual que se encuentra optimizada y es de fácil aplicación en terreno para edificación en altura, así como también los indicadores que se deben medir siguen un orden lógico relacionados con el proceso de hormigonado. Dicho Manual surgió de la aplicación y discusión con los profesionales de terreno de los casos de estudio analizados, de manera de lograr un entregable que se ajuste a sus necesidades y los tiempos que se manejan en proyectos de construcción en altura. Los profesionales en terreno simplemente tienen que ir completando las Listas a medida que se vaya avanzando en las etapas del proceso mencionado, logrando un seguimiento continuo y preciso de los elementos estructurales que se están analizando. Con ello, será posible analizar en qué etapas del hormigonado existe la mayor cantidad de fallas en terreno y cómo esto impacta al producto final, pudiendo orientar los recursos de obra de manera efectiva y solucionar los problemas de raíz, logrando una construcción optimizada y de buena calidad.

Para finalizar, se espera que el presente Trabajo de Título sea un aporte efectivo al mundo de la construcción, ya que se presenta una Propuesta de Manual aplicable y que permite realizar un análisis del proceso de hormigonado en su totalidad, de manera de guiar a las empresas del rubro y optimizar la gestión de los recursos, en particular en obras de edificación en altura.

Bibliografía

- [1] EMB Revista Construcción. *Hormigón - Mucho más que un Material Estructural*. EMB, 2013.
- [2] Matrix Consulting. *Estudio de Productividad: Impulsar la Productividad de la Industria de la Construcción en Chile a Estándares Mundiales*. Cámara Chilena de la Construcción, 2020.
- [3] Corporación de Desarrollo Tecnológico. *Inspección Técnica de Obras: una Mirada al Futuro de la Calidad*. CDT, 2011.
- [4] Instituto Nacional de Normalización. *NCh 1998:1989 Hormigón - Evaluación Estadística de la Resistencia Mecánica*. INN, 1989.
- [5] Instituto Nacional de Normalización. *NCh 1934:1992 Hormigón Preparado en Central Hormigonera*. INN, 1992.
- [6] Instituto Nacional de Normalización. *NCh 171:2008 Hormigón - Extracción de Muestras del Hormigón Fresco*. INN, 2008.
- [7] Instituto Nacional de Normalización. *NCh 1017:2009 Confección en Obra y Curado de Probetas para Ensayos de Compresión, Tracción por Flexión y por Hendimiento*. INN, 2009.
- [8] Instituto Nacional de Normalización. *NCh 1019:2009 Hormigón - Determinación de la Docilidad - Método del Asentamiento del Cono de Abrams*. INN, 2009.
- [9] Instituto Nacional de Normalización. *NCh 163:2013 Áridos para Morteros y Hormigones - Requisitos*. INN, 2013.
- [10] Instituto Nacional de Normalización. *NCh 170:2016 Hormigón - Requisitos Generales*. INN, 2016.
- [11] Ministerio de Vivienda y Urbanismo. *Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones*. MINVU, 2023.
- [12] Instituto Chileno del Acero. *Las Especificaciones Técnicas son Claves para Aprovechar las bondades del Acero*. ICH, Sin Fecha.
- [13] Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. *Compendio de Tecnología del Hormigón Capítulo 03 - Propiedades del Hormigón Fresco*. ICH, 1992.

- [14] Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. *ET 002-05 - Altura de Vaciado en Elementos de Hormigón Armado*. ICH, 2005.
- [15] Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. *ET 004:06 Tolerancias Dimensionales en Elementos de Hormigón Armado*. ICH, 2006.
- [16] Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. *ET 005-07 - Criterios de Aceptación de Superficies Moldeadas en Elementos de Hormigón*. ICH, 2007.
- [17] Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. *Material Muros, Superficie Total y Participación*. ICH, 2024.
- [18] José Tomás Gálvez. *Propuesta de Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile, 2023.
- [19] Melón. *Guía para la Selección y Control de Áridos para Hormigones*. Melón, 2016.
- [20] Melón. *Ficha Técnica - Hormigón para Elementos con Alta Densidad de Enfierradura*. Melón, Sin Fecha.
- [21] Melón. *Glosario Melón*. Melón, Sin Fecha.
- [22] Juan Mendoza. *Apuntes Curso Proyecto de Hormigón Armado*. U-Cursos, 2023.
- [23] Polpaico. *Manual del Constructor*. Polpaico, Sin Fecha.
- [24] Daniela Ruano Peña. *Análisis de los Plazos de Construcción de Edificios en Chile y su Relación con los Métodos Constructivos Utilizados*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile, 2010.
- [25] Ricardo Vargas Calderón. *Propuesta de Requisitos Normativos de Durabilidad de Hormigones. Consideraciones del Cambio Climático Y de Vida Útil*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Universidad de Chile, 2022.
- [26] Negocio y Construcción. *La Industria de la Construcción Carece de Avances Significativos en Productividad e Innovación, con Escasas Perspectivas de Mejora*. Revista Negocio y Construcción, 2024.
- [27] Ulma Chile Andamios y Moldajes. *Moldajes para Muros y Losas*. ULMA, 2022.

Anexo

Primero que todo, se presenta la digitalización de las Listas de Chequeo. Se observa que lo anterior corresponden a los resultados de la aplicación de la Propuesta de Manual en terreno. Además, el código de colores utilizado en los resultados corresponde a verde para cumplimiento del indicador, rojo para el incumplimiento y amarillo en caso de no aplicar o no existir la medición.

En cuanto a los resultados de las etapas del proceso de hormigonado, definidas en las Listas de Chequeo, se tiene lo siguiente en la Obra 1:

Obra 1 - Etapa de Fabricación Hormigón Premezclado y Transporte							
Elemento	¿Cumple?						
	Guía Despacho	Frecuencia Muestra	Cono	Carga-Descarga	Descarga	Tiempo en Obra	Homogeneidad
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	No	No	No	Sí
Losa	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	No	Sin Medición	No	Sí
Viga	Sí	Sí	Sin Medición	No	Sin Medición	No	Sí
Losa	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	No	Sí
Viga	Sí	No	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí
Muro	Sí	No	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí
% Cumplimiento	100 %	80 %	10 %	50 %	0 %	30 %	100 %
% No Cumplimiento	0 %	20 %	0 %	30 %	60 %	50 %	0 %
% Sin Medición	0 %	0 %	90 %	20 %	40 %	20 %	0 %

Tabla A.1: Resultados de Etapa de Fabricación Hormigón Premezclado y Transporte de la Obra 1. Fuente: Elaboración Propia.

Obra 1 - Etapa de Colocación, Compactación y Terminación						
Elemento	¿Cumple?					
	Preparación Superficie	Tolerancia Moldaje	T° Hormigón	Potencial Fisuración	Altura Vaciado	Espesor Capas
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	Sí	Sí
Losa	No	Sí	Sin Medición	Sí	Sí	Sí
Muro	Sí	No	Sin Medición	Sí	Sí	Sí
Viga	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	Sí	Sí
Losa	No	Sí	Sin Medición	Sí	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	Sí	Sí
Viga	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	Sí	Sí
% Cumplimiento	80 %	90 %	0 %	100 %	100 %	100 %
% No Cumplimiento	20 %	10 %	0 %	0 %	0 %	0 %
% Sin Medición	0 %	0 %	100 %	0 %	0 %	0 %

Tabla A.2: Resultados (Primera Parte) de Etapa de Colocación, Compactación y Terminación de la Obra 1. Fuente: Elaboración Propia.

Obra 1 - Etapa de Colocación, Compactación y Terminación							
Elemento	¿Cumple?						
	Diámetro Vibrador	Diámetro Acción	Dist. A Moldaje	Dist. Inserciones	Velocidad Retiro	Mallas Sistemáticas	Terminación
Muro	Sí	Sí	No	Sin Medición	Sí	No	Sí
Muro	Sí	Sí	No	Sin Medición	Sí	No	Sí
Muro	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Losa	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí
Viga	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Losa	Sí	No	No	No	No	No	Sí
Muro	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Viga	No	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí
Muro	No	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí
% Cumplimiento	70 %	80 %	20 %	70 %	50 %	70 %	100 %
% No Cumplimiento	30 %	20 %	80 %	10 %	50 %	30 %	0 %
% Sin Medición	0 %	0 %	0 %	20 %	0 %	0 %	0 %

Tabla A.3: Resultados (Segunda Parte) de Etapa de Colocación, Compactación y Terminación de la Obra 1. Fuente: Elaboración Propia.

Obra 1 - Etapa de Curado y Desmolde de Hormigón						
Elemento	¿Cumple?					
	Método Protección	Plazo Protección	Método Curado	Plazo Curado	Plazo Desmolde	Plazo Descimbre
Muro	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Muro	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Muro	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Losa	N/A	N/A	Sí	No	Sí	Sí
Muro	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Viga	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Losa	N/A	N/A	Sí	No	Sí	Sí
Muro	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Viga	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Muro	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
% Cumplimiento	0 %	0 %	20 %	0 %	100 %	100 %
% No Cumplimiento	0 %	0 %	80 %	100 %	0 %	0 %
% No Aplica	100 %	100 %	0 %	0 %	0 %	80 %

Tabla A.4: Resultados de Etapa de Curado y Desmolde de la Obra 1. Fuente: Elaboración Propia.

Obra 1 - Etapa de Aceptación/Rechazo de Hormigón				Obra 1 - Etapa de Posibles Reparaciones			
Elemento	¿Cumple?			¿Cumple?			
	Evaluación Estadística	Evaluación Testigos	Fisuras No Estructurales	Reparación Nidos	Reparación Terminación	Reparación Fisuras	Evaluación Estadística
Muro	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	N/A	N/A
Muro	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	N/A	N/A
Muro	Sí	Sin Medición	Sin Medición	N/A	Sí	N/A	N/A
Losa	Sí	Sin Medición	Sin Medición	N/A	N/A	N/A	N/A
Muro	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	N/A	N/A
Viga	Sí	Sin Medición	Sin Medición	N/A	N/A	N/A	N/A
Losa	Sí	Sin Medición	Sin Medición	N/A	N/A	N/A	N/A
Muro	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	N/A	N/A
Viga	Sí	Sin Medición	Sin Medición	N/A	Sí	N/A	N/A
Muro	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	N/A	N/A
% Cumplimiento	100%	0%	0%	50%	70%	0%	0%
% No Cumplimiento	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
% Sin Medición	0%	100%	100%	50%	30%	100%	100%

Tabla A.5: Resultados de Etapas de Aceptación/Rechazo de Hormigón y de Posibles Reparaciones de la Obra 1. Fuente: Elaboración Propia.

Luego, en cuanto a los resultados de las etapas en la Obra 2, se tiene lo siguiente:

Obra 2 - Etapa de Fabricación Hormigón Premezclado y Transporte							
Elemento	¿Cumple?						
	Guía Despacho	Frecuencia Muestra	Cono	Carga-Descarga	Descarga	Tiempo en Obra	Homogeneidad
Losa	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Losa	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	Sí	No	Sí
Viga	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí
Viga	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí
Muro	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	Sí	Sí
% Cumplimiento	100%	100%	75%	100%	38%	63%	100%
% No Cumplimiento	0%	0%	0%	0%	63%	38%	0%
% Sin Medición	0%	0%	25%	0%	0%	0%	0%

Tabla A.6: Resultados de Etapa de Fabricación Hormigón Premezclado y Transporte de la Obra 2. Fuente: Elaboración Propia.

Obra 2 - Etapa de Colocación, Compactación y Terminación						
Elemento	¿Cumple?					
	Preparación Superficie	Tolerancia Moldaje	T° Hormigón	Potencial Fisuración	Altura Vaciado	Espesor Capas
Losa	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Losa	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Viga	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No
Viga	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No
Muro	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
% Cumplimiento	100%	75%	100%	100%	100%	50%
% No Cumplimiento	0%	25%	0%	0%	0%	50%
% Sin Medición	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla A.7: Resultados (Primera Parte) de Etapa de Colocación, Compactación y Terminación de la Obra 2. Fuente: Elaboración Propia.

Obra 2 - Etapa de Colocación, Compactación y Terminación							
Elemento	¿Cumple?						
	Diámetro Vibrador	Diámetro Acción	Dist. A Moldaje	Dist. Inserciones	Velocidad Retiro	Mallas Sistemáticas	Terminación
Losa	No	No	No	No	No	Sí	Sí
Pilar	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Losa	No	No	No	No	Sí	No	Sí
Viga	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Viga	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
% Cumplimiento	75 %	75 %	0 %	75 %	88 %	88 %	100 %
% No Cumplimiento	25 %	25 %	100 %	25 %	13 %	13 %	0 %
% Sin Medición	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tabla A.8: Resultados (Segunda Parte) de Etapa de Colocación, Compactación y Terminación de la Obra 2. Fuente: Elaboración Propia.

Obra 2 - Etapa de Curado y Desmolde de Hormigón						
Elemento	¿Cumple?					
	Método Protección	Plazo Protección	Método Curado	Plazo Curado	Plazo Desmolde	Plazo Descimbre
Losa	N/A	N/A	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Pilar	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Losa	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Viga	No	No	No	No	Sí	N/A
Viga	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Muro	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Muro	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
% Cumplimiento	0 %	0 %	25 %	25 %	100 %	100 %
% No Cumplimiento	25 %	25 %	75 %	75 %	0 %	0 %
% No Aplica	75 %	75 %	0 %	0 %	0 %	75 %

Tabla A.9: Resultados de Etapa de Curado y Desmolde de la Obra 2. Fuente: Elaboración Propia.

Obra 2 - Etapa de Aceptación/Rechazo de Hormigón				Obra 2 - Etapa de Posibles Reparaciones			
Elemento	¿Cumple?			¿Cumple?			
	Evaluación Estadística	Evaluación Testigos	Fisuras No Estructurales	Reparación Nidos	Reparación Terminación	Reparación Fisuras	Evaluación Estadística
Losa	Sí	Sin Medición	Sin Medición	N/A	N/A	N/A	N/A
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	N/A	N/A
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	N/A	N/A
Losa	Sí	Sin Medición	Sin Medición	N/A	N/A	N/A	N/A
Viga	Sí	Sin Medición	Sin Medición	N/A	Sí	N/A	N/A
Viga	Sí	Sin Medición	Sí	N/A	Sí	No	N/A
Muro	Sí	Sin Medición	Sin Medición	N/A	Sí	N/A	N/A
Muro	Sí	Sin Medición	Sin Medición	N/A	Sí	N/A	N/A
% Cumplimiento	100 %	0 %	13 %	25 %	75 %	0 %	0 %
% No Cumplimiento	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	13 %	0 %
% Sin Medición	0 %	100 %	88 %	75 %	25 %	88 %	100 %

Tabla A.10: Resultados de Etapas de Aceptación/Rechazo de Hormigón y de Posibles Reparaciones de la Obra 2. Fuente: Elaboración Propia.

Finalmente, en cuanto a los resultados de las etapas del proceso de hormigonado en la Obra 3, se tiene lo siguiente:

Obra 3 - Etapa de Fabricación Hormigón Premezclado y Transporte								
Elemento	¿Cumple?							
	Guía Despacho	Frecuencia Muestra	Cono	Carga-Descarga	Descarga	Tiempo en Obra	Homogeneidad	
Losa	Sí	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	
Losa	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	
Losa	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
Muro	Sí	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
Losa	Sí	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
Losa	Sí	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
Losa	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	
% Cumplimiento	100 %	100 %	29 %	4 %	4 %	29 %	100 %	
% No Cumplimiento	0 %	0 %	0 %	7 %	7 %	7 %	0 %	
% Sin Medición	0 %	0 %	71 %	89 %	89 %	64 %	0 %	

Tabla A.11: Resultados de Etapa de Fabricación Hormigón Premezclado y Transporte de la Obra 3. Fuente: Elaboración Propia.

Obra 3 - Etapa de Colocación, Compactación y Terminación						
Elemento	¿Cumple?					
	Preparación Superficie	Tolerancia Moldaje	T° Hormigón	Potencial Fisuración	Altura Vaciado	Espesor Capas
Losa	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	No
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	No
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	No
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	No
Losa	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Losa	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	Sí
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	No
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	No
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	No
Muro	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	No
Losa	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	Sí
Losa	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Losa	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	No	No	Sí
Pilar	Sí	No	Sin Medición	No	No	No
Pilar	Sí	No	Sin Medición	No	No	No
Pilar	Sí	No	Sin Medición	No	No	No
Pilar	Sí	No	Sin Medición	No	No	No
Muro	Sí	Sí	Sin Medición	Sí	No	Sí
% Cumplimiento	100 %	82 %	32 %	75 %	21 %	46 %
% No Cumplimiento	0 %	18 %	0 %	25 %	79 %	54 %
% Sin Medición	0 %	0 %	68 %	0 %	0 %	0 %

Tabla A.12: Resultados (Primera Parte) de Etapa de Colocación, Compactación y Terminación de la Obra 3. Fuente: Elaboración Propia.

Obra 3 - Etapa de Colocación, Compactación y Terminación							
Elemento	¿Cumple?						
	Diámetro Vibrador	Diámetro Acción	Dist. A Moldaje	Dist. Inserciones	Velocidad Retiro	Mallas Sistemáticas	Terminación
Losa	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Losa	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Losa	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Losa	Sí	No	No	No	No	Sí	Sí
Muro	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Losa	Sí	No	No	No	No	No	Sí
Losa	No	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí
Muro	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Muro	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
% Cumplimiento	82 %	82 %	82 %	82 %	86 %	93 %	100 %
% No Cumplimiento	18 %	18 %	18 %	18 %	14 %	7 %	0 %
% Sin Medición	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tabla A.13: Resultados (Segunda Parte) de Etapa de Colocación, Compactación y Terminación de la Obra 3. Fuente: Elaboración Propia.

Obra 3 - Etapa de Curado y Desmolde de Hormigón						
Elemento	¿Cumple?					
	Método Protección	Plazo Protección	Método Curado	Plazo Curado	Plazo Desmolde	Plazo Descimbre
Losa	N/A	N/A	Sí	Sí	Sí	Sí
Pilar	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Pilar	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Pilar	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Pilar	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Pilar	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Pilar	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Losa	N/A	N/A	Sí	Sí	Sí	Sí
Losa	N/A	N/A	Sí	Sí	Sí	Sí
Muro	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Muro	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Pilar	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Pilar	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Pilar	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Pilar	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Pilar	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Muro	No	No	No	No	Sí	N/A
Pilar	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Losa	N/A	N/A	Sí	Sí	Sí	Sí
Muro	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
Losa	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Losa	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Muro	No	No	No	No	Sí	N/A
Pilar	No	No	No	No	Sí	N/A
Pilar	No	No	No	No	Sí	N/A
Pilar	No	No	No	No	Sí	N/A
Pilar	No	No	No	No	Sí	N/A
Muro	N/A	N/A	No	No	Sí	N/A
% Cumplimiento	0%	0%	21%	21%	100%	100%
% No Cumplimiento	29%	29%	79%	79%	0%	0%
% No Aplica	71%	71%	0%	0%	0%	79%

Tabla A.14: Resultados de Etapa de Curado y Desmolde de la Obra 3. Fuente: Elaboración Propia.

Obra 3 - Etapa de Aceptación/Rechazo de Hormigón				Obra 3 - Etapa de Posibles Reparaciones			
Elemento	¿Cumple?			¿Cumple?			
	Evaluación Estadística	Evaluación Testigos	Fisuras No Estructurales	Reparación Nidos	Reparación Terminación	Reparación Fisuras	Evaluación Estadística
Losa	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Losa	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición
Losa	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición
Muro	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Muro	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Muro	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Losa	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición
Muro	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Losa	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Losa	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Muro	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Pilar	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Muro	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición
Muro	Sí	Sin Medición	Sin Medición	Sí	Sí	Sin Medición	Sin Medición
% Cumplimiento	100%	0%	0%	43%	86%	0%	0%
% No Cumplimiento	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
% Sin Medición	0%	100%	100%	57%	14%	100%	100%

Tabla A.15: Resultados de Etapas de Aceptación/Rechazo de Hormigón y de Posibles Reparaciones de la Obra 3. Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se presentan los resultados del potencial de fisuración de los diferentes casos de estudio. Se destaca que este cálculo es fundamental para saber si se está en presencia de un ambiente de alta evaporación y si es necesario proteger el hormigón.

Potencial de Fisuración Obra 1						
Día	Tc [°C]	Ta [°C]	r [-]	V [km/h]	E [kg/m2/h]	Condición
Día 1	26	20	0,7	20	0,793	OK
Día 2	26	25	0,63	26	0,781	OK
Día 3	26	26	0,55	27	0,896	OK
Día 4	26	26	0,56	27	0,876	OK
Día 5	26	29	0,54	26	0,700	OK
Día 6	26	29	0,46	27	0,911	OK

Tabla A.16: Potencial de Fisuración Obra 1. Fuente: Elaboración Propia.

Potencial de Fisuración Obra 2						
Día	Tc [°C]	Ta [°C]	r [-]	V [km/h]	E [kg/m2/h]	Condición
Día 1	18,2	15	0,65	6,4	0,199	OK
Día 2	18,2	14	0,76	11,3	0,266	OK
Día 3	17,3	11	0,9	20	0,399	OK
Día 4	22,1	17	0,81	22	0,561	OK
Día 5	18,8	14	0,66	4,8	0,193	OK
Día 6	20,1	20	0,69	20	0,338	OK
Día 7	22,8	17	0,77	14	0,455	OK

Tabla A.17: Potencial de Fisuración Obra 2. Fuente: Elaboración Propia.

Potencial de Fisuración Obra 3						
Día	Tc [°C]	Ta [°C]	r [-]	V [km/h]	E [kg/m ² /h]	Condición
Día 1	25	23	0,38	19,3	0,936	OK
Día 2	21	22	0,45	24,1	0,695	OK
Día 3	20,5	24	0,65	29	0,291	OK
Día 4	19,8	23	0,77	15	0,047	OK
Día 5	26	19	0,78	13	0,539	OK
Día 6	21	17	0,76	10	0,279	OK
Día 7	26	22	0,71	17	0,594	OK
Día 8	19	16	0,88	22	0,311	OK
Día 9	26	21	0,7	14	0,557	OK
Día 10	19,2	26	0,56	15	0,119	OK
Día 11	29,1	25	0,65	27,5	1,157	NO OK
Día 12	29,3	29	0,39	20	1,138	NO OK
Día 13	26	25	0,5	28,5	1,102	NO OK
Día 15	26	28	0,37	23	1,017	NO OK
Día 16	28	30	0,37	18	0,929	OK

Tabla A.18: Potencial de Fisuración Obra 3. Fuente: Elaboración Propia.