



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

# **PROPUESTA DE MANUAL DE INSPECCIÓN TÉCNICA EN OBRAS DE HORMIGÓN**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**JOSÉ TOMÁS GÁLVEZ GUTIÉRREZ**

PROFESORA GUÍA:  
**CARMEN PAZ MUÑOZ EFFA**

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

SANTIAGO DE CHILE  
2023

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE:** Ingeniero Civil  
**POR:** José Tomás Gálvez Gutiérrez  
**FECHA:** 2023  
**PROFESOR GUÍA:** Carmen Paz Muñoz Effa

## **PROPUESTA DE MANUAL DE INSPECCIÓN TÉCNICA EN OBRAS DE HORMIGÓN**

El hormigón es el material sintético más utilizado por el hombre, siendo su principal destino los edificios habitacionales. Estos proyectos nacen del esfuerzo de una inmobiliaria de realizarlos, para lo cual necesita de una constructora para materializarlo. En ese contexto juega un papel muy importante la ITO, pues representa al mandante dentro de la obra de construcción, y debe velar por el cumplimiento del contrato y de supervisar la labor de la constructora. Cabe destacar que las funciones de la ITO son muy variadas dentro de su alcance, sin embargo, el presente trabajo se enfoca sólo en estudiar la ITOH, es decir, especificar todas las funciones de la ITO tradicional a aquellas que tienen directa relación con el hormigón y sus procesos constructivos.

De aquí nace la idea de proponer un manual de ITOH, el cual no existe en la actualidad en el país. Este manual está orientado a los dos procesos de confección más comunes del hormigón: confección in-situ y hormigón premezclado, dejando de lado hormigones especiales. Dicho lo anterior, el objetivo principal de esta memoria es proponer un manual de ITOH para los dos procesos de confección ya descritos, a partir del desarrollo de tres objetivos específicos: 1. Vincular la ITO con la ITOH; 2. Describir cada una de las etapas constructivas con hormigón con sus respectivos indicadores que permitan realizar la inspección y el control en la gestión de los procesos; 3. Proponer “Check-List” definitivos para cada una de las etapas constructivas.

En el desarrollo del manual, se tiene en primer lugar una descripción exhaustiva de una ITO tradicional, junto con sus respectivas características, alcances y funciones. A partir de ellas, se realiza un análisis y se limitan todas las funciones a las que tienen directa relación con el hormigón y sus procesos constructivos, definiendo la ITOH y dando así cumplimiento al primer objetivo específico. En segundo lugar, se detallan y describen todas las etapas constructivas con hormigón, las cuales son: 1. Fabricación (hormigón in situ/ hormigón premezclado) y Transporte; 2. Colocación, Compactación y Terminación; 3. Curado y Desmolde; 4. Aceptación/ Rechazo; 5. Posibles Reparaciones. En cada una de las etapas, se especifican las funciones de la ITOH junto con sus responsabilidades, proponiendo un total de 114 indicadores que permiten realizar el control e inspección de todos los procesos constructivos, y cumpliendo así con el segundo objetivo específico. Finalmente, se proponen los “Check-List” definitivos en cada una de las etapas, a partir de los indicadores propuestos previamente. Con el desarrollo de este último objetivo específico, se da por finalizada la propuesta de manual de ITOH, logrando así el cumplimiento del objetivo general de la presente memoria.

# Agradecimientos

Agradecer en primer lugar a mi familia, principalmente a mi padre y a mi madre que me dieron absolutamente todo para que yo pudiera realizar mis estudios. Nunca me faltó nada gracias a ellos, y me apoyaron en uno de los momentos más difíciles de mi carrera.

En segundo lugar, agradecer a las amistades que me dio la universidad, que hicieron que todo fuera más fácil, más entretenido, y que estuvieron ahí siempre que los necesité. Mención especial para los cachitos y todos los momentos especiales que me regaló junto a mis amigos.

En tercer lugar, agradecer al fútbol, que hizo que todo mi proceso universitario fuera más feliz. Un deporte que te regala amigos a lo largo del tiempo. Mención especial para la rama de fútbol y mis compañeros de equipo, y para Los Viga Grande y la Civiliga que ganamos el 2022.

Por último, agradecer a mi profesora guía Carmen Muñoz, por su buena disposición, entrega, compromiso y paciencia durante todo el proceso de titulación. También agradecer a los miembros de la comisión, Carlos Gálvez y Milenko Ogaz, por su buena disposición y por el aporte de sus conocimientos.

# Tabla de contenido

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>1.1 Antecedentes Generales</b> .....                                   | <b>1</b>  |
| <b>1.2 Motivación</b> .....   | <b>3</b>  |
| <b>1.3 Objetivos</b> .....  | <b>4</b>  |
| 1.3.1 Objetivo General.....   | 4         |
| 1.3.2 Objetivos específicos .....   | 4         |
| <b>1.4 Alcances y Limitaciones</b> .....                                  | <b>4</b>  |
| 1.4.1 Alcances.....   | 4         |
| 1.4.2 Limitaciones .....  | 4         |
| <b>1.5 Metodología</b> .....  | <b>5</b>  |
| <b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>2.1 Fundamentos del Hormigón</b> .....                                 | <b>6</b>  |
| 2.1.1 Propiedades del hormigón fresco.....                                | 7         |
| 2.1.1.1 Homogeneidad.....   | 7         |
| 2.1.1.2 Docilidad.....  | 11        |
| 2.1.2 Propiedades del hormigón endurecido .....                           | 15        |
| 2.1.2.1 Densidad.....   | 15        |
| 2.1.2.2 Resistencia.....  | 17        |
| 2.1.2.3 Durabilidad.....  | 25        |
| 2.1.2.3.1 Contenido máximo de sulfatos (SO <sub>4</sub> ) .....           | 26        |
| 2.1.2.3.2 Contenido máximo de cloruros (Cl <sup>-</sup> ) .....           | 27        |
| 2.1.2.3.3 Reacción árido álcali .....                                     | 28        |
| 2.1.2.3.4 Ciclos de hielo-deshielo .....                                  | 29        |
| 2.1.2.3.5 Sulfatos .....  | 32        |
| 2.1.2.3.6 Hormigón en contacto con agua.....                              | 35        |
| 2.1.2.4 Permeabilidad.....  | 37        |
| <b>2.2 Descripción de una Obra de Hormigón</b> .....                      | <b>40</b> |
| 2.2.1 Obra Gruesa.....  | 41        |
| 2.2.2 Construcción con hormigón.....                                      | 44        |
| 2.2.2.1 Fabricación y Transporte.....                                     | 44        |
| 2.2.2.1.1 Fabricación de hormigón in situ y Transporte .....              | 44        |
| 2.2.2.1.2 Fabricación en planta (hormigón premezclado) y Transporte ..... | 47        |
| 2.2.2.2 Colocación, Compactación y Terminación del hormigón .....         | 48        |
| 2.2.2.2.1 Colocación .....  | 49        |
| 2.2.2.2.2 Compactación .....  | 61        |
| 2.2.2.2.3 Terminación .....   | 63        |
| 2.2.2.3 Curado y Desmolde.....  | 64        |
| 2.2.2.3.1 Curado y Protección del hormigón .....                          | 64        |
| 2.2.2.3.2 Desmolde y Descimbre de hormigón.....                           | 69        |
| 2.2.2.4 Aceptación/Rechazo del hormigón .....                             | 72        |
| 2.2.2.5 Posibles Reparaciones de hormigón.....                            | 77        |
| <b>2.3 Inspección Técnica de Obras</b> .....                              | <b>80</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>3. PROPUESTA DEL MANUAL DE ITOH.....</b>   | <b>82</b>  |
| <b>3.1 Vínculo de una ITO con una ITOH.....</b>   | <b>82</b>  |
| 3.1.1 ITOH en etapa de Fabricación y Transporte.....  | 84         |
| 3.1.1.1 ITOH en etapa de Fabricación de hormigón in situ y Transporte .....                       | 84         |
| 3.1.1.2 ITOH en etapa de Fabricación en planta (hormigón premezclado) y Transporte .....          | 85         |
| 3.1.2 ITOH en etapa de Colocación, Compactación y Terminación .....                               | 86         |
| 3.1.3 ITOH en etapa de Curado y Desmolde.....   | 87         |
| 3.1.4 ITOH en etapa de Aceptación/Rechazo.....  | 88         |
| 3.1.5 ITOH en etapa de Posibles Reparaciones.....   | 89         |
| <b>3.2 Control e Inspección en cada etapa constructiva .....</b>                                  | <b>90</b>  |
| 3.2.1 Control e Inspección en etapa de Fabricación y Transporte .....                             | 90         |
| 3.2.1.1 Control e Inspección para Fabricación de hormigón in situ y Transporte .....              | 90         |
| 3.2.1.2 Control e Inspección para Fabricación en planta (hormigón premezclado) y Transporte ..... | 93         |
| 3.2.2 Control e Inspección en etapa de Colocación, Compactación y Terminación .....               | 96         |
| 3.2.3 Control e Inspección en etapa de Curado y Desmolde .....                                    | 99         |
| 3.2.4 Control e Inspección en etapa de Aceptación/ Rechazo .....                                  | 101        |
| 3.2.5 Control e Inspección en etapa de Posibles Reparaciones.....                                 | 103        |
| <b>3.3 Propuesta de “CHECK-LIST” definitiva .....</b>   | <b>104</b> |
| 3.3.1 “CHECK-LIST” Etapa de Fabricación y Transporte.....   | 104        |
| 3.3.1.1 “CHECK-LIST” Etapa de Fabricación de hormigón in situ y Transporte .....                  | 105        |
| 3.3.1.2 “CHECK-LIST” Etapa de Fabricación en planta (hormigón premezclado) y Transporte.....      | 107        |
| 3.3.2 “CHECK-LIST” Etapa de Colocación, Compactación y Terminación .....                          | 109        |
| 3.3.3 “CHECK-LIST” Etapa de Curado y desmolde.....  | 111        |
| 3.3.4 “CHECK-LIST” Etapa de Aceptación/ Rechazo.....  | 113        |
| 3.3.5 “CHECK-LIST” Etapa de Posibles Reparaciones .....   | 114        |
| <b>4. CONCLUSIONES.....</b>   | <b>115</b> |
| <b>Bibliografía .....</b>   | <b>118</b> |

# Lista de Tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1: Superficie construida y participación por Materialidad en estructuras de muros, diciembre 2021 (12 meses).<br>Fuente: (ICH,2022).....   | 2  |
| Tabla 2: Principales componentes del hormigón.<br>Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).....  | 6  |
| Tabla 3: Ensayos que permiten evaluar la uniformidad en el hormigón fresco.<br>Fuente: elaboración propia a partir de (NCh1789: 1986: Hormigón- Determinación de la uniformidad obtenida en el mezclado de hormigón fresco, 1986) y la normativa de cada ensayo. ....  | 9  |
| Tabla 4: Requisitos de cada ensayo y parámetros de control para determinar uniformidad en hormigón fresco.<br>Fuente: elaboración propia a partir de (NCh1789: 1986: Hormigón- Determinación de la uniformidad obtenida en el mezclado de hormigón fresco, 1986) y (ACI311-92: Manual para Supervisar Obras de Concreto, 1992). .... | 10 |
| Tabla 5: Principales ensayos para medir docilidad en el hormigón.<br>Fuente: elaboración propia.....   | 11 |
| Tabla 6: Otros ensayos para medir docilidad en el hormigón.<br>Fuente: elaboración propia a partir de ( Kosmatka, Kerckhoff, Panarese, & Jussara, 2004). ....  | 12 |
| Tabla 7: Criterios de aceptación para docilidad según Asentamiento de cono.<br>Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).....   | 12 |
| Tabla 8: Rangos de asentamiento de cono para aplicabilidad del ensayo.<br>Fuente: (NCh1019: 2009: Hormigón - Determinación de la docilidad - Método del asentamiento del cono de Abrams, 2009). ....   | 12 |
| Tabla 9: Asentamiento de cono para diferentes configuraciones de tubería y altura de bombeo.<br>Fuente: (Muñoz, Curso 1: Inspección Técnica en Obras de Hormigón, 2022).....   | 14 |
| Tabla 10: Densidad aparente en el hormigón fresco. Fuente: (NCh1564: 2009: Hormigón - Determinación de la densidad aparente del hormigón fresco, 2009). ....   | 15 |
| Tabla 11: Criterio de aceptación para Densidad aparente de hormigón fresco<br>Fuente: elaboración propia a partir de la NCh170. ....   | 16 |
| Tabla 12: Cálculo de contenido efectivo de cemento.<br>Fuente: (NCh1564: 2009: Hormigón - Determinación de la densidad aparente del hormigón fresco, 2009). ....   | 16 |
| Tabla 13: Plan de muestreo para hormigón fresco. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).....   | 18 |
| Tabla 14: Plan de muestreo para testigos de hormigón.<br>Fuente: (NCh1998: 1989: Hormigón - Evaluación Estadística de la resistencia mecánica, 1989).....  | 18 |
| Tabla 15: Ensayos de resistencia mecánica en el hormigón. Fuente: elaboración propia a partir de (NCh1037: 2009: Hormigón: Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas, 2009) y (NCh1038: 2009: Hormigón - Ensayo de tracción por flexión, 2009).....   | 19 |
| Tabla 16: Criterios de aceptación según evaluación estadística de resistencia potencial para probetas moldeadas a partir de hormigón fresco. Fuente: (NCh1998: 1989: Hormigón - Evaluación Estadística de la resistencia mecánica, 1989).....  | 20 |
| Tabla 17: Recomendaciones derivadas de la evaluación estadística.<br>Fuente: (NCh1998: 1989: Hormigón - Evaluación Estadística de la resistencia mecánica, 1989).....  | 21 |
| Tabla 18: Criterios de aceptación para resistencia a compresión de muestras de hormigón. Fuente: (ACI 318-19: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, 2019). ....  | 22 |
| Tabla 19: Criterios de aceptación de resistencia a la compresión para testigos de hormigón.<br>Fuente: (NCh1171/2: 2001: Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 2: Evaluación de resultados de resistencia mecánica, 2001). ....   | 22 |
| Tabla 20: Nivel de control de ensayos en evaluación estadística de resistencia.<br>Fuente: (NCh1998: 1989: Hormigón - Evaluación Estadística de la resistencia mecánica, 1989).....  | 23 |
| Tabla 21: Resumen de propiedades de hormigón con sus respectivos ensayos y criterios de aceptación. Fuente: elaboración propia a partir de información de tablas anteriores. ....  | 24 |
| Tabla 22: Contenido máximo de sulfatos en los componentes internos del hormigón.<br>Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).....  | 26 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 23: Contenido máximo de iones cloruros solubles en el hormigón. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).....  | 27 |
| Tabla 24: Criterio de aceptación para confeccionar hormigones con áridos reactivos o potencialmente reactivos. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).....   | 28 |
| Tabla 25: Ensayo para determinar la resistencia a la congelación y deshielo. Fuente: (NCh2185: 1992: Hormigón y mortero - Método de ensayo – Determinación de la resistencia a la congelación y el deshielo, 1992). ....                             | 29 |
| Tabla 26: Ensayo de determinación de contenido de aire en el hormigón. Fuente: (NCh2184: 1992: Hormigón y mortero - Método de ensayo - Determinación del contenido de aire, 1992).....   | 29 |
| Tabla 27: Requisitos de durabilidad para hormigón sometido a ciclos hielo-deshielo. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).....  | 30 |
| Tabla 28: Requisitos de durabilidad para hormigón sometido a ataque de sulfatos. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).....   | 32 |
| Tabla 29: Requisitos del cemento para suministrador. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).....   | 32 |
| Tabla 30: Grados exposición que provocan corrosión. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).....  | 33 |
| Tabla 31: Requisitos de durabilidad para hormigón frente al ataque de agentes que provocan corrosión. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).....  | 33 |
| Tabla 32: Requisitos de durabilidad para hormigones en contacto con agua. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).....  | 35 |
| Tabla 33: Resumen de requisitos de durabilidad para hormigón. Fuente: elaboración propia a partir de tablas anteriores. ....   | 36 |
| Tabla 34: Unidad de medición- Ensayo de penetración de agua. Fuente: (NCh2262:1997: Hormigón y mortero - Métodos de ensayo - Determinación de la impermeabilidad al agua - Método de la penetración de agua bajo presión, 1997).....                 | 38 |
| Tabla 35: Método de Permeabilidad de aire. Fuente: (SN 505 262/1: 2019: Construction en béton - Spécifications complémentaires, 2019).....   | 38 |
| Tabla 36 : Principales consideraciones en el proceso constructivo de elementos de H.A. Fuente: elaboración propia a partir de ( Kosmatka, Kerckhoff, Panarese, & Jussara, 2004). ....  | 41 |
| Tabla 37: Tolerancias de medición para componentes del hormigón. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016) y ( Kosmatka, Kerckhoff, Panarese, & Jussara, 2004). ....  | 44 |
| Tabla 38: Grados de terminación superficial en el hormigón. Fuente: elaboración propia a partir de (ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A., 2006). ....   | 48 |
| Tabla 39: Recomendaciones para preparar superficies previas al hormigonado. Fuente: (Polpaico, s.f.).....  | 49 |
| Tabla 40: Tolerancias para moldaje. Fuente: (Polpaico, s.f.).....  | 49 |
| Tabla 41: Imperfecciones en el hormigón causadas por un mal proceso de colocación. Fuente: elaboración propia a partir de (ET 005-07: Criterios de aceptación de superficies moldeadas en elementos de hormigón, 2007).....                          | 51 |
| Tabla 42: Tolerancias y restricciones para los diferentes grados de hormigón ante imperfecciones de colocación. Fuente: (ET 005-07: Criterios de aceptación de superficies moldeadas en elementos de hormigón, 2007). ....                           | 52 |
| Tabla 43: Criterio de aceptación para Altura de Vaciado. Fuente: (ET 002-05: Altura de vaciado del hormigón en elementos verticales, 2005).....  | 53 |
| Tabla 44: Altura máxima de Vaciado del hormigón según asentamiento de Cono de Abrams y bombeabilidad del hormigón. Fuente: (ET 002-05: Altura de vaciado del hormigón en elementos verticales, 2005).....  | 54 |
| Tabla 45: Temperatura de hormigón recomendada para diferentes geometrías y situaciones. Fuente: (ACI 306R-16: Guide to Cold Weather Concreting, 2016).....   | 56 |
| Tabla 46: Alteraciones generadas en el hormigón por alta evaporación de agua. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).....  | 57 |
| Tabla 47: Tasa de evaporación máxima para evitar fisuración. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).....   | 57 |
| Tabla 48: Otras consideraciones en colocación del hormigón. Fuente: elaboración propia a partir de (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016), (Polpaico, s.f.) y (ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A., 2006)..... | 59 |
| Tabla 49: Recomendaciones para parámetros D, SI y S en el proceso de compactación vía vibradores de inmersión. Fuente: (Polpaico, s.f.).....   | 61 |

|   |    |
|---|----|
| Tabla 50: Recomendaciones en el uso de vibradores de inmersión para proceso de compactación. Fuente: (Polpaico, s.f.).  | 62 |
| Tabla 51: Recomendaciones para terminación superficial en hormigón moldeado. Fuente: (Polpaico, s.f.).  | 63 |
| Tabla 52: Consideraciones para protección del hormigón frente a acciones externas. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).  | 65 |
| Tabla 53: Métodos de curado de tipo otorgarle humedad al hormigón. Fuente: elaboración propia a partir de (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016) y (Polpaico, s.f.).                      | 66 |
| Tabla 54: Métodos de curado de tipo evitar pérdida de humedad en el hormigón. Fuente: elaboración propia a partir de (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016) y (Polpaico, s.f.).           | 67 |
| Tabla 55: Resistencia mínima para iniciar desmolde en elementos verticales. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).   | 69 |
| Tabla 56: Resistencia mínima para iniciar desmolde en elementos horizontales. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).   | 70 |
| Tabla 57: Resistencia mínima para iniciar descimbre en elementos horizontales. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).  | 70 |
| Tabla 58: Plazos para desmolde y descimbre. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).   | 71 |
| Tabla 59: Valores máximos de deformación en la planeidad de la superficie vertical. Fuente: (ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A., 2006).  | 72 |
| Tabla 60: Valores máximos de deformación en la planeidad de la superficie horizontal posterior al hormigonado. Fuente: (ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A., 2006).                 | 73 |
| Tabla 61: Valores máximos de deformación en la planeidad de la superficie horizontal posterior al desmoldado y desalzaprimado. Fuente: (ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A., 2006). | 73 |
| Tabla 62: Valores máximos de deformación respecto a ejes, variaciones de vanos y puertas, y resaltes. Fuente: (ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A., 2006).                          | 73 |
| Tabla 63: Valores máximos de deformación en hormigones de superficies en pisos. Fuente: (ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A., 2006).  | 73 |
| Tabla 64: Tolerancias admisibles para la cuadratura de muros con otros elementos. Fuente: (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2018).  | 74 |
| Tabla 65: Tolerancias admisibles para variaciones de espesor en muros y losas. Fuente: (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2018).   | 74 |
| Tabla 66: Estándar de Fisuración Especificado (EFE) para fisuras no estructurales. Fuente: elaboración propia a partir de (ET 001-05: Fisuras no estructurales en muros de H.A., 2005).                   | 75 |
| Tabla 67: Instrumentos para medir ancho de fisuras. Fuente: (ET 001-05: Fisuras no estructurales en muros de H.A., 2005).   | 75 |
| Tabla 68: Criterios de aceptación y rechazo en fisuras no estructurales de muros. Fuente: elaboración propia a partir de (ET 001-05: Fisuras no estructurales en muros de H.A., 2005).                    | 76 |
| Tabla 69: Sugerencia de reparación para Nidos. Fuente: (ET 002-05: Altura de vaciado del hormigón en elementos verticales, 2005).   | 77 |
| Tabla 70: Sugerencia de mecanismo de reparación de nidos. Fuente: (ET 002-05: Altura de vaciado del hormigón en elementos verticales, 2005).  | 78 |
| Tabla 71: Sugerencia de reparación para terminación superficial. Fuente: (ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A., 2006).   | 78 |
| Tabla 72: Sugerencia de reparación de fisuras no estructurales de hormigón. Fuente: elaboración propia a partir de (ET 001-05: Fisuras no estructurales en muros de H.A., 2005) y (Polpaico, s.f.).       | 79 |
| Tabla 73: Funciones de la ITO. Fuente: (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011)  | 81 |
| Tabla 74: Funciones de la ITOH. Fuente: elaboración propia a partir de (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011).   | 82 |
| Tabla 75: Funciones de la ITOH y responsabilidades del contratista en el proceso de fabricación de hormigón en obra. Fuente: (Curso 1: Inspección Técnica en Obras de Hormigón, 2022).                    | 84 |
| Tabla 76: Funciones de la ITOH y responsabilidades del contratista en el proceso de fabricación de hormigón premezclado. Fuente: (Curso 1: Inspección Técnica en Obras de Hormigón, 2022).                | 85 |



|   |     |
|---|-----|
| <i>Tabla 77: Funciones de la ITOH y responsabilidades del contratista en el proceso de colocación de hormigón. Fuente: (Curso 1: Inspección Técnica en Obras de Hormigón, 2022).</i>        | 86  |
| <i>Tabla 78: Funciones de la ITOH y responsabilidades del contratista en el proceso de curado y desmolde de hormigón. Fuente: (Curso 2: Inspección Técnica en Obras en Hormigón, 2022).</i> | 87  |
| <i>Tabla 79: Funciones de la ITOH y responsabilidades del contratista en el proceso de aceptación de hormigón. Fuente: elaboración propia.</i>  | 88  |
| <i>Tabla 80: Funciones de la ITOH y responsabilidades del contratista en el proceso de posibles reparaciones de hormigón. Fuente: elaboración propia.</i>                                   | 89  |
| <i>Tabla 81: Indicadores para etapa fabricación in situ y transporte. Fuente: elaboración propia.</i>   | 92  |
| <i>Tabla 82: Indicadores para etapa de Fabricación de hormigón premezclado y Transporte. Fuente: elaboración propia.</i>  | 95  |
| <i>Tabla 83: Indicadores para etapa de colocación, compactación y terminación. Fuente: elaboración propia.</i>  | 98  |
| <i>Tabla 84: Indicadores para etapa de curado y desmolde. Fuente: elaboración propia.</i>   | 100 |
| <i>Tabla 85: Indicadores para etapa de aceptación/ rechazo. Fuente: elaboración propia.</i>   | 102 |
| <i>Tabla 86: Indicadores para etapa de reparaciones. Fuente: elaboración propia.</i>  | 103 |

# Lista de Figuras

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Figura 1: Superficie Total y participación por Materialidad (m<sup>2</sup> en 12 meses y %) en estructuras de muros. Fuente: (ICH, 2022) .....</i>   | <i>1</i>  |
| <i>Figura 2: Destino de estructuras en base a muros (superficie en m<sup>2</sup>), diciembre 2021 (12 meses). Fuente: (ICH, 2022).....</i>  | <i>2</i>  |
| <i>Figura 3: Metodología propuesta para desarrollar los objetivos propuestos. Fuente: elaboración propia. ....</i>  | <i>5</i>  |
| <i>Figura 4: Muestreo de hormigón fresco.<br/>Fuente: elaboración propia a partir de (NCh171: 2008: Hormigón - Extracción de muestras de hormigón fresco, 2008).....</i>  | <i>8</i>  |
| <i>Figura 5: Diagrama de cumplimiento de requisito de docilidad. Fuente: elaboración propia a partir de (ACI301-16: Especificaciones para Concreto Estructural, 2016) y (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016). ...</i> | <i>13</i> |
| <i>Figura 6: Zonificación nacional según clases de exposición ciclos hielo-deshielo. Fuente: (Peyresblanques, 2019). ..</i>   | <i>31</i> |
| <i>Figura 7: Etapas constructivas del hormigón. Fuente: elaboración propia a partir de (Curso 1: Inspección Técnica en Obras de Hormigón, 2022).....</i>  | <i>43</i> |
| <i>Figura 8: Principales medios de transporte de hormigón dentro de la obra.<br/>Fuente: elaboración propia a partir de (Polpaico, s.f.) .....</i>  | <i>46</i> |
| <i>Figura 9: Consideraciones importantes para uso de camión mixer. Fuente: elaboración propia a partir de (Polpaico, s.f.) .....</i>  | <i>47</i> |
| <i>Figura 10: Condiciones a cumplir durante la colocación del hormigón.<br/>Fuente: elaboración propia a partir de (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).....</i>  | <i>50</i> |
| <i>Figura 11: Resistencia a la penetración vs Tiempo en hormigonado a diferentes temperaturas. Fuente: (Carreteras Pan-Americanas, 2022).....</i>   | <i>54</i> |
| <i>Figura 12: Hormigonado en tiempo frío. Fuente: (Carreteras Pan-Americanas, 2022).....</i>  | <i>56</i> |
| <i>Figura 13: Recomendaciones y precauciones para hormigonado en tiempo de alta evaporación de agua. Fuente: elaboración propia a partir de (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016) .....</i>                            | <i>58</i> |
| <i>Figura 14: Recomendaciones para parámetros D, SI y S en el proceso de compactación vía vibradores de inmersión. Fuente: (Polpaico, s.f.).....</i>  | <i>61</i> |
| <i>Figura 15: Consecuencias de un curado defectuoso o la no realización de este. Fuente: elaboración propia a partir de (Polpaico, s.f.) .....</i>  | <i>64</i> |
| <i>Figura 16: Factores a considerar en elección del método de curado. Fuente: elaboración propia a partir de (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).....</i>  | <i>67</i> |
| <i>Figura 17: Plazos de curado.<br/>Fuente: elaboración propia a partir de (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).....</i>  | <i>68</i> |
| <i>Figura 18: Plazo de curado y resistencia a la compresión del hormigón. Fuente: (Polpaico, s.f.).....</i>   | <i>68</i> |

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes Generales

Hoy en día el hormigón resulta ser el material sintético más utilizado por el hombre, debido al amplio espectro de aplicaciones en las cuales puede utilizarse, principalmente en obras de ingeniería, como, por ejemplo, pavimentos, edificios, viviendas, etc. Según Revista EMB Construcción (2008), su codiciado uso se explica debido a que es un material que se comporta de muy buena manera en condiciones sísmicas (como hormigón armado) y meteorológicas, además de tener una excelente resistencia a la compresión, durabilidad, solidez, inercia térmica y acústica, y resistencia al fuego.

Chile no se queda al margen de la información anterior. En la Figura 1 se puede observar la superficie total y participación por materialidad (en 12 meses) en estructuras de muros construidas a lo largo de los últimos 20 años. Se logra notar cómo el uso de hormigón en la construcción de este tipo de estructuras ha aumentado en grandes proporciones. Para el año 2003, sólo un 35% aprox. del total de muros que se construyeron fueron confeccionados a partir de hormigón, cifra que asciende al 70% para el año 2021. Es decir, el uso porcentual de hormigón en estructuras en base a muros prácticamente se ha duplicado. Por el contrario, la consecuencia es la decadencia que ha sufrido el uso de la albañilería.

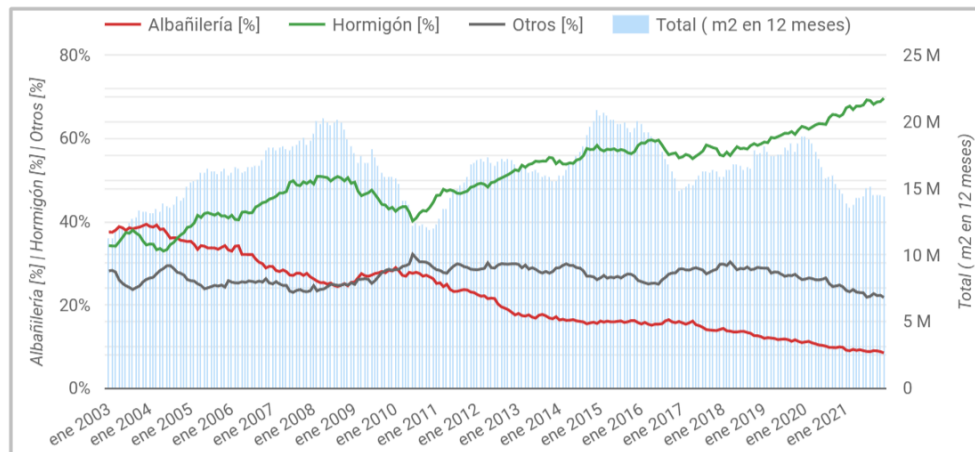


Figura 1: Superficie Total y participación por Materialidad (m<sup>2</sup> en 12 meses y %) en estructuras de muros. Fuente: (ICH, 2022).

De acuerdo con el ICH (2022), para el año 2021 se construyeron 14.416.444 de metros cuadrados de estructuras de muros, de los cuales un 69,63% fueron de hormigón, un 8,53% de albañilería y un 21,84% de otro material. A partir de los metros cuadrados totales construidos para este tipo de estructuras y los porcentajes de participación de cada material, es directo obtener la superficie construida de hormigón para ese año, lo cual se puede evidenciar en la Tabla 1.

Tabla 1: Superficie construida y participación por Materialidad en estructuras de muros, diciembre 2021 (12 meses).

Fuente: (ICH,2022).

| Tipo de material | Superficie construida [m <sup>2</sup> ] |
|------------------|---|
| Hormigón         | 10.038.170                              |
| Albañilería      | 1.229.723                               |
| Otro             | 3.148.551                               |

Con respecto al destino de este tipo de estructuras, se nota a partir del ICH (2022) que la gran mayoría se concentra en viviendas (ver Figura 2). Dentro de ellas, casi dos tercios se destina a la construcción de departamentos, llegando a la cifra de 6.965.238 metros cuadrados construidos para edificios habitacionales en altura para el año 2021, muy por encima de los otros destinos.

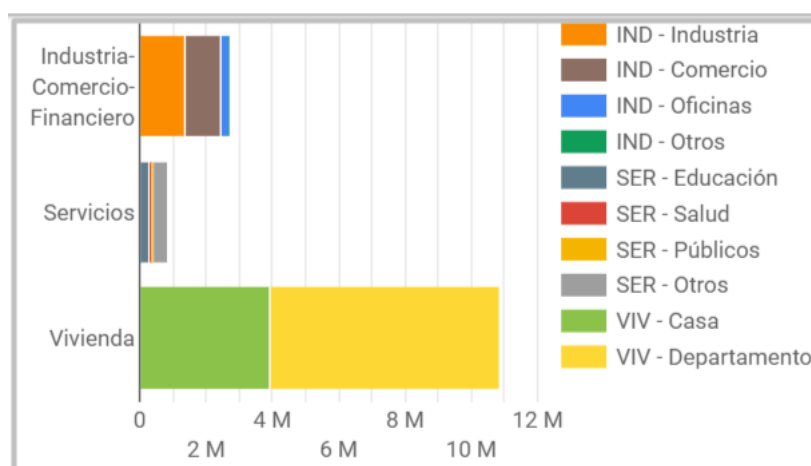


Figura 2: Destino de estructuras en base a muros (superficie en m<sup>2</sup>), diciembre 2021 (12 meses).

Fuente: (ICH, 2022).

En este mismo contexto de edificación, el proyecto nace con el esfuerzo de una inmobiliaria (mandante o cliente) de realizar el proyecto, para lo cual necesita de una constructora (contratista) para materializarlo. Es importante para el mandante controlar todo aquello que ocurra dentro de la obra, para lo cual juega un rol importantísimo la Inspección Técnica de Obra, de ahora en adelante, ITO. Esta es la principal representante del mandante dentro de la construcción del proyecto, quien busca velar por el cumplimiento del contrato de construcción.

No obstante, en una obra de hormigón, las funciones de la ITO son muy amplias y no están todas ligadas al hormigón, como por ejemplo, tareas administrativas, de finanzas, de programación, etc. Dicho esto, resulta crucial para efectos de este trabajo hacer una distinción entre aquellas funciones de la ITO que estarán directamente relacionadas con el hormigón y sus procesos constructivos, a lo que se le denominará Inspección Técnica de Obras en Hormigón (ITOH), y que será definida y detallada en Capítulo 3.

## **1.2 Motivación**

El tema elegido tiene directa relación con la principal área de interés del autor, y con el mundo donde quiere desarrollar su futuro profesional: la construcción. Además, durante todos sus estudios se ha interesado bastante en el hormigón como proceso constructivo más que estructural, por lo que esta memoria le es de gran ayuda para nutrirse de información.

Otro aspecto importante es aceptar el desafío de proponer un Manual de ITOH, recalcando que, en la actualidad, no existe tal manual en el ámbito nacional. Este manual busca ser un complemento para los cursos de inspección técnica en obras de hormigón dictados a nivel nacional. Por lo tanto, el principal destino de este trabajo es para inspectores técnicos de obra en formación. Además, se espera ser un aporte en el mundo de la construcción puesto que este manual quedará a disposición de cualquier inspector técnico.

Por último, y no menos importante, resulta muy atractivo para el autor desarrollar su memoria en un material tan importante como lo es el hormigón, el cual como se mencionó con anterioridad es el material sintético más empleado en el mundo actualmente, utilizado en la construcción de la gran mayoría de obras de ingeniería.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Elaborar una Propuesta de Manual de Inspección Técnica de Obras en Hormigón (ITOH).

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Vincular la Inspección Técnica de Obras con la Inspección Técnica de Obras en Hormigón.
- Describir cada una de las etapas constructivas con hormigón con sus respectivos indicadores que permitan realizar la inspección y el control en la gestión de los procesos.
- Proponer “Check-List” definitivos para cada una de las etapas constructivas con hormigón.

## **1.4 Alcances y Limitaciones**

### **1.4.1 Alcances**

La presente memoria propone un Manual de Inspección Técnica en Obras de Hormigón, para los dos procesos de confección más comunes: hormigón confeccionado in situ y hormigón confeccionado fuera de la obra, en planta mezcladora (hormigón premezclado).

### **1.4.2 Limitaciones**

- El presente manual es aplicable para el ámbito nacional.
- El presente manual es aplicable para hormigones tradicionales, que, para efectos de este trabajo, hace referencia al hormigón moldeado o colocado contra terreno. Se excluyen hormigones especiales, por ejemplo, hormigón proyectado, hormigón compactado con rodillo y elementos prefabricados de hormigón armado.

## 1.5 Metodología

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos se plantea la siguiente metodología:

1. **Revisión Bibliográfica:** en esta sección se incluye la lectura de normas chilenas y extranjeras (ACI); códigos ASTM; especificaciones técnicas del ICH; cursos de ITOH dictados por la profesora Carmen Muñoz; manuales de construcción; memorias y tesis de alumnos; páginas webs; etc. Además, es importante mencionar que esta actividad de vital importancia al ser un trabajo de título de carácter bibliográfico.
2. **Marco Teórico:** se desarrolla a partir de la lectura bibliográfica, en donde se expone aquella información que es necesaria para la confección del manual. En esta sección, se describe el hormigón junto con sus principales propiedades en estado fresco y endurecido. Posteriormente, se describe de manera genérica una obra de hormigón y se detallan las principales etapas constructivas con hormigón. Por último, se detalla la Inspección Técnica de Obras.
3. **Vinculación de la ITO con la ITOH:** en esta sección se especifican todas las funciones y responsabilidades que tiene la ITOH en cada una de las etapas constructivas, haciendo la distinción con la ITO tradicional.
4. **Propuesta de indicadores:** se describen cada una de las etapas constructivas con hormigón con sus respectivos indicadores que le permitan a la ITOH realizar la inspección y el control en la gestión de los procesos.
5. **Propuesta de "Check-List":** se proponen las listas de verificación definitivas para todas las etapas constructivas del hormigón. Esta sección corresponde a un resumen de los primeros dos objetivos específicos, y corresponde al entregable más importante del manual.
6. **Conclusiones:** se realiza un análisis acerca del cumplimiento de los objetivos propuestos, y se plantean los principales aprendizajes y pensamientos que se tienen durante el desarrollo de la memoria.

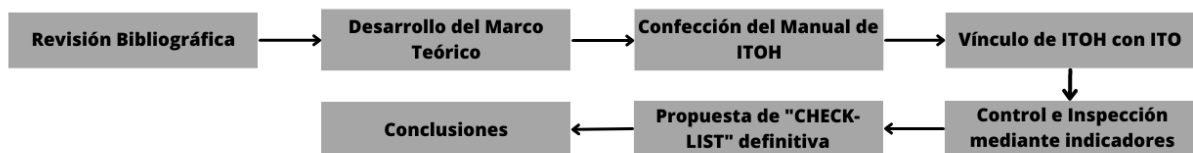


Figura 3: Metodología propuesta para desarrollar los objetivos propuestos.  
Fuente: elaboración propia.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Fundamentos del Hormigón

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” (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016). Todos estos componentes del hormigón deben cumplir con la norma NCh170, y, además, con normas específicas asociadas a cada uno, las cuales se indican en la Tabla 2.

*Tabla 2: Principales componentes del hormigón.  
Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).*

| <b>Material constituyente del hormigón</b> | <b>Normativa por cumplir</b> |
|--|------------------------------|
| Cemento                                    | NCh148 y NCh170              |
| Agua                                       | NCh1498 y NCh170             |
| Áridos                                     | NCh163 y NCh170              |
| Aditivos                                   | NCh2182 y NCh170             |
| Adiciones                                  | NCh170                       |

Según indica el ICH en Compendio de Tecnología Del Hormigón (1992), los áridos son considerados el esqueleto inerte del hormigón, integrados mediante dos o más fracciones que contienen una gama diferente de tamaños de partículas. Por otro lado, el agua y cemento forman lo que se denomina “pasta” de cemento, que constituye el aglomerante activo del hormigón. Estos materiales, a los que se le puede sumar también aditivos, adiciones o aire, se mezclan homogéneamente en cantidades adecuadas, en lo que se conoce como “dosificación” del hormigón, para formar una masa plástica, trabajable y moldeable. En esta fase, el hormigón puede ser fácilmente transportado y colocado en el elemento del cual pasa a ser constituyente, donde recibe un tratamiento adecuado de compactación, curado y protección que le brindan una densidad adecuada y le permitan desarrollar completamente sus propiedades mecánicas.

A continuación, en las siguientes subsecciones se presentan las principales características y propiedades que posee el hormigón, tanto en su estado fresco como endurecido.



## **2.1.1 Propiedades del hormigón fresco**

### **2.1.1.1 Homogeneidad**

De acuerdo con Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Jussara (2004), el hormigón recién amasado debe ser plástico o semifluido y generalmente capaz de ser moldeado a mano. Se debe garantizar la homogeneidad de la mezcla, es decir, todos los áridos deben ser envueltos por la pasta y sostenidos en suspensión, todos los espacios deben ser llenados totalmente con la pasta, y todos los componentes de la mezcla deben estar igualmente distribuidos, permitiendo que, muestras tomadas de diferentes porciones de la mezcla, van a tener esencialmente la misma densidad, contenido de aire, docilidad y contenido de agregado grueso. Así mismo, estos ingredientes no son propensos a la segregación durante el transporte, y durante la colocación, el hormigón fresco no se desmorona, sino que fluye lentamente sin segregarse. Por último, cuando el hormigón se endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes.

Si bien la homogeneidad no es una propiedad intrínseca del hormigón fresco (es decir, un hormigón mal mezclado, mal dosificado o colocado podría terminar en una mezcla no homogénea), el óptimo y lo que siempre se busca en un hormigón fresco es lograr la homogeneidad de la mezcla, dado que esto será indispensable para una buena calidad del hormigón, puesto que de esa manera se maximiza el desarrollo de sus propiedades.

Según indica NCh 170:2016: Hormigón- Requisitos Generales (2016), “el proceso de confección de hormigón debe garantizar que los materiales constituyentes sean medidos, mezclados y amasados a modo de lograr un hormigón homogéneo”.

#### *Problemas de Homogeneidad*

Cuando la homogeneidad en la mezcla no se ha logrado adecuadamente, se pueden manifestar problemas en el hormigón fresco. En el ACI 318-19: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (2019), se nombran principalmente dos:

- 1) Segregación de la mezcla, es decir, se observan porciones de la mezcla sin cohesión donde los áridos se separan de la pasta de cemento. Vía inspección visual se puede observar si existe segregación en el concreto fresco.
- 2) Otra forma de segregación (en menor magnitud), corresponde a exudación del agua de amasado. Este fenómeno es la formación de una capa de agua en la superficie del hormigón recién colocado, y se puede observar fácilmente vía visual. De acuerdo con el Compendio de Tecnología Del Hormigón (1992), la exudación es un proceso natural y no debería disminuir la calidad del hormigón adecuadamente colocado, terminado y curado. Sin embargo, podría generar efectos desfavorables, como, por ejemplo, la formación de una película de hormigón de menor resistencia en la parte superior, una

disminución de la impermeabilidad del hormigón o un aumento de tensiones internas. Dicho lo anterior, se pueden emplear medidas paliativas para combatir esos efectos perjudiciales, a modo de que no disminuya la calidad del hormigón. Entre esas medidas, se encuentra una utilización adecuada de finos, emplear aire incorporado o aumentar tiempos de amasado.

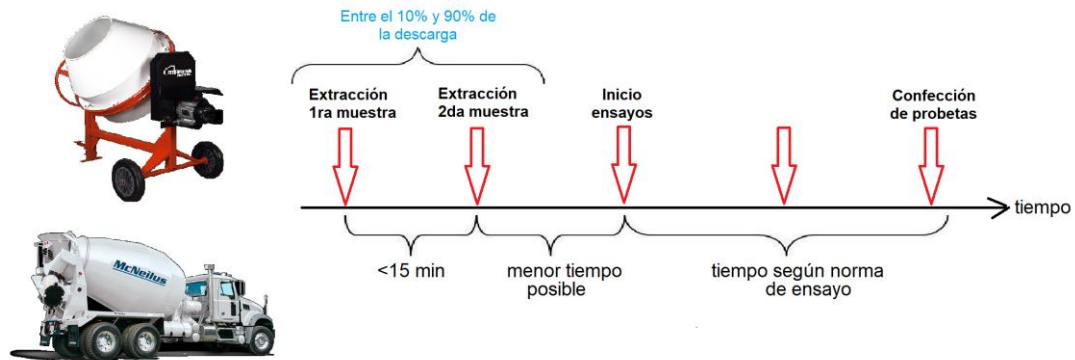
### *Uniformidad*

La uniformidad y la homogeneidad, si bien son conceptos bastante similares, no tienen el mismo significado. Según indica C. Muñoz (comunicación personal, 3 de marzo de 2023), la homogeneidad es la propiedad que se mide vía inspección visual en el hormigón fresco de una misma amasada, mientras que la uniformidad corresponde al mantenimiento de la homogeneidad en el tiempo de hormigones de diferentes amasadas (pero del mismo tipo).

### *Medición Uniformidad en mezclas frescas*

#### a) Muestreo

Con respecto al muestreo, se establece en NCh1789: 1986: Hormigón- Determinación de la uniformidad obtenida en el mezclado de hormigón fresco (1986), que la extracción y acondicionamiento de muestras de hormigón fresco se debe realizar en función de lo que indique el capítulo 6 de la NCh171, lo cual se resume en el diagrama de la Figura 4. Este muestreo es aplicable para todos los ensayos que serán detallados posteriormente.



*Figura 4: Muestreo de hormigón fresco.*

*Fuente: elaboración propia a partir de (NCh171: 2008: Hormigón - Extracción de muestras de hormigón fresco, 2008).*

Además, de acuerdo con NCh1789: 1986: Hormigón- Determinación de la uniformidad obtenida en el mezclado de hormigón fresco (1986), las muestras deben representar el primer tercio y el último tercio de la descarga de hormigón, y que cada una de ellas sea mayor a 60 L o suficiente para la realización de los ensayos. También se recomienda en el ACI311-92: Manual para Supervisar Obras de Concreto (1992), que las muestras sean

tomadas de la parte delantera y la otra de la parte trasera del camión o betonera, según sea el caso.

Por último, la norma NCh1789: 1986: Hormigón- Determinación de la uniformidad obtenida en el mezclado de hormigón fresco (1986), recomienda muestrear a lo menos una amasada en los siguientes casos: instalación de un equipo de producción de hormigón; modificación en procesos de mezclado; homogeneidad deficiente apreciada mediante vía visual; y una vez al año para cada equipo de mezclado. En caso de que se modifiquen procedimientos de transporte, o una alteración en la homogeneidad durante la colocación, se pueden extraer dos muestras de la misma amasada, asociadas al punto más próximo posible al lugar de colocación y a un punto intermedio entre la salida de la hormigonera y el sitio de colocación.

#### b) Ensayos

Con respecto a los ensayos que permiten evaluar la uniformidad, se encuentran los indicados en la Tabla 3.

*Tabla 3: Ensayos que permiten evaluar la uniformidad en el hormigón fresco.  
Fuente: elaboración propia a partir de (NCh1789: 1986: Hormigón- Determinación de la uniformidad obtenida en el mezclado de hormigón fresco, 1986) y la normativa de cada ensayo.*

| <b>Ensayo</b>                     | <b>Unidad de medición</b> | <b>Norma del ensayo</b> | <b>Aproximación utilizada</b>    |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| Densidad aparente del hormigón    | kg/m <sup>3</sup>         | Nch1564                 | 10 kg/m <sup>3</sup> más cercano |
| Asentamiento de Cono              | cm                        | NCh1019                 | a 0,5 cm                         |
| Resistencia a compresión a 7 días | MPa                       | NCh1037                 | a 0,1 MPa                        |
| Porcentaje de grava               | porcentaje                | NCh1789                 | a la décima                      |
| Densidad del mortero sin aire     | kg/m <sup>3</sup>         | NCh1789                 | Sin información                  |

#### c) Parámetros de control

Los parámetros de control que permiten medir la uniformidad de hormigón fresco se indican en la Tabla 4 . En primer lugar, se establecen los requisitos que deben cumplir todos los ensayos nombrados con anterioridad. En segundo lugar, se establecen parámetros de control de uniformidad, los cuales consisten en una cantidad mínimo de requisitos que deben cumplirse en los ensayos.

Tabla 4: Requisitos de cada ensayo y parámetros de control para determinar uniformidad en hormigón fresco.  
 Fuente: elaboración propia a partir de (NCh1789: 1986: Hormigón- Determinación de la uniformidad obtenida en el mezclado de hormigón fresco, 1986) y (ACI311-92: Manual para Supervisar Obras de Concreto, 1992).

| Requisitos de cada ensayo   | Diferencia máxima    | Norma del ensayo        | Parámetros de control   |
|---|----------------------|-------------------------|---|
| 1) Densidad aparente del hormigón:<br><br>diferencia entre ambos valores  | 15 kg/m <sup>3</sup> | NCh1564                 | 1. El hormigón de una misma amasada debe cumplir por lo menos cuatro de los cinco primeros requisitos para asegurar la homogeneidad.<br><br>2. En caso de hormigón con aire incorporado, se debe cumplir además con el requisito número 6.<br><br>3. En caso de que se requiera de una verificación rápida del grado de homogeneidad de la mezcla, se debe cumplir con el requisito número 2). En caso de incumplimiento, se debe rechazar la mezcla o corregir las condiciones de mezclado.<br><br>4. Para hormigón confeccionado in situ, la homogeneidad se logra con el cumplimiento de los requisitos de tiempos mínimos de mezclado establecidos en la norma ASTM C 94. |
| 2) Docilidad:<br><br>diferencia entre ambos valores:<br><br>a) para asentamientos de cono promedio <10 cm<br><br>b) para asentamientos de cono promedio >10 cm  | 2,5 cm<br><br>4,0 cm | NCh1019                 |   |
| 3) Resistencia a compresión a 7 días:<br><br>diferencia entre los valores promedio de cada muestra (%) con respecto al promedio de las muestras   | 7,5%                 | NCh1037                 |   |
| 4) Porcentaje de grava:<br><br>diferencia entre ambos valores   | 6,0%                 | NCh1789                 |   |
| 5) Densidad del mortero:<br><br>diferencia entre ambos valores (%) con respecto al promedio de los ensayos  | 1,6%                 | NCh1789                 |   |
| 6) Contenido de aire incorporado:<br><br>diferencia entre ambos valores   | 1,0%                 | NCh1564 o<br>ASTM C 231 |   |
| Nota 1: En caso de hormigón premezclado, la ACI311-92 recomienda el cumplimiento de los primeros 5 requisitos.  |                      |                         |   |
| Nota 2: Dado que el cumplimiento del tiempo mínimo de mezclado consume mucho tiempo, se permite reducirlo en mezcladoras de gran capacidad. En dicho caso, se deben realizar pruebas que aseguren la homogeneidad del hormigón en tiempos más cortos de mezclado. |                      |                         |   |

### 2.1.1.2 Docilidad

La docilidad (o trabajabilidad) se define como “la facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Jussara, 2004).

De acuerdo con el Compendio de Tecnología Del Hormigón (1992), este concepto nace a partir de otras dos características del material en este estado: fluidez (capacidad que tiene el concreto de fluir), y consistencia (fuerzas cohesivas en el hormigón). Se entiende que estas dos características son inversamente proporcionales, es decir, un aumento en la fluidez de la mezcla significa una menor consistencia. El conjunto de estas dos características constituye la docilidad del hormigón.

#### *Medición de docilidad*

##### a) Ensayos

La docilidad de una mezcla fresca puede medirse mediante una gran cantidad de ensayos. Si bien el Ensayo de Asentamiento de Cono es mundialmente el más aceptado y utilizado para medir la consistencia del hormigón fresco, existen otros ensayos que son utilizados para hormigones especiales. Los principales ensayos para medir docilidad en Chile son los indicados en la Tabla 5.

*Tabla 5: Principales ensayos para medir docilidad en el hormigón.  
Fuente: elaboración propia.*

| <b>Ensayo</b>   | <b>Unidad de medición</b> | <b>Norma del ensayo</b>                        | <b>Aproximación utilizada</b> | <b>Alcance de aplicación</b>        |
|---|---------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------------|
| Asentamiento de Cono                                      | cm                        | NCh1019  | a 0,5 cm                      | Asentamiento entre 1,5 y 21 cm      |
| Escurrimiento de Cono para hormigón autocompactante (HAC) | mm                        | NCh3113  | 10 mm                         | $D_n \leq 20$ mm                    |
| Mesa de Sacudidas para hormigón proyectado                | mm                        | Anteproyecto de norma: Mesa de Sacudidas (ICH) | 10 mm                         | Escurrimiento entre 340 mm y 600 mm |

Además de los ensayos mencionados anteriormente, existen otros tipos de ensayos para medir docilidad del hormigón en países extranjeros, que son aplicados en escenarios según como se indica en la Tabla 6.

Tabla 6: Otros ensayos para medir docilidad en el hormigón.  
Fuente: elaboración propia a partir de ( Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Jussara, 2004).

| Ensayo                            | Código ASTM   | Uso   |
|-----------------------------------|---------------|---|
| Penetración de la esfera de Kelly | ASTM C 360-92 | Comprobación rápida y económica de la consistencia de hormigón fresco en obra |
| VeBe                              | ASTM C 1170   | Trabajabilidad de hormigones de consistencia seca                             |
| Cono de asentamiento invertido    | ASTM C 995    | Consistencia de hormigones reforzados con fibras                              |

b) Parámetros de control

Los parámetros de control para medir docilidad se proponen para el ensayo Asentamiento de Cono de Abrams, y se presentan a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7: Criterios de aceptación para docilidad según Asentamiento de cono.  
Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

| Ensayo               | Norma de ensayo | Criterio de aceptación [mm] |            |
|----------------------|-----------------|-----------------------------|------------|
|                      |                 | Asentamiento                | Tolerancia |
| Asentamiento de cono | NCh1019         | ≤40                         | ±10        |
|                      |                 | 40 a 90                     | ±20        |
|                      |                 | ≥100                        | ±30        |

El ensayo de asentamiento de cono puede ser el método de medir docilidad siempre y cuando se cumpla con los rangos de asentamiento de la Tabla 8.

Tabla 8: Rangos de asentamiento de cono para aplicabilidad del ensayo.  
Fuente: (NCh1019: 2009: Hormigón - Determinación de la docilidad - Método del asentamiento del cono de Abrams, 2009).

| Aplicabilidad del Ensayo de Asentamiento de cono   |         |
|--|---------|
| Asentamiento mínimo  | 1,5 cm  |
| Asentamiento máximo  | 21,0 cm |
| Nota: El asentamiento máximo se puede ampliar a 23cm en hormigón con tamaño máximo nominal de árido menor que 37,5mm |         |

## Ajuste de docilidad

Se establece en la cláusula 9.6 de la norma NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), que en caso de no cumplimiento en el asentamiento de cono especificado y las respectivas tolerancias, existe un incumplimiento en el requisito de docilidad, ya sea por un asentamiento mayor al especificado o uno menor. En caso de que el asentamiento sea mayor, se debe extraer una nueva muestra que cumpla con el respectivo ensayo de verificación; en caso de que el asentamiento sea menor, se debe ajustar la docilidad del cono mediante agua o aditivos, según lo que indiquen las EETT del proyecto. En la Figura 5 se puede observar un diagrama de flujo que ilustra de mejor manera lo explicado anteriormente.



Figura 5: Diagrama de cumplimiento de requisito de docilidad. Fuente: elaboración propia a partir de (ACI301-16: Especificaciones para Concreto Estructural, 2016) y (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

## Bombeabilidad

En caso de requerir de bombas para la colocación del hormigón, el asentamiento de cono juega un papel importante puesto que indica si el hormigón es apto para ser bombeado una longitud de tubería dada y para ser elevado una cierta altura a niveles superiores de la obra, para lo cual, se proponen los valores indicados en la Tabla 9. Cabe destacar que estos valores se proponen a partir de la práctica misma y de recomendaciones de empresas de hormigón premezclado, y que además pueden variar siempre y cuando se compruebe mediante ensayos el funcionamiento en la colocación de dichos valores.

Tabla 9: Asentamiento de cono para diferentes configuraciones de tubería y altura de bombeo.  
Fuente: (Curso 1: Inspección Técnica en Obras de Hormigón, 2022).

| <b>Longitud de tubería</b>  | <b>Asentamiento de cono</b> |
|---|-----------------------------|
| hasta 70 m  | 10 cm                       |
| de 71 m a 100 m   | 12 cm                       |
| de 101m a 200m  | 16 cm                       |
| mayor a 100m  | 18cm a 20cm                 |
| <b>Altura de bombeo</b>   | <b>Asentamiento de cono</b> |
| hasta 25m   | 10cm                        |
| de 26m a 38m  | 12cm                        |
| de 39m a 50m  | 14cm                        |
| mayor a 51m   | 16cm                        |
| Nota: los valores de asentamiento pueden cambiar de acuerdo con recomendaciones de suministrador de hormigón. |                             |



## 2.1.2 Propiedades del hormigón endurecido

De acuerdo con el Compendio de Tecnología Del Hormigón, (1992), el hormigón experimenta un proceso de hidratación interno que lo lleva a un proceso de endurecimiento progresivo, el cual es complejo y de larga duración, y que finalmente transforma el hormigón de un material plástico a un sólido homogéneo. En el proceso inicial de hidratación es crucial que el hormigón cuente con suficiente humedad para que pueda desarrollar todas sus propiedades deseables, por lo cual resulta importantísimo realizar un buen proceso de curado. Dentro de estas numerosas propiedades que el hormigón desarrolla mientras se endurece, se encuentran la densidad, la resistencia mecánica, la durabilidad, y la permeabilidad/impermeabilidad.

### 2.1.2.1 Densidad

Según NCh1564: 2009: Hormigón - Determinación de la densidad aparente del hormigón fresco (2009), la densidad aparente del hormigón es el peso por unidad de volumen aparente que tiene el material (volumen real de la mezcla más volumen de aire arrastrado o incorporado).

Conforme con Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Jussara (2004), la densidad depende principalmente de la cantidad y la densidad de los áridos, la cantidad de aire y de las cantidades de agua y cemento. A mayor cantidad de áridos y mientras mayor sea la densidad de éstos, mayor será la densidad del hormigón. La cantidad de cemento también es directamente proporcional a la densidad del concreto. Por otro lado, esta es inversamente proporcional a las cantidades de aire y agua en el hormigón.

De acuerdo con Técnico en Ensayo de Hormigón Fresco en Obra TEHFO (2018), en caso de existir cambios de densidad, significa que hubo cambios en el contenido de aire y a veces cambios de materiales.

#### *Medición de densidad*

##### *a) Ensayo*

La densidad aparente del hormigón se puede obtener mediante el procedimiento indicado en la cláusula 6 de la norma NCh1564 (ver Tabla 10).

*Tabla 10: Densidad aparente en el hormigón fresco. Fuente: (NCh1564: 2009: Hormigón - Determinación de la densidad aparente del hormigón fresco, 2009).*

| <b>Ensayo</b>                        | <b>Unidad de medición</b> | <b>Norma del ensayo</b> | <b>Aproximación utilizada</b>     |
|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| Densidad aparente en hormigón fresco | kg/m <sup>3</sup>         | NCh1564                 | 10 kg/m <sup>3</sup> más cercanos |

Según el Anexo B de NCh1564: 2009: Hormigón - Determinación de la densidad aparente del hormigón fresco (2009), la diferencia entre dos resultados de un ensayo de densidad aparente realizado con la misma muestra y condiciones, no deben exceder el valor de repetibilidad  $r=15 \text{ kg/m}^3$  en una media de un caso en 20 casos de normal y correcta realización del método. Lo anterior es aplicable para densidades de hormigón entre 2300 y 2400  $\text{kg/m}^3$ .

b) *Parámetros de control*

El criterio de aceptación para el ensayo de densidad aparente se presenta a continuación en la Tabla 11.

*Tabla 11: Criterio de aceptación para Densidad aparente de hormigón fresco  
Fuente: elaboración propia a partir de la NCh170.*

| Ensayo            | Norma de ensayo | Criterio de aceptación  |                       |
|-------------------|-----------------|---|-----------------------|
| Densidad aparente | NCh1564         | Diferencia entre valor nominal de diseño y valor medido en obra | Tolerancia $\pm 3 \%$ |

La densidad aparente es importante también para medir el contenido efectivo de cemento en caso de que las EETT del proyecto establezcan dosis mínimas de cemento en la dosificación, por ejemplo, por requisitos de durabilidad. Se puede calcular la dosis de cemento según como se indica en la Tabla 12.

*Tabla 12: Cálculo de contenido efectivo de cemento.  
Fuente: (NCh1564: 2009: Hormigón - Determinación de la densidad aparente del hormigón fresco, 2009).*

| Cálculo de contenido efectivo de cemento | Unidad de medición                  | Norma   | Aproximación utilizada                |
|--|-------------------------------------|---------|---------------------------------------|
| $c = \frac{m_c}{V_a}$                    | $\text{kg}_{\text{cem}}/\text{m}^3$ | NCh1564 | 1 $\text{kg}_{\text{cem}}/\text{m}^3$ |

Donde:

- c: contenido efectivo de cemento expresado en kilogramo de cemento por metro cúbico;
- $m_c$ : masa de cemento incorporada a la amasada expresada en kilogramos;
- $V_a$ : volumen aparente de hormigón fresco, expresado en metro cúbico.

### 2.1.2.2 Resistencia

La resistencia mecánica es una de las propiedades más importante del hormigón endurecido, y es función de las características de este, por ejemplo, de la relación agua-cemento (relación A/C), del tipo y cantidad de cemento empleado y de su edad. También juegan un papel importantísimo las condiciones ambientales y de curado, dado que un curado adecuado permite maximizar el desarrollo de resistencia.

De acuerdo con el ACI 318-19: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (2019), las mezclas de hormigón dosificadas de acuerdo con las EETT del proyecto deben lograr una resistencia promedio a la compresión que exceda el valor de la resistencia especificada  $f'_c$ . Lo anterior se puede controlar vía conceptos estadísticos. Cuando el hormigón se diseña para lograr un nivel de resistencia mayor que  $f'_c$ , se asegura que la resistencia de los ensayos tenga una probabilidad alta de cumplir los criterios de aceptación de la resistencia establecidos en la evaluación estadística.

Además, la evaluación estadística se diferencia dependiendo del tipo de resistencia que se esté midiendo. Por un lado, se cuenta con la evaluación estadística para resistencia potencial medida en probetas moldeadas, detallada en NCh1998, y, por otro lado, se cuenta con la evaluación estadística para resistencia real medida en testigos endurecidos de hormigón, detallada en NCh1171/2.

En consonancia con NCh1998: 1989: Hormigón - Evaluación Estadística de la resistencia mecánica (1989), la extracción de testigos de hormigón endurecido está ligada principalmente a situaciones indeseables de no cumplimiento en las resistencias individuales de probetas de hormigón, siendo menores a la resistencia límite inferior.

#### *Medición de Resistencia*

##### a) Muestreo

###### *Probetas moldeadas de hormigón fresco*

La extracción de muestras para hormigón fresco se debe efectuar de acuerdo con las EETT o según lo que indique la norma NCh171. Posteriormente, la confección y conservación de probetas para ensayos de resistencia mecánica se debe efectuar según NCh1017.

Según se indica en NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), el plan de muestreo debe quedar establecido en las EETT o en la norma de diseño. En caso de que no, debe considerarse como mínimo el plan de muestreo establecido en la cláusula 17 de la misma norma, y que se detalla a continuación en la Tabla 13.

Tabla 13: Plan de muestreo para hormigón fresco.  
Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

| Procedencia del hormigón               | Volumen de hormigón de la obra [m <sup>3</sup> ] |      |
|--|--|------|
|  | >250   | ≤250 |
| <b>Confeccionado en obra</b>           |  |      |
| Volumen máximo de hormigón por muestra | 100  | 50   |
| Número mínimo de muestras              | 5  | 3    |
| <b>De central hormigonera</b>          |  |      |
| Volumen máximo de hormigón por muestra | 150  | 75   |
| Número mínimo de muestras              | 5  | 3    |

### *Testigos de hormigón endurecido*

De acuerdo con NCh1037: 2009: Hormigón: Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas (2009), la extracción y acondicionamiento de testigos debe realizarse según lo que indique la norma NCh1171/1.

En consonancia con NCh1998: 1989: Hormigón - Evaluación Estadística de la resistencia mecánica (1989), el plan de muestreo del hormigón endurecido debe quedar establecido en las EETT o en la norma de diseño. En caso de que no, debe considerarse como mínimo lo indicado en la cláusula 5.1.3 de la misma norma, y que se detalla a continuación en la Tabla 14.

Tabla 14: Plan de muestreo para testigos de hormigón.  
Fuente: (NCh1998: 1989: Hormigón - Evaluación Estadística de la resistencia mecánica, 1989).

| Tipo de Hormigón       | Frecuencia de muestreo  |
|------------------------|---|
| Hormigón de pavimentos | 1 testigo cada 1000 m <sup>2</sup> de superficie con un mínimo de 3 |
| Hormigones en general  | 3 testigos por zona a evaluar                                       |

### *b) Ensayos*

#### *Ensayo de resistencia a la compresión y flexotracción*

Los procedimientos del ensayo de resistencia a la compresión y tracción por flexión se encuentran detallados en la NCh1037: 2009: Hormigón: Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas, y NCh1038: 2009: Hormigón - Ensayo de tracción por flexión, respectivamente. Con respecto a la expresión de resultados, se establece lo que indica la Tabla 15.

Tabla 15: Ensayos de resistencia mecánica en el hormigón. Fuente: elaboración propia a partir de (NCh1037: Hormigón: Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas, 2009) y (NCh1038: Hormigón - Ensayo de tracción por flexión, 2009).

| Ensayo                                | Unidad de medición | Norma del ensayo | Aproximación utilizada |
|---------------------------------------|--------------------|------------------|------------------------|
| Resistencia a la compresión           | MPa                | NCh1037          | 0,10 MPa               |
| Resistencia a la tracción por flexión | MPa                | NCh1038          | 0,05 MPa               |

Según NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), los resultados individuales de resistencia mecánica corresponden al promedio de la resistencia a 28 días (o a la edad especificada en el proyecto) de al menos dos probetas gemelas confeccionadas a partir de la misma muestra.

### *Método de Madurez*

Una manera de estimar la resistencia del hormigón es mediante la madurez, el cual es un indicador para estimar la resistencia que va adquiriendo el hormigón en el tiempo, a partir de una relación entre la temperatura del hormigón y el tiempo que éste se encuentre a esa temperatura. Según NCh3565: 2018: Hormigón - Estimación de la resistencia mecánica - Método de la madurez (2018), el cálculo del Índice de Madurez viene dado por la ecuación (1).

$$M(t) = \sum (T - T_0) \Delta t \quad (1)$$

Donde:

- M: Índice de Madurez del hormigón [°C h];
- T: Promedio de la temperatura del hormigón en cada intervalo de tiempo [°C];
- T<sub>0</sub>: Temperatura Datum, que en condiciones normales se considera igual a 0°C;
- Δt: intervalo de tiempo [h].

Cabe destacar que cada tipo de hormigón tiene su propia curva de madurez-resistencia, correspondiente a una relación empírica entre la resistencia y el índice de madurez, que se obtiene al ensayar probetas cuyos registros de temperatura se han registrado hasta el momento del ensayo.

De acuerdo a NCh3565: 2018: Hormigón - Estimación de la resistencia mecánica - Método de la madurez (2018), para estimar la resistencia mecánica real del hormigón en obra, se registran sus temperaturas desde el momento de la colocación hasta la edad requerida. La temperatura se mide con un dispositivo capaz de efectuar mediciones cada 30 minutos o

menos, y cuya precisión debe ser de  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Otra manera de medir la madurez es con dispositivos que entregan directamente  $M(t)$ , pero deben permitir ajustar el valor de  $T_0$ . En cuanto a los procedimientos para determinar la relación Madurez- Resistencia, se debe considerar lo indicado en las cláusulas 6.1 y 6.2 de la misma norma, para resistencia a la compresión y tracción, respectivamente. Así mismo, para estimar la resistencia en obra, se debe regir por lo indicado en la cláusula 7 de la misma norma.

Dicho todo lo anterior, es importante recalcar que el método de madurez no se utiliza para la aceptación/ rechazo de hormigón por resistencia mecánica, sino que, según NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), es utilizado para determinar el “tiempo apropiado de descimbre y para desarrollar un método de control para tiempos de curado o aplicación de protección en climas extremos”.

c) *Criterios de Aceptación*

*Resistencia potencial en probetas de hormigón moldeadas a partir de hormigón fresco*

El procedimiento de evaluación estadística de resistencia a compresión para la aceptación del hormigón se encuentra detallado en la cláusula 5 de NCh1998: 1989: Hormigón - Evaluación Estadística de la resistencia mecánica (1989). Se indica que la evaluación estadística se puede realizar mediante dos métodos: por grupos de muestras consecutivas y por el total de muestras. La elección del método a utilizar depende de lo estipulado en las EETT del proyecto. En caso de que no haya sido aclarado, se recomienda en la misma norma el uso del método de evaluación por muestras consecutivas, siempre y cuando el número total de muestras del lote sea mayor o igual a 10 (en caso contrario, utilizar el método del total de muestras). Los criterios de aceptación para cada método son los que se indican en la Tabla 16.

Tabla 16: Criterios de aceptación según evaluación estadística de resistencia potencial para probetas moldeadas a partir de hormigón fresco. Fuente: (NCh1998: 1989: Hormigón - Evaluación Estadística de la resistencia mecánica, 1989).

| <b>Método de evaluación estadística de resistencia potencial a compresión</b>  | <b>Norma de ensayo</b> | <b>Requisitos</b>  | <b>Criterio de aceptación</b>       |
|--|------------------------|--|-------------------------------------|
| Por grupos de muestras consecutivas  | NCh1998                | i) $f_3 \geq f_c + k_1$<br>ii) $f_i \geq f_o = f_c - k_2$        | Cumplimiento simultáneo de i) y ii) |
| Por el total de muestras   | NCh1998                | i) $f_m \geq f_c + s \times t$<br>ii) $f_i \geq f_o = f_c - k_2$ | Cumplimiento simultáneo de i) y ii) |
| Nota: Con respecto a la resistencia a la tracción, se realiza la evaluación estadística según el Anexo B de NCh1998, aunque es un método poco frecuente de realizar. |                        |  |                                     |

Donde:

- $f_3$ : resistencia media de las tres muestras consecutivas del lote [MPa];
- $f_c$ : resistencia especificada a la rotura por compresión [Mpa];
- $f_i$ : resistencia individual de cada muestra [Mpa];
- $f_o$ : límite inferior para la resistencia  $f_i$  de cada muestra [Mpa];
- $k_1$  y  $k_2$ : constantes de evaluación (ver Tabla 3 de NCh1998).
- $f_m$ : resistencia media del lote [Mpa];
- $s$ : desviación normal de las resistencias individuales  $f_i$  [Mpa];
- $t$ : factor estadístico (ver Tabla 4 de NCh1998).

Por otro lado, según cláusula 6 de NCh1998: 1989: Hormigón - Evaluación Estadística de la resistencia mecánica (1989), en caso de que no se cumpla con los requisitos establecidos en la Tabla 16, se deben tomar medidas establecidas en las EETT del proyecto y en la norma de diseño correspondiente. En caso de que no se encuentre establecido, se deben aplicar las medidas del Anexo A de la misma norma, las cuales se detallan en la Tabla 17.

*Tabla 17: Recomendaciones derivadas de la evaluación estadística.*

*Fuente: (NCh1998: 1989: Hormigón - Evaluación Estadística de la resistencia mecánica, 1989).*

| <b>Método de evaluación</b>         | <b>Antecedentes</b>         |                | <b>Conclusiones</b>   | <b>Recomendaciones</b>   |
|-------------------------------------|-----------------------------|----------------|---|--|
| Por grupos de muestras consecutivas | $f_3 \geq f_c + k_1$        | $f_i \geq f_o$ | El hormigón cumple con la resistencia especificada  |  |
|                                     | $f_3 < f_c + k_1$           | $f_i \geq f_o$ | El hormigón cumple no con la resistencia especificada   | Informar a los Proyectistas Estructurales y considerar las penalizaciones establecidas en el Contrato y sus Documentos anexos. |
|                                     | $f_i < f_o$                 |                | El hormigón cumple no con la resistencia especificada y cada resultado defectuoso debe ser considerado como un riesgo potencial | Adoptar medidas establecidas en el Anexo 4 de NCh1998.   |
| Por el total de muestras            | $f_m \geq f_c + s \times t$ | $f_i \geq f_o$ | El hormigón cumple con la resistencia especificada  |  |
|                                     | $f_m < f_c + s \times t$    | $f_i \geq f_o$ | El hormigón cumple no con la resistencia especificada   | Informar a los Proyectistas Estructurales y considerar las penalizaciones establecidas en el Contrato y sus Documentos anexos. |
|                                     | $f_i < f_o$                 |                | El hormigón cumple no con la resistencia especificada y cada resultado defectuoso debe ser considerado como un riesgo potencial | Adoptar medidas establecidas en el Anexo 4 de NCh1998.   |

Por otra parte, se propone en el ACI 318-19: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (2019), otra metodología para la evaluación estadística de resistencia a la compresión de muestras de hormigón, la cual se detalla en la Tabla 18.

Tabla 18: Criterios de aceptación para resistencia a compresión de muestras de hormigón.

Fuente: (ACI 318-19: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, 2019).

| Ensayo                               | Código | Requisitos  | Criterio de aceptación                         |
|--------------------------------------|--------|---|--|
| Resistencia a compresión de muestras | ASTM39 | i) Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a $f'c$<br><br>ii) Si:<br>$f'c \leq 35$ MPa:<br>Ningún resultado del ensayo de resistencia es menor que $f'c$ en más de 3,5 [MPa]<br><br>$f'c > 35$ MPa:<br>Ningún resultado del ensayo de resistencia es menor en más de $0,1 f'c$ | Cumplimiento simultáneo de requisitos i) y ii) |

### Resistencia real en testigos endurecidos de hormigón

La evaluación estadística de resistencia mecánica para testigos debe cumplir con lo establecido en NCh1171/2: 2001: Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 2: Evaluación de resultados de resistencia mecánica. Luego, la evaluación de resultados para resistencia a compresión de testigos viene dada por la Tabla 19.

Tabla 19: Criterios de aceptación de resistencia a la compresión para testigos de hormigón.

Fuente: (NCh1171/2: Hormigón-Testigos de hormigón endurecido-Parte 2: Evaluación resultados resistencia mecánica, 2001).

| Ensayo   | Norma de ensayo | Requisitos  | Criterio de aceptación                         |
|--|-----------------|---|--|
| Evaluación estadística:<br>Resistencia real a compresión de testigos | NCh1171/2       | i) $R_{pm} \geq 0,85 f_{cil}$<br>ii) $R_{pi} \geq 0,75 f_{cil}$ | Cumplimiento simultáneo de parámetros i) y ii) |

Donde:

$R_{pi}$ : resultado de resistencia del testigo a la edad de ensayo [MPa];  
 $R_{pm}$ : promedio aritmético de los resultados de resistencia del lote [MPa];  
 $f_{cil}$ : resistencia a compresión especificada en el proyecto [MPa];  
 0,75 y 0,85: constantes de evaluación adimensionales (definidas en Anexo A de NCh1171/2).

De acuerdo con NCh1171/2: 2001: Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 2: Evaluación de resultados de resistencia mecánica (2001), en caso de que no se cumpla con



la aceptación del hormigón, será el profesional a cargo del proyecto quien debe decidir las acciones a seguir.

d) *Evaluación de laboratorios*

La evaluación del nivel de control de los ensayos se detalla en la cláusula 5.3 de NCh1998: 1989: Hormigón - Evaluación Estadística de la resistencia mecánica, según como se indica en la Tabla 20 a continuación.

*Tabla 20: Nivel de control de ensayos en evaluación estadística de resistencia.*

*Fuente: (NCh1998: 1989: Hormigón - Evaluación Estadística de la resistencia mecánica, 1989).*

| <b>V1 [%]</b>  | <b>Nivel de control de ensayos</b> | <b>Norma</b> |
|--|------------------------------------|--------------|
| $0 \leq V1 \leq 3,0$   | Excelente                          | NCh1998      |
| $3,0 < V1 \leq 4,0$  | Muy bueno                          |              |
| $4,0 < V1 \leq 5,0$  | Bueno                              |              |
| $5,0 < V1 \leq 6,0$  | Aceptable                          |              |
| $6,0 < V1$   | Deficiente                         |              |
| Nota: caso que $V1 > 6\%$ (deficiente), se debe emplear otro procedimiento para evaluar la resistencia del hormigón. |                                    |              |

Donde:

$V1$  = coeficiente de variación del ensayo [%], calculado según c. 5.3.2 de NCh1998.

La evaluación del nivel de control de los ensayos cobra vital importancia cuando el contratista está trabajando con diferentes laboratorios de manera simultánea, a modo de que pueda comparar el desempeño entre ellos y, además, la evaluación individual en el nivel de control de los ensayos. Por otro lado, en caso de que el contratista trabaje con un laboratorio, el nivel de control de ensayos le permite realizar una evaluación de proveedores de hormigón, por ejemplo, cuando se tiene un sistema de gestión de calidad que se debe cumplir.

## Resumen Propiedades del Hormigón

Recapitulando, se presenta en la Tabla 21 un resumen de todas las propiedades mencionadas momentáneamente, con sus principales ensayos y métodos que permiten establecer los criterios de aceptación en cada una de ellas.

Tabla 21: Resumen de propiedades de hormigón con sus respectivos ensayos y criterios de aceptación. Fuente: elaboración propia a partir de información de tablas anteriores.

| Sección Propiedad                   | Ensayos/Métodos que miden propiedad  | Norma del ensayo/ método | Tolerancias o criterios de aceptación  |   |
|-------------------------------------|--|--------------------------|--|---|
| 2.1.1.1<br>Homogeneidad             | Ensayo de Densidad aparente del hormigón                                       | NCh1564                  | Ver Tabla 4 del presente capítulo  |   |
|                                     | Ensayo de Asentamiento de Cono   | NCh1019                  |  |   |
|                                     | Ensayo de Resistencia a compresión a 7d  | NCh1037                  |  |   |
|                                     | Ensayo de Porcentaje de grava  | NCh1789                  |  |   |
|                                     | Ensayo de Densidad del mortero sin aire  | NCh1789                  |  |   |
| 2.1.1.2<br>Docilidad                | Ensayo de Asentamiento de Cono   | NCh1019                  | <b>Asentamiento</b><br>$\leq 40$ mm<br>40 a 90 mm<br>$\geq 100$ mm             | <b>Tolerancia</b><br>$\pm 10$ mm<br>$\pm 20$ mm<br>$\pm 30$ mm    |
| 2.1.2.1<br>Densidad                 | Ensayo de Densidad aparente del hormigón                                       | NCh1564                  | Diferencia entre valor nominal de diseño y valor medido en obra                | <b>Tolerancia</b><br>$\pm 3$ %                                    |
| 2.1.2.2<br>Resistencia a compresión | Evaluación estadística por Método de grupos de muestras consecutivas           | NCh1998                  | <b>Requisitos</b><br>i) $f_3 \geq f_c + k_1$<br>ii) $f_i \geq f_o = f_c - k_2$ | <b>Criterio Aceptación</b><br>Cumplimiento simultáneo de i) y ii) |
|                                     | Evaluación estadística por Método del Total de muestras                        | NCh1998                  | i) $f_m \geq f_c + s \times t$<br>ii) $f_i \geq f_o = f_c - k_2$               | Cumplimiento simultáneo de i) y ii)                               |
|                                     | Evaluación estadística por Método de Resistencia real a compresión de testigos | NCh1171/1<br>NCh1171/2   | i) $R_{pm} \geq 0,85 f_{cil}$<br>ii) $R_{pi} \geq 0,75 f_{cil}$                | Cumplimiento simultáneo de i) y ii)                               |

### **2.1.2.3 Durabilidad**

La durabilidad se refiere a la habilidad que tiene el hormigón para resistir las acciones del ambiente, los ataques químicos y la abrasión, manteniendo sus propiedades mecánicas durante su vida útil sin deteriorarse. Dependiendo de las propiedades que se requieran para el hormigón, y de la clase de exposición a la que estará sometido durante su vida útil, es que se deben exigir ciertos aspectos de durabilidad para el elemento. Para determinarlos, es importante conocer las diferentes acciones que puedan afectar la durabilidad del hormigón. Estas acciones son agentes internos y externos que pueden ser producidos por agentes físicos o químicos, dependiendo del tipo de exposición.

Otra propiedad del hormigón, y que va de la mano con la durabilidad, es la permeabilidad, que es detallada en la próxima sección 2.1.2.4. Es indispensable contar con un hormigón impermeable cuando este está expuesto a diferentes agentes externos, como, por ejemplo, sulfatos, cloruros y hormigones en contacto con agua.

#### *Requisitos de Durabilidad para cada clase de exposición*

Existen diferentes clases de exposición a las que puede estar sometido un hormigón, y se pueden diferenciar principalmente en dos grandes grupos: agentes internos y agentes externos. Dentro de los agentes internos que condicionan la integridad del hormigón, se encuentra la presencia de sulfatos y cloruros en los componentes del hormigón, y la existencia de áridos reactivos o potencialmente reactivos. Por otro lado, dentro de los agentes externos están los Ciclos de Hielo-Deshielo, ataque de sulfatos, ataque de cloruros y el contacto con agua.

### Agentes internos

El contenido máximo de sulfatos, de cloruros y la reacción árido álcali son requisitos que deben ser verificados por el fabricante del hormigón. A continuación, se detallan cada uno de ellos.

#### 2.1.2.3.1 Contenido máximo de sulfatos (SO<sub>4</sub>)

El contenido máximo de sulfatos en los componentes internos del hormigón, exceptuando el cemento, debe cumplir con lo indicado en la Tabla 22. Se mide con respecto al peso total de cemento.

*Tabla 22: Contenido máximo de sulfatos en los componentes internos del hormigón.  
Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).*

| <b>Clase de Exposición</b>  | <b>Requisito</b>                     |
|---|--------------------------------------|
| Presencia de Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) en los componentes   | SO <sub>4</sub> < 2% peso de cemento |
| Nota 1: el contenido de sulfatos se mide con respecto al peso total de cemento.   |                                      |
| Nota 2: el contenido de sulfatos en el agua de amasado se puede determinar de acuerdo a lo indicado en NCh1498, y debe ser información entregada por el respectivo suministrador de hormigón (o del contratista en caso de hormigón confeccionado en obra). |                                      |
| Nota 3: el contenido de sulfatos en los áridos se puede determinar según NCh1444 y debe ser información entregada por el respectivo suministrador de hormigón (o del contratista en caso de hormigón confeccionado en obra).                                |                                      |

### 2.1.2.3.2 Contenido máximo de cloruros (Cl<sup>-</sup>)

El contenido máximo de iones cloruro solubles (Cl<sup>-</sup>) en los componentes internos del hormigón debe cumplir con lo indicado en la Tabla 23.

Tabla 23: Contenido máximo de iones cloruros solubles en el hormigón. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

| Clase de Exposición  | Tipo de hormigón                             | Contenido de Cl <sup>-</sup><br>[kg Cl <sup>-</sup> /m <sup>3</sup> ] |
|--|--|---|
| Presencia de Cl <sup>-</sup> en los componentes  | Hormigón reforzado y hormigón en masa armado | 1,20  |
|  | Hormigón pretensado                          | 0,25  |
| Nota 1: Contenido de Cl <sup>-</sup> se mide considerando el aporte de todos los componentes con respecto a 1 metro cúbico de hormigón.  |  |   |
| Nota 2: el contenido de cloruros en el agua de amasado se puede determinar según lo indicado en NCh1498, y debe ser información entregada por el respectivo suministrador de hormigón (o del contratista en caso de hormigón confeccionado en obra). |  |   |
| Nota 3: el contenido de cloruros en los áridos se puede determinar según NCh1444 y debe ser información entregada por el respectivo suministrador de hormigón (o del contratista en caso de hormigón confeccionado en obra).                         |  |   |

### 2.1.2.3.3 Reacción árido álcali

Esta clase de exposición hace referencia cuando el hormigón cuenta con la presencia de áridos reactivos o potencialmente reactivos, y además está expuesto a ambientes de humedad o sumergido. En dicho caso, se deben cumplir con lo detallado en la Tabla 24.

*Tabla 24: Criterio de aceptación para confeccionar hormigones con áridos reactivos o potencialmente reactivos.  
Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).*

| <b>Clase de Exposición</b>  | <b>Requisitos</b>  | <b>Criterio de aceptación</b>                  |
|---|--|--|
| Reacción árido álcali   | <ul style="list-style-type: none"><li>i) Se dispone información de obras similares en las cuales no se haya presentado daño con la reacción árido álcali</li><li>ii) Verificación que la expansión determinada según ASTM C 227 sea menor que 0,05% a 3 meses o menor que 0,10% a 6 meses</li><li>iii) Utilización de cemento Portland (NCh148) cuyo contenido de álcalis solubles no sea mayor a 0,6%</li><li>iv) Se cuente con estudios especiales que permitan su uso</li></ul> | Cumplimiento de al menos uno de los requisitos |
| Nota: el informe de áridos reactivos o potencialmente reactivos debe ser entregada por el respectivo suministrador de hormigón (o suministrador de áridos en caso de hormigón confeccionado in situ). |  |  |

## Agentes Externos

Según NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), el proyectista estructural debe asignar los grados de exposición de acuerdo con la severidad de estos en los elementos de hormigón, para cada grado de exposición establecido en la misma norma. Además, se establece que el proyectista debe considerar si el proyecto toma en cuenta medidas especiales de protección para el elemento. Así mismo, el contratista con revisión de la ITO debe verificar dichos grados de exposición asignados por el proyectista.

Los requisitos para cada uno de los agentes externos se detallan a continuación.

### 2.1.2.3.4 Ciclos de hielo-deshielo

Según se indica en NCh2185: 1992: Hormigón y mortero - Método de ensayo – Determinación de la resistencia a la congelación y el deshielo (1992), la durabilidad al congelamiento y deshielo se puede determinar a través de pruebas de laboratorio, como se indica en la Tabla 25.

Tabla 25: Ensayo para determinar la resistencia a la congelación y deshielo. Fuente: (NCh2185: 1992: Hormigón y mortero - Método de ensayo – Determinación de la resistencia a la congelación y el deshielo, 1992).

| Ensayo  | Unidad de medición | Norma del ensayo | Aproximación utilizada |
|---|--------------------|------------------|------------------------|
| Determinación de la resistencia a la congelación y deshielo (Expansión relativa de probetas %E) | %                  | NCh2185          | 0,001%                 |

De acuerdo con NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), un hormigón expuesto a la acción de ciclos de congelación y deshielo, debe tener requisitos mínimos en la resistencia especificada, el contenido total de aire y el tamaño máximo nominal del árido, según la clase de exposición (F0, F1, F2 o F3) a la que está sometido.

El contenido total de aire en el hormigón se mide según NCh2184: 1992: Hormigón y mortero - Método de ensayo - Determinación del contenido de aire (1992), cuya expresión de resultados se detalla en la Tabla 26.

Cabe destacar que para diámetro de árido menor o igual a 40 mm, el contenido de aire se obtiene directamente de la lectura del dial que presenta el equipo de medición. En caso de que el diámetro de árido sea mayor a 40 mm, el contenido de aire del hormigón se determina según cláusula 7.2 de la misma norma.

Tabla 26: Ensayo de determinación de contenido de aire en el hormigón. Fuente: (NCh2184: 1992: Hormigón y mortero - Método de ensayo - Determinación del contenido de aire, 1992).

| Ensayo            | Unidad de medición | Norma del ensayo | Aproximación utilizada |
|-------------------|--------------------|------------------|------------------------|
| Contenido de Aire | %                  | NCh2184          | 0,1%                   |

Una vez que ya se ha definido el ensayo de contenido de aire en el hormigón, se presenta en la Tabla 27 los requisitos de durabilidad según los diferentes grados de exposición que hay en los ciclos hielo-deshielo.

Tabla 27: Requisitos de durabilidad para hormigón sometido a ciclos hielo-deshielo.

Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

| Grado de exposición  |  | Mínimo grado de resistencia especificado<br><br>MPa | Aire total<br><br>% | Tamaño máximo nominal del árido, D <sub>n</sub><br><br>mm |
|--|--|---|---------------------|---|
| F0   | Hormigón no expuesto a congelación y deshielo  | Sin restricción                                     | Sin restricción     | Sin restricción   |
| F1   | Hormigón expuesto a congelación y deshielo y ocasionalmente expuesto a humedad   | G30   | 6,0                 | 10  |
|  |  |   | 5,0                 | 20  |
|  |  |   | 4,5                 | 40  |
| F2   | Hormigón expuesto a congelación y deshielo y en contacto continuo con humedad  | G30   | 7,5                 | 10  |
|  |  |   | 6,0                 | 20  |
|  |  |   | 5,5                 | 40  |
| F3   | Hormigón expuesto a congelación y deshielo y en contacto continuo con humedad y expuesto a productos químicos descongelantes | G35   | 7,5                 | 10  |
|  |  |   | 6,0                 | 20  |
|  |  |   | 5,5                 | 40  |
| Nota 1: La tolerancia en el contenido de aire es de $\pm 1,5\%$ . Para hormigones de grado superior a G35, el contenido total de aire se puede reducir en 1%.  |  |   |                     |   |
| Nota 2: Independiente del grado de exposición, se puede utilizar hormigones con resistencias y contenidos de aire distintos a los prescritos, si se demuestra mediante ensayos de comportamiento del hormigón que la expansión máxima obtenida (Tabla 25) no es mayor que 0,05%. |  |   |                     |   |

En la tesis de Peyresblanques (2019), se propone una zonificación por regiones para Chile para cada clase de exposición, F0, F1, F2 y F3, tal y como lo muestra se muestra en la Figura 6.



### ZONIFICACIÓN DE CHILE SEGÚN CLASES DE EXPOSICION CICLOS HIELO-DESHIELO

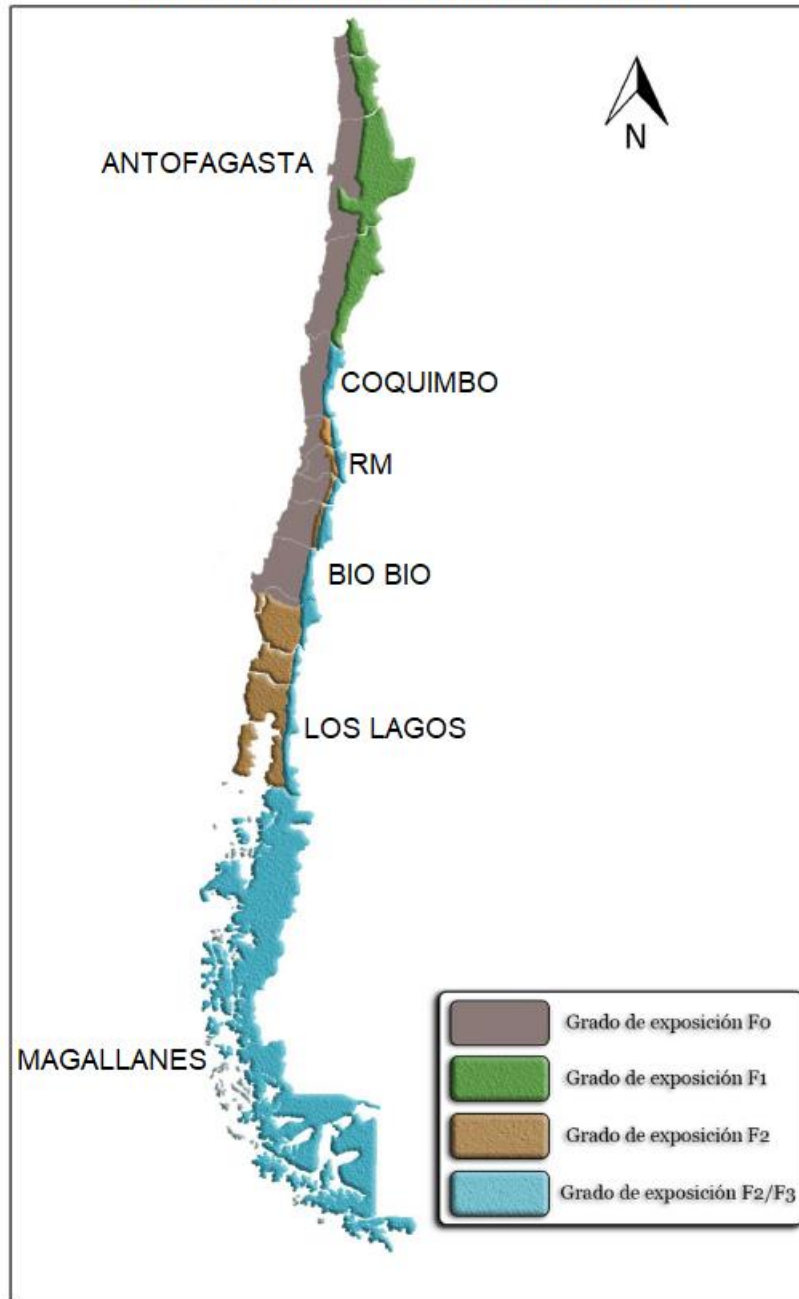


Figura 6: Zonificación nacional según clases de exposición ciclos hielo-deshielo.  
Fuente: (Peyresblanques, 2019).

### 2.1.2.3.5 Sulfatos

De acuerdo con NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), los requisitos de durabilidad del hormigón por ataque externo de sulfatos se encuentran definidos según el grado de exposición (S0, S1, S2 o S3) a la que esté sometido el material, tal y como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28: Requisitos de durabilidad para hormigón sometido a ataque de sulfatos.

Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

| Grado de exposición  |             | Mínimo grado de resistencia especificado | Dosis mínima de cemento | Profundidad Penetración agua (NCh2262) |
|--|-------------|--|-------------------------|--|
|  |             | MPa                                      | kg/m <sup>3</sup>       | mm                                     |
| S0   | No agresivo | G17                                      | 240                     | -                                      |
| S1   | Moderada    | G25                                      | 320                     | ≤40                                    |
| S2   | Severa      | G30                                      | 340                     | ≤30                                    |
| S3   | Muy severa  | G35                                      | 360                     | ≤20                                    |
| Nota 1: Para los grados de exposición S1, S2 y S3 se debe cumplir con el mínimo grado de resistencia especificada y con uno de los siguientes requisitos: dosis mínima de cemento o profundidad de penetración de agua, según indique EETT del proyecto. |             |  |                         |  |
| Nota 2: La Profundidad de Penetración de Agua es un ensayo que permite cuantificar la permeabilidad en el hormigón, y que es detallado en la sección 2.1.2.4 "Permeabilidad".  |             |  |                         |  |
| Nota 3: Para cada grado de exposición el hormigón debe cumplir con el requisito de resistencia mínima y con uno de los siguientes requisitos: dosis mínima de cemento o profundidad de penetración de agua, según indicación de EETT del proyecto.       |             |  |                         |  |

Además, según NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), el proveedor del cemento debe cumplir con requisitos de cemento, de acuerdo con lo indicado en la Tabla 29.

Tabla 29: Requisitos del cemento para suministrador.

Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

| Grado de exposición  | Requisitos del cemento                    |                               |
|--|---|-------------------------------|
|  | Porcentaje de expansión según ASTM C 1012 | Contenido C3A en el cemento % |
| S0   | Sin restricción                           | Sin restricción               |
| S1   | 0,10 a 6 meses                            | ≤ 8                           |
| S2   | 0,05 a 6 meses                            | ≤ 6                           |
| S3   | 0,05 a 6 meses                            | ≤ 5                           |
| Nota 1: el cemento utilizado debe cumplir con al menos uno de los dos requisitos indicados según grado de exposición.  |   |                               |
| Nota 2: en caso de que el cemento no cumpla el requisito de expansión a 6 meses, se puede utilizar siempre que la expansión no sea mayor que 0,10% a un año. |   |                               |

### 2.1.2.3.6 Agentes externos que provocan corrosión

Se detalla en NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), los agentes externos que provocan corrosión en las armaduras del hormigón armado, los cuales se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30: Grados exposición que provocan corrosión. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

| Grado |             | Agente externo | Exposición en condiciones de servicio   |
|-------|-------------|----------------|---|
| C0    | No agresivo | No aplica      | Hormigón seco o protegido de la humedad ambiental   |
| C1    | Leve        | CO2            | Hormigón húmedo expuesto a altas concentraciones de CO2   |
| C2-A  | Moderado    | Cloruro        | Hormigón sumergido completamente en agua que contiene cloruro   |
| C2-B  | Severo      | Cloruro        | Hormigón húmedo expuesto a aire salino  |
| C2-C  | Muy severo  | Cloruro        | Hormigón expuesto a ciclos de humedad y a una fuente externa de cloruro proveniente de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen |

Luego, los requisitos de durabilidad del hormigón frente al ataque de agentes externos que provocan corrosión, según cada grado de exposición, se exhiben en la Tabla 31.

Tabla 31: Requisitos de durabilidad para hormigón frente al ataque de agentes que provocan corrosión.

Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

| Grado de exposición  | Mínimo grado de resistencia especificado | Dosis mínima de cemento | Profundidad Penetración agua (NCh2262) |
|--|--|-------------------------|--|
|  | MPa                                      | kg/m <sup>3</sup>       | mm                                     |
| C0   | G17                                      | 240                     | -                                      |
| C1   | G17                                      | 270                     | ≤50                                    |
| C2-A   | G20                                      | 300                     | ≤40                                    |
| C2-B   | G25                                      | 330                     | ≤30                                    |
| C2-C   | G35                                      | 360                     | ≤20                                    |
| <p>Nota 1: Para los grados de exposición C1, C2-A, C2-B y C2-C se debe cumplir con el mínimo grado de resistencia especificada y con uno de los siguientes requisitos: dosis mínima de cemento o profundidad de penetración de agua, según indique la EETT del proyecto.</p>               |  |                         |  |
| <p>Nota 2: El proyectista puede disminuir en 5 MPa el mínimo grado de resistencia indicado en esta tabla cuando se haya especificado la profundidad de penetración de agua en lugar de la dosis mínima de cemento, siempre cumpliendo que el grado mínimo de resistencia debe ser G17.</p> |  |                         |  |
| <p>Nota 3: Para cada grado de exposición el hormigón debe cumplir con el requisito de resistencia mínima y con uno de los siguientes requisitos: dosis mínima de cemento o profundidad de penetración de agua, según indicación de EETT del proyecto.</p>                                  |  |                         |  |

Según ACI201-2R-01: Guía para la durabilidad del hormigón (2001), la carbonatación (clase de exposición C1), puede ser beneficiosa o perjudicial, dependiendo del tiempo, la tasa y la extensión de la carbonatación. Por una parte, puede ser beneficiosa en aquellos casos que sea inducida de manera intencional para mejorar las propiedades del hormigón; por otro lado, la carbonatación puede causar la corrosión de la armadura próxima al recubrimiento. Por último, se establece que las mayores tasas de carbonatación se producen cuando hormigones permeables están expuestos a grandes concentraciones de CO<sub>2</sub>, y con humedades relativas del aire entre el 50 y 75%. Dicho lo anterior, una manera de disminuir la probabilidad de carbonatación es disminuir la permeabilidad del hormigón con un buen proceso de compactación.

### 2.1.2.3.6 Hormigón en contacto con agua

Se detallan en NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), los requisitos de durabilidad del hormigón cuando está en contacto con agua, según cada grado de exposición, los cuales se presentan en la Tabla 32.

*Tabla 32: Requisitos de durabilidad para hormigones en contacto con agua.*

*Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).*

| <b>Exposición</b> |   | <b>Profundidad de penetración de agua (NCh2262) mm</b> |
|-------------------|---|--|
| <b>Grado</b>      | <b>Condición</b>  |  |
| P0                | Hormigón en ambiente seco o en contacto con agua pero que no requiere baja permeabilidad  | Sin restricción  |
| P1                | Hormigón en contacto con agua que requiere baja permeabilidad   | ≤40  |
| P2                | Hormigón en contacto con agua que requiere baja permeabilidad y existe posibilidad de ataque químico no considerado en los agentes ya descritos | ≤20  |

#### *Resumen Requisitos de Durabilidad*

A modo de resumen, se presenta en la Tabla 33 una recopilación de todos los requisitos de durabilidad según las diferentes clases de exposición a la que puede estar sometido el hormigón.

Tabla 33: Resumen de requisitos de durabilidad para hormigón. Fuente: elaboración propia a partir de tablas anteriores.

| Clase de Exposición  | Grado de exposición | Requisito   |   |                 |
|--|---------------------|---|---|-----------------|
| Presencia de Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) en los componentes  | No aplica           | SO <sub>4</sub> < 2% peso de cemento  |   |                 |
| Contenido máximo de cloruros (Cl-) para H.A  | No aplica           | Contenido máximo de Cl-<br>1,20 [kg Cl-/m <sup>3</sup> ]  |   |                 |
| Reacción árido álcali  | No aplica           | Cumplimiento de al menos uno de los siguientes puntos:<br>i. Se dispone información de obras similares<br>ii. Verificación que la expansión determinada según ASTM C 227 sea menor que 0,05% a 3 meses o menor que 0,10% a 6 meses<br>iii. Utilización de cemento Portland (NCh148) cuyo contenido de álcalis solubles no sea mayor a 0,6%<br>iv. Se cuente con estudios especiales que permitan su uso |   |                 |
| Ciclos hielo-deshielo  | F0                  | <b>G min</b>  | <b>aire total</b>                           | <b>Dn máx</b>   |
|  |                     | Sin restricción   | Sin restricción                             | Sin restricción |
|  | F1                  | G30   | 6,0 %                                       | 10 mm           |
|  |                     |   | 5,0 %<br>4,5 %                              | 20 mm<br>40 mm  |
|  | F2                  | G30   | 7,5 %                                       | 10 mm           |
| 6,0 %<br>5,5 %   |                     |   | 20 mm<br>40 mm                              |                 |
| F3   | G35                 | 7,5 %<br>6,0 %<br>5,5 %   | 10 mm<br>20 mm<br>40 mm                     |                 |
| Sulfatos   | S0                  | <b>G min</b>  | <b>Dosis min cemento o Penetración Agua</b> |                 |
|  |                     | G17   | 240 kg/m <sup>3</sup>                       | -               |
|  | S1                  | G25   | 320 kg/m <sup>3</sup>                       | ≤40 mm          |
|  | S2                  | G30   | 340 kg/m <sup>3</sup>                       | ≤30 mm          |
|  | S3                  | G35   | 360 kg/m <sup>3</sup>                       | ≤20 mm          |
| Corrosión  | C0                  | <b>G min</b>  | <b>Dosis min cemento o Penetración Agua</b> |                 |
|  |                     | G17   | 240 kg/m <sup>3</sup>                       | -               |
|  | C1                  | G17   | 270 kg/m <sup>3</sup>                       | ≤50 mm          |
|  | C2-A                | G20   | 300 kg/m <sup>3</sup>                       | ≤40 mm          |
|  | C2-B                | G25   | 330 kg/m <sup>3</sup>                       | ≤30 mm          |
|  | C2-C                | G35   | 360 kg/m <sup>3</sup>                       | ≤20 mm          |
| Hormigón en contacto con agua  | P0                  | <b>Penetración Agua</b>   |   |                 |
|  |                     | -   |   |                 |
|  | P1                  | ≤40 mm  |   |                 |
|  | P2                  | ≤20 mm  |   |                 |
| Nota: si existen 2 o más clases de exposición combinadas que pudiesen condicionar al hormigón, se sugiere cumplir con los requisitos de la clase más exigente, es decir, aquella que sea más desfavorable. |                     |   |   |                 |

#### 2.1.2.4 Permeabilidad

De acuerdo con lo indicado en NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), el hormigón en su estado endurecido es un material permeable, es decir, que el agua puede fluir a través de él. Sin embargo, en muchas ocasiones se busca que el elemento de hormigón sea prácticamente impermeable (estanco), dado que una baja permeabilidad incrementa la durabilidad del hormigón y colabora en la protección de las armaduras frente a la corrosión.

Siguiendo la misma línea, en el Compendio de Tecnología Del Hormigón (1992) se menciona que resulta importante conocer los mecanismos que le otorgan permeabilidad al hormigón, lo cual permite establecer parámetros para controlar en cierta medida esta propiedad del concreto. Dicho lo anterior, el escurrimiento de agua a través del hormigón se produce principalmente por:

- a) Poros y fisuras en la pasta de cemento, producidos principalmente por el agua introducida en el hormigón y por las micro fisuras producidas por las variaciones de volumen en el hormigón.
- b) La porosidad existente en el contacto áridos-pasta de cemento, causada por insuficiencia en el relleno de los huecos del esqueleto del hormigón (conformado por los áridos y la pasta de cemento endurecida).

Ya conocidos los mecanismos de escurrimiento de agua a través del hormigón, se establecen en el Compendio de Tecnología Del Hormigón (1992) parámetros para controlar la permeabilidad y otorgar un mayor grado de impermeabilidad. Estos parámetros son:

- Mantener una relación A/C lo más baja posible que permita trabajabilidad en el hormigón fresco y que evite un calor de hidratación muy alto, dado que una rápida evaporación de agua favorece a la aparición de grietas y con ello, una disminución en la impermeabilidad.
- Limitar la dosis de cemento sin afectar la resistencia del concreto.
- Utilizar un contenido apropiado de granos finos para lograr un buen relleno en el esqueleto de áridos del hormigón.
- Realizar un buen proceso de curado húmedo para evitar fisuraciones en el hormigón.

A continuación, se detallan ensayos que permiten medir la permeabilidad, como lo es el caso de la Penetración de Agua bajo presión según NCh2262 y la Permeabilidad de Aire según SIA262.

a) *Ensayos*

*Método de la Penetración de Agua bajo presión (NCh2262)*

“La permeabilidad se puede determinar a partir del historial de ensayos de penetración de agua de hormigones de similares características o mediante hormigones de prueba” (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

Dicho ensayo de penetración de agua se encuentra establecido en la cláusula 6 de NCh2262:1997: Hormigón y mortero - Métodos de ensayo - Determinación de la impermeabilidad al agua - Método de la penetración de agua bajo presión (1997). Con respecto a la expresión de resultados, se establece lo indicado en la Tabla 34.

*Tabla 34: Unidad de medición- Ensayo de penetración de agua. Fuente: (NCh2262:1997: Hormigón y mortero - Métodos de ensayo - Determinación de la impermeabilidad al agua - Método de la penetración de agua bajo presión, 1997).*

| <b>Ensayo</b>                                 | <b>Unidad de medición</b> | <b>Norma del ensayo</b> | <b>Aproximación utilizada</b> |
|---|---------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Método de la penetración de agua bajo presión | mm                        | NCh2262                 | 1 mm                          |

*Ensayo de Permeabilidad de Aire (SIA 262)*

Existe otro método para medir la permeabilidad del hormigón, el cual se nombra en el Anexo B de la norma NCh170, llamado Ensayo de Permeabilidad de aire. Este es un método suizo (que también ha sido aplicado en Chile durante estos últimos años) que se detalla en la norma suiza SN 505 262/1: 2019: Construction en béton - Spécifications complémentaires (2019), en donde se define el coeficiente de permeabilidad de aire  $k_T$ , como se muestra en la Tabla 35, y calculado según ecuación (2).

*Tabla 35: Método de Permeabilidad de aire.*

*Fuente: (SN 505 262/1: 2019: Construction en béton - Spécifications complémentaires, 2019).*

| <b>Ensayo</b>                   | <b>Unidad de medición</b>                                       | <b>Norma del ensayo</b> | <b>Aprox. utilizada</b> |
|---------------------------------|---|-------------------------|-------------------------|
| Método de Permeabilidad de aire | Coeficiente de permeabilidad de aire $k_T$ en [m <sup>2</sup> ] | SN505 SIA 262/1         | Sin información         |

$$k_T = \left(\frac{V_c}{A}\right)^2 \frac{\mu}{2\varepsilon p_a} \left[ \frac{\ln\left(\frac{p_a + \Delta p}{p_a - \Delta p}\right)}{\sqrt{t} - \sqrt{t_o}} \right]^2 \quad (2)$$

Donde:

$k_T$ : coeficiente de permeabilidad al aire [m<sup>2</sup>];

$V_c$ : volumen de la cámara interior [m<sup>3</sup>];



A: área de la cámara interior [ $\text{m}^2$ ];  
 $\mu$ : viscosidad dinámica del aire [ $\text{Ns}/\text{m}^2$ ];  
 $\varepsilon$ : porosidad del hormigón [-];  
 $p_a$ : presión atmosférica [ $\text{N}/\text{m}^2$ ]  
 $\Delta p$ : diferencia de presiones al interior de la cámara, al inicio y final del ensayo [ $\text{N}/\text{m}^2$ ];  
t: tiempo final de la medición [s];  
 $t_0$ : tiempo inicial (después de la evacuación del aire de la cámara de prueba) de medición [s].

De acuerdo con Ebensperger & Torrent (2010), una de las principales ventajas del ensayo permeabilidad de aire es que tiene aplicación directa in-situ, y es bastante útil pues permite medir la permeabilidad al aire del recubrimiento del elemento, permitiendo especificar y controlar la calidad del recubrimiento de la estructura terminada.

Una vez que se han definido las principales propiedades del hormigón, se procede a describir de manera genérica cómo se construye una obra de hormigón, recordando que el tema está centrado en los dos procesos de confección más comunes: hormigón confeccionado in situ y hormigón premezclado.

## 2.2 Descripción de una Obra de Hormigón

Tal y como se mencionó en el primer capítulo del presente manual, el hormigón es el material sintético más utilizado por el hombre, siendo su principal destino obras de ingeniería, tales como puentes, edificaciones, carreteras, entre otros. En áreas urbanas, las obras de edificación suelen ser las más comunes, dado que el crecimiento de la población demanda oferta por viviendas, siendo una edificación una manera óptima de suplirla en espacios reducidos.

Según NCh1156/1: 1999: Construcción - Especificaciones técnicas - Ordenación y designación de partidas - Parte 1: Generalidades (1999), la construcción de una obra de edificación puede ser desglosada en cuatro principales áreas, que hacen referencia a las cuatro secciones de una especificación técnica. Éstas son:

- Gastos adicionales, obras provisionales y trabajos previos
- Obras de construcción
- Instalaciones domiciliarias
- Obras complementarias

Para efectos de este trabajo, es necesario adentrarse solamente en el área “Obras de Construcción”, dado que las otras áreas se escapan del alcance de esta memoria.

De acuerdo con NCh1156/3: 1999: Construcción - Especificaciones técnicas - Ordenación y designación de partidas - Parte 3: Obras de construcción (1999), las Obras de Construcción se pueden dividir en dos partidas principales: obra gruesa y terminaciones. Esta última no corresponde al alcance del presente trabajo, y por ende, se entrará únicamente en el detalle de la partida obra gruesa.

## 2.2.1 Obra Gruesa

En NCh1156/3: 1999: Construcción - Especificaciones técnicas - Ordenación y designación de partidas - Parte 3: Obras de construcción (1999), se estipula que la obra gruesa de una construcción puede ser desglosada en subpartidas, las cuales son mencionadas a continuación:

- a) Excavaciones y movimientos de tierras
- b) Cimientos
- c) Sobrecimientos
- d) Bases de pavimentos (Radieres)
- e) Estructura resistente (Elementos Verticales y Horizontales)
- f) Moldajes
- g) Elementos separadores verticales
- h) Escaleras y gradas (en caso de que no sean parte de la estructura resistente)
- i) Estructura de techumbre
- j) Cubiertas
- k) Protecciones hídricas
- l) Aleros
- m) Antepechos

Se presenta en la Tabla 36 consideraciones importantes para tener en cuenta en los principales elementos de las partidas ya mencionadas.

Tabla 36 : Principales consideraciones en el proceso constructivo de elementos de H.A. Fuente: elaboración propia a partir de ( Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Jussara, 2004).

| Elemento   | Consideraciones   |
|--|---|
| Cimiento   | Elemento que está en contacto con el suelo, es decir, se hormigona contra terreno (no requiere moldajes); y además, se trata de hormigón masivo debido a los grandes volúmenes que abarca. Dado que se trata de hormigón masivo, se debe tener especial cuidado con la temperatura del hormigón durante la colocación, siendo crucial controlar la temperatura del hormigón durante la colocación.  |
| Radier   | Se hormigona directamente contra terreno, y se debe tener especial cuidado con el proceso de curado debido a la gran superficie expuesta que presenta frente a la intemperie.   |
| Elementos Verticales de Estructura resistente (Muros, Pilares) | En elementos verticales se debe tener especial cuidado con la altura de vaciado del hormigón durante su colocación. Además, en el caso de pilares, debido a la sección acotada y a la gran densidad de armadura que presentan, son bastante difíciles de hormigonar, principalmente en el proceso de compactación del hormigón mediante vibradores. Esto debido a que el proceso tiene muchas dificultades de realizarse por el limitado espacio de penetración que hay para el vibrador. |
| Elementos Horizontales de Estructura resistente (Losas, Vigas) | Particularmente en el caso de losas, se debe tener especial cuidado en el proceso de curado de este elemento debido a la gran superficie expuesta que presentan a la intemperie.  |

Además, todos aquellos elementos mencionados tienen algo importante en común, y es que están confeccionados a partir de hormigón moldeado, es decir, hormigón en estado fresco que adquirió su forma definitiva en moldes (o contra terreno, de ser el caso). Una pregunta importante que surge, y que es crucial para la confección del presente manual es, ¿cuál es el origen del hormigón moldeado? A partir de su respuesta, es posible realizar la distinción entre los dos procesos de confección u obtención de hormigón más comunes: hormigón confeccionado in situ y hormigón premezclado.

Tal y como su nombre lo indica, el hormigón confeccionado in situ hace referencia al que se confecciona en la obra misma por parte del constructor, mediante personal capacitado de la misma constructora y supervisados por un capataz de obra o de hormigón. El hormigón suele confeccionarse en máquinas mezcladoras de hormigón o betoneras. En el proceso constructivo de este método, está en primer lugar la fabricación del hormigón, luego el transporte de este dentro de la obra al elemento donde será colocado, compactado y terminado, y posteriormente curado. Una vez finalizado el curado, se evalúa la aceptación/rechazo del elemento, y se realizan las posibles reparaciones en caso de ser necesario.

Para el caso del hormigón premezclado, el hormigón tiene origen fuera de la obra, en una planta mezcladora de hormigón contratada por el constructor para la confección del material. Dicho esto, al proceso constructivo del hormigón se añade un nuevo proceso: el transporte del hormigón a la obra, el cual generalmente se efectúa mediante camiones pre-mezcladores. El resto de las etapas es análogo al hormigón confeccionado in situ, tal como se logra apreciar en el diagrama de la Figura 7.

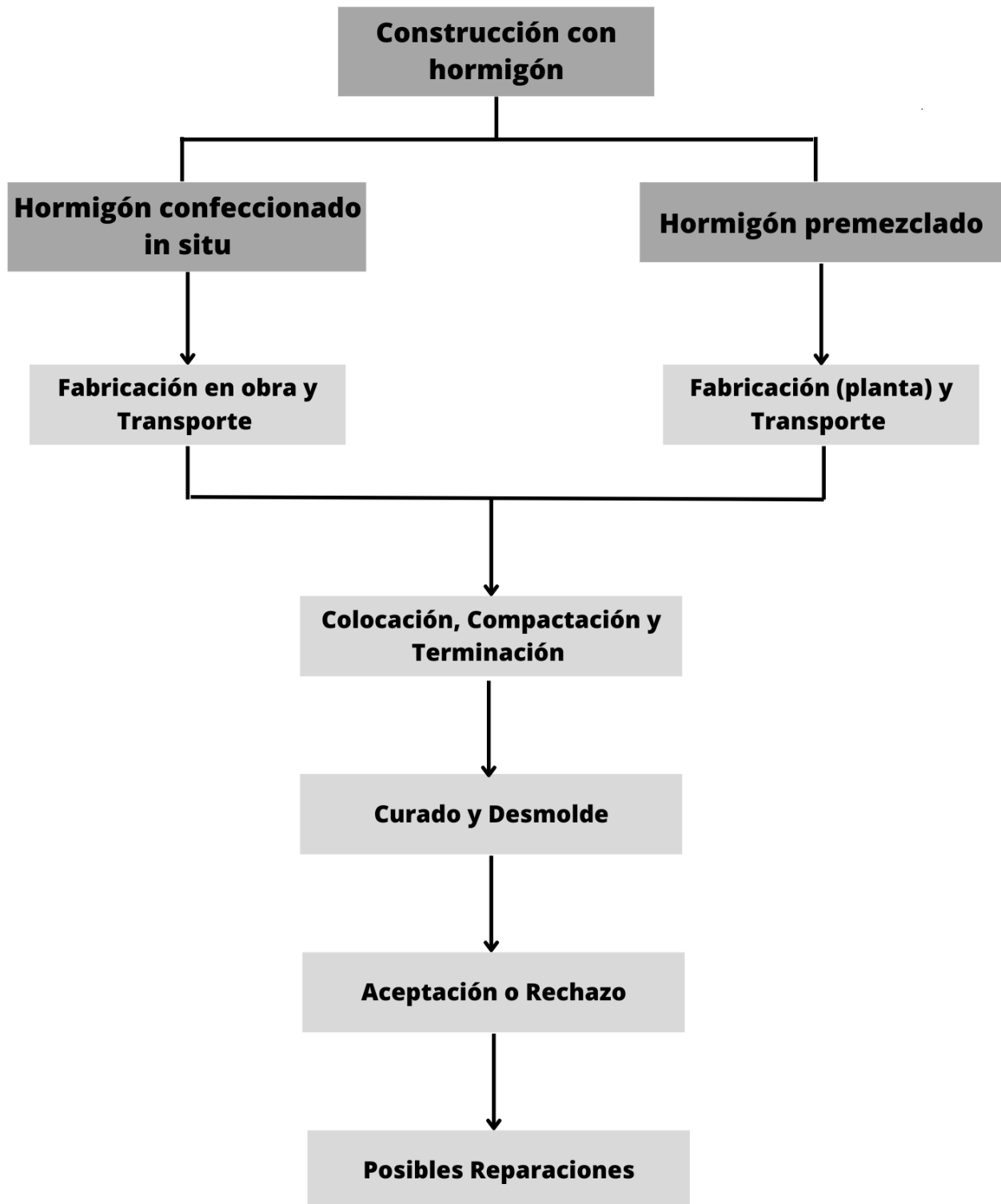


Figura 7: Etapas constructivas del hormigón. Fuente: elaboración propia a partir de (Curso 1: Inspección Técnica en Obras de Hormigón, 2022).

## 2.2.2 Construcción con hormigón

### 2.2.2.1 Fabricación y Transporte

#### 2.2.2.1.1 Fabricación de hormigón in situ y Transporte

El proceso de confección del hormigón en obra se detalla en NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), donde se indica que se debe garantizar que los componentes del hormigón sean medidos, mezclados y amasados con el fin de lograr un concreto homogéneo.

#### *Medición de materiales*

La medición de los materiales se debe realizar en masa considerando las tolerancias y observaciones de la Tabla 37.

Tabla 37: Tolerancias de medición para componentes del hormigón. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016) y ( Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Jussara, 2004).

| Componente      | Tolerancia | Observaciones  |
|-----------------|------------|--|
| Cemento         | $\pm 1$ %  | Si se emplea en sacos, puede medirse en sacos completos      |
| Agua de amasado | $\pm 1$ %  | Sólo aplicable para el agua de amasado en el carguío inicial |
| Áridos          | $\pm 3$ %  | Aplicable para cada fracción de áridos                       |
| Aditivos        | $\pm 3$ %  | Según recomendación del fabricante                           |
| Adiciones       | $\pm 3$ %  | Según recomendación del fabricante                           |

Nota: los componentes líquidos, como agua y aditivos, también pueden ser medidos en volumen.

#### *Mezclado*

Según NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), “el mezclado se debe efectuar con los equipos adecuados y utilizando procedimientos necesarios para obtener un hormigón homogéneo considerando, entre otros, orden de carguío, velocidad de rotación y tiempo de mezclado”.

Con respecto al tiempo de mezclado, Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Jussara (2004) recomiendan que debe ser tal que asegure la homogeneidad del hormigón, considerando que tiempos cortos podrían causar la no incorporación de la totalidad del cemento a la mezcla. Por otro lado, tiempos excesivos de mezclado podrían causar segregación de la mezcla y aumento en la temperatura.

Con respecto al orden de carguío, se establece en NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), que no hay un único orden de carguío, si no que, sea cual sea el utilizado, este debe asegurar la homogeneidad de la mezcla.

## *Materiales componentes del hormigón*

### *Áridos*

Los áridos utilizados para la confección del hormigón deben cumplir con los requisitos establecidos en NCh163: 2013: Áridos para morteros y hormigones – Requisitos, y con la cláusula 7.3 *Áridos* de la NCh170: 2016: Hormigón – Requisitos generales.

Según Holmgren (s.f), para la recepción de los áridos se debe constatar el origen, tipo, cantidad y la calidad visual de ellos. Además, se establece que el contenido de humedad de los áridos no debe exceder un 8%.

### *Cemento*

El cemento utilizado para la confección del hormigón debe cumplir con los requisitos establecidos en NCh148: 2021: Cemento - Terminología, clasificación y requisitos generales, y con la cláusula 7.2 *Cemento* de NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales.

### *Agua*

El agua de amasado utilizada para la confección del hormigón debe cumplir con los requisitos establecidos en NCh1498: 2012: Hormigón y mortero- Agua de amasado- Clasificación y requisitos, y con la cláusula 7.4 *Agua* de NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales.

### *Aditivos*

Los aditivos utilizados para la confección del hormigón deben cumplir con los requisitos establecidos en NCh2182: 1995: Hormigón y mortero - Aditivos - Clasificación y requisitos, y con la cláusula 7.5 *Aditivos* de NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales.

### *Adiciones*

Los aditivos utilizados para la confección del hormigón deben cumplir con lo estipulado en la cláusula 7.6 *Adiciones* de NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales.

## Transporte en obra

Según Polpaico (s.f.), en el transporte de hormigón dentro de la obra se deben asegurar condiciones para mantener la homogeneidad de la mezcla, cualquiera sea el método de transporte seleccionado. Además, se debe asegurar la calidad del hormigón, manteniendo la razón A/C, docilidad y otras propiedades. Así mismo, se establece que, a la hora de seleccionar un método de transporte, se debe tener en consideración los siguientes puntos:

- Protección al clima
- Distancia y accesibilidad al punto de colocación
- Capacidad de entrega
- Trabajabilidad de la mezcla y tamaño máximo de árido

Los principales medios de transporte dentro de una obra de edificación se detallan en la Figura 8, con respectivas consideraciones para tener en cuenta.

| <b>Carretilla</b>  | <b>Capacho</b>  | <b>Bomba</b>   | <b>Cinta Transportadora</b>   |
|--|---|--|---|
|                                    |   |                         |                 |
| -Capacidad: 90L<br>-Empleo: distancias <7m<br>-Obras menores y de poca altura<br>-Rendimiento: 0,5 m <sup>3</sup> /h | -Capacidad: 0,5 a 1 m <sup>3</sup><br>-Empleo: altura y difícil acceso<br>-Asentamiento > 4cm<br>-Rendimiento: 5 a 50 m <sup>3</sup> /h | -Asentamiento > 10 cm<br>-Rendimiento variable<br>-Distancia horizontal: 300m<br>-Distancia vertical: 90 m | -Asentamiento entre 5 y 10 cm<br>-Rendimiento de 30 a 70 m <sup>3</sup> /h<br>-Pendiente máxima 20% |

*Figura 8: Principales medios de transporte de hormigón dentro de la obra.  
Fuente: elaboración propia a partir de (Polpaico, s.f.).*

Con respecto al tiempo de transporte dentro de obra, desde que el hormigón sale del equipo mezclador hasta que es colocado, se indica en NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), que este tiempo no debe superar los 30 minutos, a menos que en el diseño de mezcla se hayan adoptado medidas que lo permitan.



### 2.2.2.1.2 Fabricación en planta (hormigón premezclado) y Transporte

Según NCh1934: 1992: Hormigón preparado en central hormigonera (1992), el hormigón preparado por parte de la planta mezcladora de hormigón, debe cumplir con la norma NCh170, siendo responsabilidad de la constructora las operaciones y manipulaciones posteriores a la descarga en obra.

Con respecto a los materiales, los equipos, la fabricación, la entrega/recepción, el control de producción y la evaluación estadística del hormigón premezclado, se debe cumplir con lo estipulado en las cláusulas 5, 6, 7, 8, 9 y 10 de la norma NCh1934, respectivamente.

#### *Transporte a obra*

En caso de hormigón premezclado, el transporte de hormigón a obra se efectúa principalmente mediante el uso de camiones mezcladores (mixer), que además de transportar el hormigón, lo mezcla y lo mantiene homogéneo. En la Figura 9 se indican consideraciones importantes a tener en este tipo de transporte.



| <b>Capacidad</b>       | <b>Rendimiento</b>             | <b>Combinaciones</b>    | <b>Dimensiones</b> |
|------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------|
| <b>8 m<sup>3</sup></b> | <b>20 a 25 m<sup>3</sup>/h</b> | <b>con otros medios</b> | <b>11,6 x 4 m</b>  |

*Figura 9: Consideraciones importantes para uso de camión mixer. Fuente: elaboración propia a partir de (Polpaico, s.f.).*

Con respecto al tiempo de transporte y entrega, contando desde la hora de carga hasta el fin de la descarga, se establece en NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), que este tiempo no debe exceder los 120 minutos. Sin embargo, puede variar en caso de que el contratista en conjunto con la planta de hormigón pacten otro tiempo de transporte a obra que asegure condiciones que mantengan la homogeneidad de la mezcla, o en caso de que en el diseño de mezcla se hayan adoptado medidas para aumentar dicho plazo.

#### *Transporte en obra*

Al igual que para hormigón confeccionado in situ, la selección del método de transporte (Figura 8), debe asegurar el mantenimiento de las propiedades en estado fresco de la mezcla. Así mismo, según NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), el tiempo de transporte dentro de la obra no debe exceder los 30 minutos, a menos que en el diseño de mezcla se hayan adoptado medidas que lo permitan.

### 2.2.2.2 Colocación, Compactación y Terminación del hormigón

De manera genérica, para los procesos de colocación y compactación del hormigón, se debe cumplir con lo estipulado en las cláusulas 11 y 12 de la norma NCh170, respectivamente.

Cabe destacar que en las EETT del proyecto se deben definir protocolos/ instructivos de compactación, colocación y terminación del hormigón.

Para detallar el proceso de colocación, es necesario definir en primer lugar los tipos de terminación superficial que se precisan para el hormigón según el uso del elemento, lo cual se puede visualizar en la Tabla 38, donde se definen 6 grados de terminación para hormigones.

Tabla 38: Grados de terminación superficial en el hormigón. Fuente: elaboración propia a partir de (ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A., 2006).

| <b>Grado de hormigón</b> | <b>Descripción</b>  |
|--------------------------|---|
| Hormigón Grado 1         | A la vista tipo arquitectónico, quedando expuesto sin tratamiento posterior                   |
| Hormigón Grado 2         | Para empaste y pintura  |
| Hormigón Grado 3         | A la vista para obras civiles, quedando expuesto sin tratamiento posterior                    |
| Hormigón Grado 4         | Obra gruesa, cuya superficie recibirá estuco u otro recubrimiento distinto al Grado 2         |
| Hormigón Grado 5         | De superficies en pisos (superficie superior de una losa o radier), con terminación o afinado |
| Hormigón Grado 6         | De superficies en pisos, sin recubrimiento ni afinado   |

### 2.2.2.2.1 Colocación

#### Previo a la Colocación

La superficie que va a recibir al hormigón debe ser preparada para ello. Esta superficie puede ser suelo tipo rocoso, granular, u hormigón (en caso de junta de hormigonado), y para cada una de ellas se proponen recomendaciones, según lo indicado en la Tabla 39.

Tabla 39: Recomendaciones para preparar superficies previas al hormigonado. Fuente: (Polpaico, s.f.).

| Tipo de superficie       | Preparación   |
|--------------------------|---|
| Suelo o Relleno granular | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Terreno natural libre de vegetales y de materia orgánica</li> <li>-Evitar contaminación del hormigón con suelo. Se recomienda uso de tableros móviles</li> <li>-Compactación de suelo hasta lograr densidad y perfil especificados</li> <li>-Suelo húmedo, pero no sobresaturado. No hormigonar sobre hielo</li> <li>-Captar y drenar el agua aflorada</li> </ul>   |
| Superficie rocosa        | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Eliminar zonas fracturadas y partículas descompuestas</li> <li>-Rellenar grietas con lechada o mortero de hormigón</li> <li>-Captar y drenar el agua aflorada</li> </ul>  |
| Hormigón (juntas)        | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Eliminar la lechada de hormigón fresco, mediante cepillado o lavado.</li> <li>-Eliminar la capa superficial del hormigón, de aproximadamente 5 mm, mediante chorro de agua a alta presión o con arenado húmedo con el posterior lavado</li> <li>-En caso de requerir mayor monolitismo, emplear puente adherente epóxico una vez retirada la capa superficial y con el posterior secado de la superficie</li> </ul> |

#### Moldajes

Los moldajes deben ser instalados previos a la colocación del hormigón, para lo cual es indispensable un correcto trazado en los elementos. En la Tabla 40 se establecen tolerancias para moldaje, tanto para el hormigón recién terminado como durante la colocación.

Tabla 40: Tolerancias para moldaje. Fuente: (Polpaico, s.f.).

| Hormigón recién terminado                     |            | Durante colocación         |  |
|---|------------|----------------------------|--|
| Parámetro                                     | Tolerancia | Parámetro                  | Tolerancia   |
| Desviaciones con respecto a la vertical       | 6 mm/3m    | Recubrimiento de armaduras | -10 mm con un máximo de 1/3 del recubrimiento especificado |
| Desviaciones de nivel                         | 6 mm/3m    |                            |  |
| Desplazamientos de ejes en planta             | 12 mm/3m   | Posición de armaduras      | ±5% de su distanciamiento teórico                          |
| Variación de dimensiones en vanos y aberturas | ±6 mm      |                            |  |
| Variación de espesor                          | -6 mm      |                            |  |

## Colocación

Según NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), la colocación del hormigón en el elemento estructural debe contar con procedimientos y equipos adecuados para asegurar lo indicado en la Figura 10.



Figura 10: Condiciones a cumplir durante la colocación del hormigón.  
Fuente: elaboración propia a partir de (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

## Imperfecciones en el Hormigón

En caso de no realizar procedimientos adecuados en el proceso de colocación, pueden aparecer una serie de imperfecciones en el hormigón, las cuales se detallan en la Tabla 41.

Tabla 41: Imperfecciones en el hormigón causadas por un mal proceso de colocación. Fuente: elaboración propia a partir de (ET 005-07: Criterios de aceptación de superficies moldeadas en elementos de hormigón, 2007).

| Imperfección   | Definición   | Cálculo   |
|--|--|---|
| Nidos  | Zona con áridos expuestos y escasa presencia de pasta. Se identifican 3 tipos:<br>- <i>Estructurales</i> : se profundizan por detrás de la enfierradura y teniendo una dimensión mayor al 10% de la longitud horizontal del elemento o una superficie mayor al 3% respecto al área de la cara visible<br>- <i>Profundos</i> : se profundizan detrás de la enfierradura sin atravesar el elemento. Dimensiones menores a los estructurales<br>- <i>Superficiales</i> : comprometen solo el recubrimiento del elemento | $\%Nidos = \frac{S_{Nidos}}{h * L - S_{Vanos}} * 100$ |
| Falta de llenado   | Zonas sin hormigón bajo ventanas o pasadas   | $FLI = h_T - h_{LI}$                                  |
| Huecos   | Cavidades de diámetro mayor a 1 cm y menor a 3 cm  | $\%H = \frac{\sum S_H}{S_T - S_{Vanos}} * 100$        |
| Reflexión de armaduras   | Fisuración o decoloración superficial siguiendo la ubicación de las armaduras bajo el recubrimiento  | $\%RA = \frac{\sum (a * b)}{S_T - S_{Vanos}} * 100$   |
| Pérdida de aristas   | Rotura de bordes, esquinas, canterías, etc.  | $\%PA = \frac{L}{L_T} * 100$                          |
| Burbujas   | Cavidades de diámetro menor o igual a 1 cm   | $\%B = \frac{\sum A}{S_T - S_{Vanos}} * 100$          |
| Escurrimiento superficial  | Derrames de lechada de concreto producido por el hormigonado sobre un hormigón anterior  | $\%ES = \frac{\sum E_s}{S_T - S_{Vanos}} * 100$       |
| Distinta coloración  | Tonalidades de colores notoriamente diferentes en una misma cara   | Acordar entre las partes                              |
| Micro segregación  | Superficie rugosa con árido fino a la vista ubicado en la unión entre placas de moldaje  | $\%Mg = \sum (LMg / LM) * 100$                        |
| Nota: cada uno de los parámetros de cálculo son definidos en la ET 005-07. Consultar en caso de dudas. |  |   |

Una vez que se han definido las diferentes imperfecciones del hormigón, es posible establecer tolerancias para aceptación en el hormigón (ver Tabla 42), dependiendo de los grados de terminación G1, G2, G3 y G4 definidos en la Tabla 38.

Tabla 42: Tolerancias y restricciones para los diferentes grados de hormigón ante imperfecciones de colocación.

Fuente: (ET 005-07: Criterios de aceptación de superficies moldeadas en elementos de hormigón, 2007).

| Grado de hormigón | Imperfección              | Tolerancias | Restricciones adicionales   |
|-------------------|---------------------------|-------------|---|
| Hormigón Grado 1  | Nidos                     | 0,5%        | -Individualmente cada Nido no deberá exceder los 7 cm en su dimensión máxima<br>-Las Burbujas no deberán ser observables a más de 5 metros<br>-De existir más de dos imperfecciones en cada cara visible del elemento, la superficie total afectada no deberá exceder el 4% de la cara visible                              |
|                   | Falta de llenado          | 2 cm        |   |
|                   | Huecos                    | 0,5%        |   |
|                   | Reflexión de armaduras    | 0,0%        |   |
|                   | Pérdida de aristas        | 0,0%        |   |
|                   | Burbujas                  | 3,0%        |   |
|                   | Escurrimiento superficial | 0,0%        |   |
| Hormigón Grado 2  | Nidos                     | 5%          | -En caso de Burbujas, Escurrimiento Superficial y Micro Segregación, está permitido no reparar y las superficies serán tratadas sólo para dar una adecuada terminación<br>-De existir más de dos imperfecciones en cada cara visible del elemento, la superficie total afectada no deberá exceder el 15% de la cara visible |
|                   | Falta de llenado          | -           |   |
|                   | Huecos                    | 10%         |   |
|                   | Reflexión de armaduras    | 10%         |   |
|                   | Pérdida de aristas        | -           |   |
|                   | Burbujas                  | -           |   |
|                   | Escurrimiento superficial | -           |   |
| Micro segregación | -                         |             |   |
| Hormigón Grado 3  | Nidos                     | 3%          | -La Reflexión de Armaduras no deberá ser mayor a 7 cm en 3 metros<br>-Las Burbujas no deben ser observables a más de 5 m<br>-De existir más de dos imperfecciones en cada cara visible del elemento, la superficie total afectada no deberá exceder el 10% de la cara visible   |
|                   | Falta de llenado          | 5 cm        |   |
|                   | Huecos                    | 5%          |   |
|                   | Reflexión de armaduras    | 5%          |   |
|                   | Pérdida de aristas        | 10%         |   |
|                   | Burbujas                  | 10%         |   |
|                   | Escurrimiento superficial | 5%          |   |
| Micro segregación | 3%                        |             |   |
| Hormigón Grado 4  | Nidos                     | 3%          | -Las Burbujas no deben ser observables a más de 5 m<br>-De existir más de dos imperfecciones en cada cara visible del elemento, la superficie total afectada no deberá exceder el 20% de la cara visible  |
|                   | Falta de llenado          | -           |   |
|                   | Huecos                    | 10%         |   |
|                   | Reflexión de armaduras    | 15%         |   |
|                   | Pérdida de aristas        | 20%         |   |
|                   | Burbujas                  | 20%         |   |
|                   | Escurrimiento superficial | 20%         |   |
| Micro segregación | 20%                       |             |   |

### *Nidos y Altura de Vaciado del Hormigón*

De acuerdo con la Especificación Técnica ET 002-05: Altura de vaciado del hormigón en elementos verticales (2005), se establece que la formación de nidos está generalmente asociada a procesos inadecuados de colocación, particularmente por colocar el hormigón desde una altura de vaciado no apropiada. Son atribuibles a la altura de vaciado del hormigón solo aquellos nidos ubicados en la base un elemento vertical hasta una altura de 20 cm, excluyendo cualquier otro nido o imperfección visible en zona distinta a la indicada, o aquellos nidos que se forman en los primeros 20 cm pero que sobrepasen esa altura.

Se menciona también en la ET 002-05: Altura de vaciado del hormigón en elementos verticales (2005), que en la actualidad la altura máxima de vaciado permitida del hormigón es de 2,5 metros, pero la tecnología y nuevas prácticas en los procesos constructivos posibilitan aumentar dicha altura sin que la homogeneidad de la mezcla se vea afectada. Un aumento en la altura de vaciado puede mejorar la productividad y la calidad de las obras. Para cuantificar el efecto de la altura de vaciado, se emplea el parámetro %Nidos en los 20 cm inferiores de cada cara visible, que se calcula según la ecuación (3).

$$\%Nidos_{20cm,Inferiores} = \frac{S_{Nidos}}{0,2 L} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

$S_{Nidos}$ : área total de nidos por altura de vaciado [m<sup>2</sup>];

L: longitud horizontal de un elemento vertical hormigonado en una misma etapa [m];

0,2: coeficiente adimensional equivalente a 0,2 m.

Según ET 002-05: Altura de vaciado del hormigón en elementos verticales (2005), con respecto a la aceptación de la Altura de Vaciado del hormigón, se establece como estándar el valor máximo de %Nidos indicado en la Tabla 43, el cual debe cumplirse en cada cara visible del elemento vertical.

*Tabla 43: Criterio de aceptación para Altura de Vaciado.  
Fuente: (ET 002-05: Altura de vaciado del hormigón en elementos verticales, 2005).*

| <b>Valor máximo %Nidos para aceptación de Altura de Vaciado</b>   |            |
|---|------------|
| <b>%Nidos<sub>20 cm Inferiores</sub></b>  | <b>10%</b> |
| Nota: la altura de vaciado será aceptada cuando %Nidos sea menor o igual a 10% y se trate de nidos mayoritariamente superficiales. En caso de que sean Nidos que comprometan el núcleo o el espesor del elemento, consultar con ingeniero proyectista estructural si es necesario disminuir la altura de vaciado. |            |

Con respecto a la altura de vaciado en elementos verticales, en la ET 002-05: Altura de vaciado del hormigón en elementos verticales (2005) se establece como punto de partida las alturas de vaciado máximas admisibles, dependiendo de la altura de cono y de la bombeabilidad de la mezcla (ver Tabla 44).

Tabla 44: Altura máxima de Vaciado del hormigón según asentamiento de Cono de Abrams y bombeabilidad del hormigón.  
Fuente: (ET 002-05: Altura de vaciado del hormigón en elementos verticales, 2005).

| Cono [cm] | Característica | Altura de Vaciado [m] |
|-----------|----------------|-----------------------|
| < 8       | No Bombeable   | 2,0                   |
| ≥ 8       | No Bombeable   | 2,5                   |
| ≥ 8       | Bombeable      | 3,0                   |

Nota 1: Si de cualquier manera se obtiene que %Nidos>10%, se debe estudiar una nueva dosificación y/o método de colocación que cumpla con el requisito.

Nota 2: En caso de que la constructora quiera trabajar con procedimientos propios y aumentar dichas alturas, debe cumplir indispensablemente con la condición %Nidos≤ 10% en las dos caras visibles del elemento y validar dichos procedimientos.

### Temperatura de colocación

De acuerdo con NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), la temperatura del hormigón durante su colocación debe estar en el rango [5°C, 35°C]. Mientras mayor sea la temperatura, con mayor rapidez se iniciará y finalizará el fraguado del hormigón (ver Figura 11). Sin embargo, la temperatura del hormigón podría salirse del rango [5°C, 35°C], por ejemplo, en caso de hormigonado en condiciones especiales de exposición: clima de alta evaporación de agua o clima frío. En estas situaciones se deben tener precauciones adicionales en el proceso de colocación, y que son detalladas a continuación.

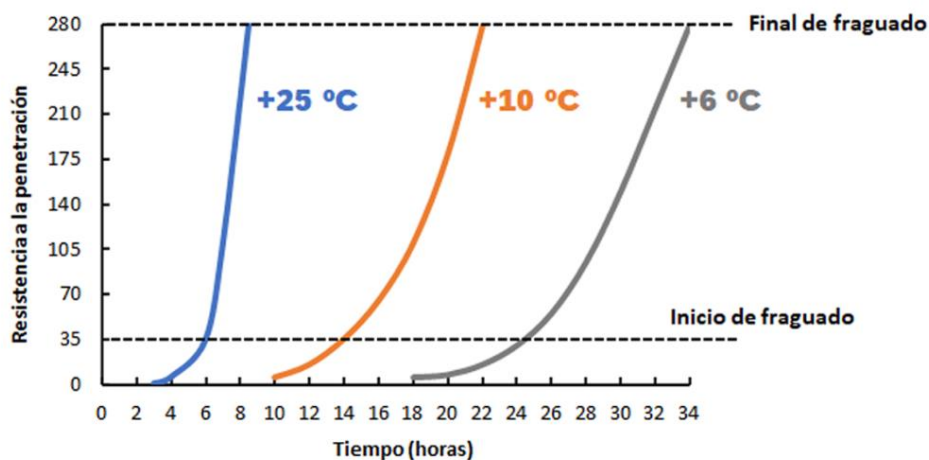


Figura 11: Resistencia a la penetración vs Tiempo en hormigonado a diferentes temperaturas.  
Fuente: (Carreteras Pan-Americanas, 2022).



### *Hormigonado en tiempo frío*

El hormigonado en tiempo frío debe declararse, y se define cuando “durante los tres días previos al hormigonado, se registre una temperatura media diaria menor que 5°C y la temperatura ambiente sea menor o igual que 10°C por más de 12 h, continuas o acumuladas, en un periodo de 24 h” (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

Según Carreteras Pan-Americanas (2022), los problemas de hormigonar en tiempo frío son principalmente dos:

- a) Las bajas temperaturas actúan como retardante de fraguado, ralentizando el proceso de aumento en la resistencia mecánica del hormigón que le permitirá combatir las heladas.
- b) Relacionado directamente con lo anterior, el hormigón, al no alcanzar resistencia suficiente, no es capaz de soportar los esfuerzos de tensión en su interior que aparecen debido a la expansión del agua cuando se congela. Esto causa daños irreparables en el hormigón, tales como disminución de resistencias y en la durabilidad.

Para evitar dichos problemas, se recomienda que, al momento de la colocación del hormigón y su posterior proceso de endurecimiento, este debe tener una temperatura mayor a 5°C (la temperatura debe medirse a 5 cm de cualquier borde). Para lograr dicha condición, se recomienda adoptar las medidas definidas en la cláusula A.7 de NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), las cuales son:

- a) Durante la fabricación del hormigón, incrementar la temperatura de este mediante el calentamiento de agua (hasta 60°C) y calentamiento de áridos.
- b) Durante la colocación, eliminar todo material congelado presente, y proteger especialmente los lugares más expuestos (aristas, salientes, etc.).
- c) Dentro de las medidas de protección, se encuentran las capas protectoras de material aislante térmico, o carpas envolventes antes de iniciar la colocación.

De acuerdo con Carreteras Pan-Americanas (2022), la clave está en realizar el hormigonado en el momento óptimo del día, que vendría a ser en el momento más temprano del día a partir de que se sobrepase la temperatura de 5°C, a modo de que el hormigón en estado fresco pueda estar el máximo de horas en el rango de máximas temperaturas para que fragüe lo antes posible (ver Figura 12).

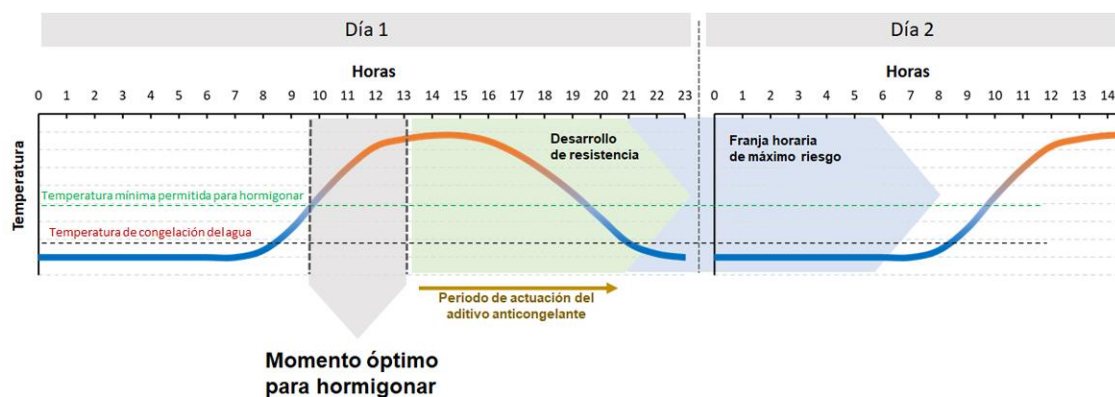


Figura 12: Hormigonado en tiempo frío. Fuente: (Carreteras Pan-Americanas, 2022).

Además, se indica en Carreteras Pan-Americanas (2022), que el calor interno que libera el hormigón recién amasado juega un rol importante en condiciones de tiempo frío, y que ejecutar un hormigón con unos grados de más es crucial para acelerar el desarrollo de la resistencia inicial en el concreto. Dicho lo anterior, es preferible que el transporte del hormigón hasta su colocación sea el menor posible. Siguiendo la misma línea, el calor de disipación del hormigón no es igual en todos los elementos. Aquellos que cuentan con grandes volúmenes de hormigón y con una geometría favorable, tendrán menos riesgos frente a condiciones adversas de tiempo frío. Por el contrario, elementos con grandes superficies a la intemperie, esbeltas, o de pequeño volumen, perderán calor rápidamente y estarán más expuestas. En dicho caso, es necesario proteger el elemento con las medidas mencionadas anteriormente.

Con respecto a lo anterior, se recomienda en el ACI 306R-16: Guide to Cold Weather Concreting, (2016), temperaturas mínimas de hormigón para elementos de diferente geometría, y según la etapa constructiva (fabricación, colocación o curado) que esté experimentando el concreto. Lo anterior se detalla en la Tabla 45.

Tabla 45: Temperatura de hormigón recomendada para diferentes geometrías y situaciones. Fuente: (ACI 306R-16: Guide to Cold Weather Concreting, 2016).

| Temperatura ambiental | Tamaño de sección, dimensión mínima (mm)   |           |            |       |
|-----------------------|--|-----------|------------|-------|
|                       | < 300  | 300 a 900 | 900 a 1800 | >1800 |
|                       | <b>Temperatura mínima de hormigón colocado</b>   |           |            |       |
| -                     | 13°C   | 10°C      | 7°C        | 5°C   |
|                       | <b>Temperatura mínima de hormigón en mezclado para temperatura ambiental dada</b>                                |           |            |       |
| >1°C                  | 16°C   | 13°C      | 10°C       | 7°C   |
| [-18°C, -1°C]         | 18°C   | 16°C      | 13°C       | 10°C  |
| < -18°C               | 24°C   | 18°C      | 16°C       | 13°C  |
|                       | <b>Caída de temperatura gradual máxima permitida en las primeras 24 horas después del final de la protección</b> |           |            |       |
| -                     | 28°C   | 22°C      | 17°C       | 11°C  |

## Hormigonado en condiciones de alta evaporación de agua

Un clima de alta evaporación de agua puede ser dañino para el hormigón, generando una serie de alteraciones que afectan a sus propiedades, las cuales se detallan en la Tabla 46.

Tabla 46: Alteraciones generadas en el hormigón por alta evaporación de agua.

Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

| Etapa                  | Alteraciones en el hormigón por alta evaporación                              |
|------------------------|---|
| Previo a la colocación | Pérdida de docilidad requerida  |
|                        | En hormigones con aire incorporado, necesidad de aumentar la dosis de aditivo |
| Hormigón colocado      | Aceleración de fraguado   |
|                        | Tendencia a fisuración plástica   |
|                        | Disminución de resistencia mecánica y durabilidad                             |

Según indica NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), dentro de los principales factores que pueden producir una alta evaporación de agua en el concreto, se encuentran la temperatura ambiental, temperatura del hormigón, la humedad relativa del aire y la velocidad del viento. Dicho lo anterior, resulta importante poder cuantificar la evaporación de agua en el hormigón a partir de estos parámetros, la cual se puede estimar mediante la ecuación (4), definida en la misma norma.

$$E = 5 \times [(T_c + 18)^{2,5} - r \times (T_a + 18)^{2,5}] \times [V + 4] \times 10^{-6} \quad (4)$$

Donde:

- E: tasa de evaporación de agua [kg/m<sup>2</sup>/h];
- T<sub>c</sub>: temperatura del hormigón en la superficie [°C];
- T<sub>a</sub>: temperatura en la superficie [°C];
- r: humedad relativa/100;
- V: velocidad del viento [km/h].

A partir de la relación anterior, se puede inferir directamente que la tasa de evaporación es directamente proporcional a la temperatura ambiente, a la temperatura del hormigón y a la velocidad del viento. Por el contrario, es inversamente proporcional a la humedad relativa.

De acuerdo con NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), la tasa de evaporación límite, a partir de la cual se está en presencia de un clima de alta evaporación de agua, es la indicada en la Tabla 47.

Tabla 47: Tasa de evaporación máxima para evitar fisuración.

Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

| Tasa de evaporación máxima   |
|------------------------------|
| E = 1,0 kg/m <sup>2</sup> /h |

Conforme con NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), en caso de que la tasa de evaporación de agua sea cercana a  $1,0 \text{ kg/m}^2/\text{h}$  o superior, se deben adoptar medidas de protección (adicionales al curado) para disminuir la tasa de evaporación. Según cláusula A.8.3 de la misma norma, las medidas por tomar son las siguientes:

- a) Disminuir la velocidad del viento mediante pantallas o barreras
- b) Aumentar la humedad relativa mediante agua nebulizada al ambiente
- c) Disminuir la temperatura ambiente en el lugar de hormigonado generando sombras
- d) Disminuir la temperatura del hormigón

A modo de disminuir la temperatura del hormigón y adoptar precauciones en todos los procesos involucrados, se recomienda en NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016) seguir las consideraciones nombradas en la Figura 13.

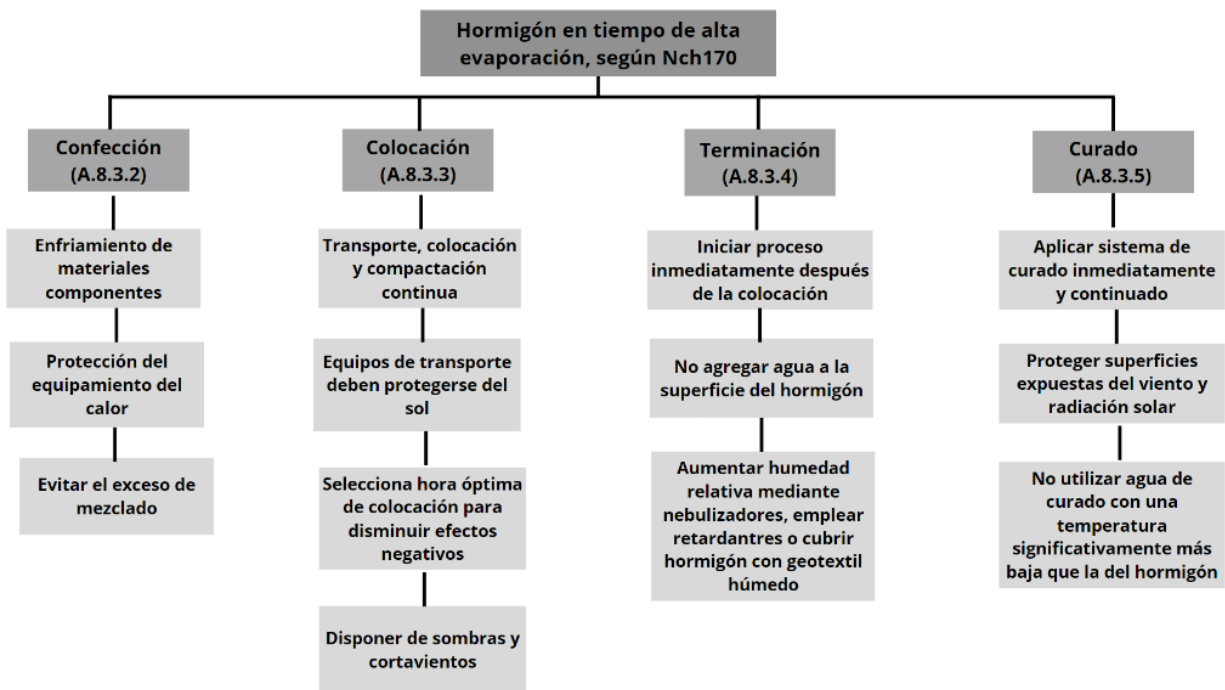
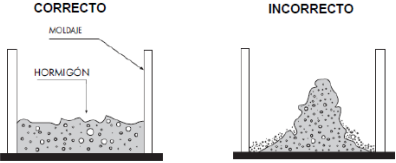
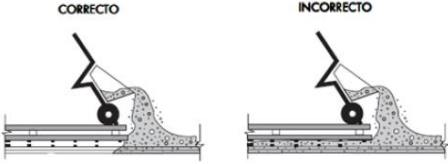


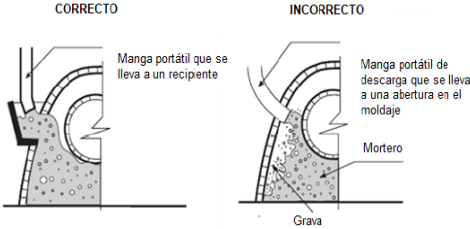
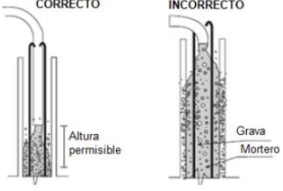
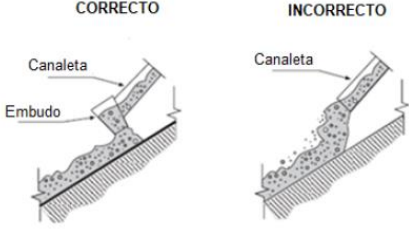
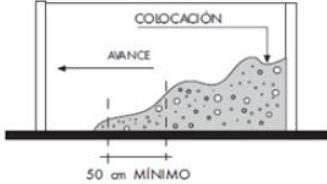
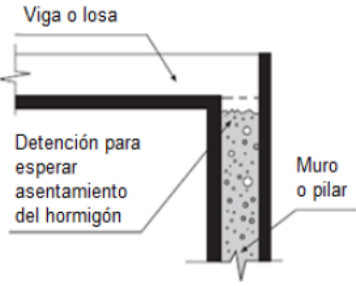
Figura 13: Recomendaciones y precauciones para hormigonado en tiempo de alta evaporación de agua. Fuente: elaboración propia a partir de (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

### Otras recomendaciones de colocación

Por último, se indica en NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), Polpaico (s.f.) y ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A. (2006), otras recomendaciones a tener en cuenta en el proceso de colocación, y que se detallan en la Tabla 48.

Tabla 48: Otras consideraciones en colocación del hormigón. Fuente: elaboración propia a partir de (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016), (Polpaico, s.f.) y (ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A., 2006).

| Parámetro                          | Consideración  | Referencia                       |
|------------------------------------|--|----------------------------------|
| Ambientes agresivos                | Evitar que el hormigón se contamine con materiales que puedan afectar sus propiedades.   | NCh170 C.11.2                    |
| Altura y velocidad de vaciado      | Deben ser compatibles con la resistencia, rigidez y sellado del moldaje.   | NCh170 C.11.3                    |
| Capas de colocación                | Se recomienda capas horizontales, tal que el vibrador de inmersión penetre la capa de hormigón subyacente. El espesor máximo de capa recomendado es el equivalente a la longitud de la botella del vibrador menos 10 cm.   | NCh170 C.11.4<br>Manual Polpaico |
| Mezclado de hormigones             | No mezclar hormigones frescos confeccionados con cementos diferentes.  | NCh170 C.11.6                    |
| Juntas de hormigonado              | Se deben ubicar según lo estipulado en el proyecto. En su ausencia, la obra debe proponer la ubicación para la aprobación del proyectista estructural.<br>Deben ser tratadas para que, al momento de continuar el hormigonado, estén limpias y libres de lechada.  | NCh170 C.11.9                    |
| Terminación superficial            | Dar continuidad a la colocación, la cual debe realizarse mediante capas uniformes en toda la superficie a ejecutar. La rapidez de colocación debe evitar que se produzcan pausas superiores a 30 min (evitar juntas frías), pero a su vez, debe ser lo suficientemente lenta para generar un vibrado adecuado. | ET004-06                         |
| Montones de hormigón en Colocación | El hormigón se debe colocar en pequeños montones, puesto que los montones grandes favorecen la segregación.<br>  | Manual Polpaico                  |
| Colocación en losas                | Se debe descargar el hormigón sobre concreto ya depositado, dado que el depósito más allá del depositado causa segregación.<br>  | Manual Polpaico                  |

|  |  |                        |
|--|--|------------------------|
| <p>Llenado de pared profunda a través de abertura</p>                    | <p>Se debe colocar el hormigón por rebalse, mediante un recipiente que se coloca en la abertura del elemento y que recibe la caída vertical del hormigón, evitando segregación.</p>  <p>CORRECTO INCORRECTO</p> <p>Manga portátil que se lleva a un recipiente</p> <p>Manga portátil de descarga que se lleva a una abertura en el moldaje</p> <p>Mortero</p> <p>Grava</p>                 | <p>Manual Polpaico</p> |
| <p>Hormigonado de elementos de gran altura</p>                           | <p>Se debe utilizar embudos y mangas para evitar la segregación, y se debe colocar en capas delgadas (&lt;30cm) para evitar nidos.</p>  <p>CORRECTO INCORRECTO</p> <p>Altura permisible</p> <p>Grava</p> <p>Mortero</p>  | <p>Manual Polpaico</p> |
| <p>Hormigonado sobre superficie inclinada</p>                            | <p>La colocación y compactación se debe iniciar desde las zonas de menor cota, para evitar segregación. Para ello, se recomienda colocar embudo en extremo de la canaleta que permita una caída vertical del hormigón.</p>  <p>CORRECTO INCORRECTO</p> <p>Canaleta</p> <p>Embudo</p>  | <p>Manual Polpaico</p> |
| <p>Colocación de hormigón masivo</p>                                     | <p>Se debe colocar el hormigón en peldaños, avanzando en varias capas simultáneamente (de 30 a 40cm), a modo de evitar juntas frías de hormigonado.</p>  <p>COLOCACIÓN</p> <p>AVANCE</p> <p>50 cm MÍNIMO</p>  | <p>Manual Polpaico</p> |
| <p>Colocación en elemento vertical y horizontal de manera simultánea</p> | <p>Se debe lograr que la capa de contacto tenga el mínimo asentamiento posible. Además, antes de hormigonar el último tramo, se debe esperar tiempo necesario para que el hormigón del elemento vertical experimente el asentamiento plástico, es decir, cuando termina el sangrado.</p>  <p>Viga o losa</p> <p>Detención para esperar asentamiento del hormigón</p> <p>Muro o pilar</p> | <p>Manual Polpaico</p> |

### 2.2.2.2.2 Compactación

Según la norma NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016):

La compactación se debe efectuar con los equipos adecuados y mediante los procedimientos necesarios para que, manteniendo la homogeneidad del hormigón, se obtenga la máxima compacidad eliminando el exceso de aire atrapado, asegurando que las armaduras queden completamente embebidas en el hormigón y se obtenga la terminación superficial requerida.

Una de las maneras más comunes de realizar la compactación en el hormigón, es mediante el uso de vibradores internos (o de inmersión), para los cuales hay que tener en cuenta una serie de parámetros, como lo son el diámetro del vibrador, el diámetro de acción, la distancia entre inserciones y la distancia al moldaje.

#### *Diámetro de acción y distancia entre inserciones*

Se tiene que para un diámetro de vibrador  $d$ , que cuenta con un cierto diámetro de acción  $D$ , que se inserta a una distancia  $S_1$  del moldaje y  $S$  entre inserciones, se recomiendan los valores indicados en la Tabla 49. A modo de un mejor entendimiento, se presenta en la Figura 14 un esquema que representa de mejor manera los parámetros ya mencionados.

Tabla 49: Recomendaciones para parámetros  $D$ ,  $S_1$  y  $S$  en el proceso de compactación vía vibradores de inmersión.  
Fuente: (Polpaico, s.f.).

| <b>Recomendaciones para <math>D</math>, <math>S</math> y <math>S_1</math><br/>en Vibradores de inmersión</b> |        |
|--|--------|
| Si $d < 10$ cm   | $D=8d$ |
| Si $d > 10$ cm   | $D=7d$ |
| $S = 0,75 D$   |        |
| $S_1 = 3d$   |        |

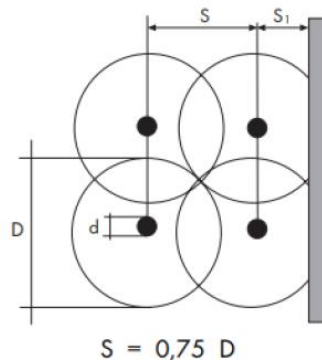
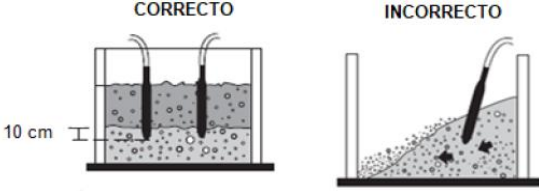
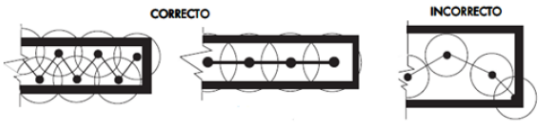



Figura 14: Recomendaciones para parámetros  $D$ ,  $S_1$  y  $S$  en el proceso de compactación vía vibradores de inmersión. Fuente: (Polpaico, s.f.).

## Recomendaciones en el uso de vibradores de inmersión

Se indica en Polpaico (s.f.) una serie de de recomendaciones para el uso de vibradores internos en el proceso de compactación, las cuales se detallan en la Tabla 50.

Tabla 50: Recomendaciones en el uso de vibradores de inmersión para proceso de compactación. Fuente: (Polpaico, s.f.).

| Parámetro  | Consideración   |
|--|---|
| Vibrador de inmersión                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Debe penetrar rápidamente en forma vertical, atravesando la capa inferior en 10 cm cuando aún esté fresca.</li> <li>- Las inserciones deben ser sistemáticas a intervalos regulares.</li> <li>- No debe ser usado para transportar y distribuir el hormigón.</li> <li>- El retiro debe ser lento a una velocidad máxima de 5 cm/s.</li> </ul>  |
| Traslape de diámetros de acción                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecer mallas de vibración a intervalos regulares y en forma sistemática de acuerdo con el diámetro de acción del vibrador.</li> </ul>   |
| Presencia de nidos                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se debe remezclar el hormigón y luego vibrar. No se debe ocultar el nido colocando una capa de mortero.</li> </ul>   |
| Vibrado en elementos con alta densidad de armadura | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se recomienda varillar el hormigón a modo de ayudar al vibrador mecánico, pero evitando el vibrado de la armadura, alejándolo a 5 cm de ella.</li> <li>- No forzar el ingreso del vibrador ya que puede quedar atrapado en las armaduras. En dicho caso, utilizar menor d.</li> </ul>  |
| Vibrado de elementos esbeltos                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- En el caso de losas o pavimentos, el vibrador debe introducirse de manera horizontal o en ángulos muy pequeños (&lt;math&gt;&lt;45^\circ&lt;/math&gt;).</li> </ul>   |
| Detención del vibrado                              | <p>El vibrado debe detenerse cuando:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La superficie se ponga brillante</li> <li>- La grava quede embebida en la mezcla</li> <li>- Nivelación general de la mezcla</li> <li>- Muestra de pasta de cemento en la unión del hormigón con el moldaje</li> <li>- Cese de salida de burbujas de aire en la superficie.</li> </ul>   |



### 2.2.2.2.3 Terminación

En la siguiente subsección se presentan procedimientos recomendados según Polpaico (s.f.) para efectuar la terminación superficial en hormigones, detallados en la Tabla 51.

Tabla 51: Recomendaciones para terminación superficial en hormigón moldeado. Fuente: (Polpaico, s.f.).

| Tratamiento            | Aplicación                               | Descripción  |
|------------------------|--|--|
| Restregado             | Hormigón moldeado                        | El hormigón se limpia de cáscaras, puntas y salientes mediante restregado con una arpillera con mortero de cemento y arena fina en proporción 1:1/2.   |
| Eliminación de lechada | Hormigón moldeado                        | Se eliminan todos los restos de lechada emparejando las caras del elemento con un emeril de mano.  |
| Esmerilado             | Hormigón moldeado                        | Se esmerila intensamente mediante esmeril carborundo manual o electromecánico.   |
| Arenado                | Hormigón moldeado                        | Se aplica chorro de arena que pase por la malla 0,60mm, a una presión entre 25 y 60 psi, sobre la cara del elemento.   |
| Texturado              | Hormigón moldeado                        | Se realiza texturado leve mediante solución de ácido muriático comercial disuelto en agua (proporción 1:4). En cuanto termine el desprendimiento de gas desde la cara del elemento, significa que acabó la reacción del ácido, para posteriormente lavar con abundante agua. |
| Martelina              | Hormigón moldeado                        | La cara del elemento se golpea con un martillo con puntas, con un martinete o con un taladro electromecánico.  |
| Platachado y Allanado  | Hormigón de pisos y superficies abiertas | Se efectúa mediante Platachos Mecánicos (comúnmente conocidos como helicópteros) con el fin de aumentar la resistencia superficial, sellar de fisuras y otorgar una mayor facilidad al limpiar.  |

### 2.2.2.3 Curado y Desmolde

#### 2.2.2.3.1 Curado y Protección del hormigón

Según NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), el curado tiene como finalidad mantener la humedad y las condiciones de temperatura del hormigón para que alcance sus propiedades óptimas, debiendo iniciarse tan pronto como sea posible y por el periodo de tiempo que se requiera.

Dicho lo anterior, se indica en Polpaico (s.f.) que en el proceso de curado es crucial mantener el contenido de humedad, mantener temperaturas relativamente constantes y proteger al hormigón de acciones externas como lluvias, nieve, viento, cargas, etc., a modo de maximizar la resistencia y durabilidad del hormigón. Una incorrecta ejecución del proceso de curado, o peor aún, su no realización, trae consigo problemas graves en el concreto, los cuales se detallan en la Figura 15.

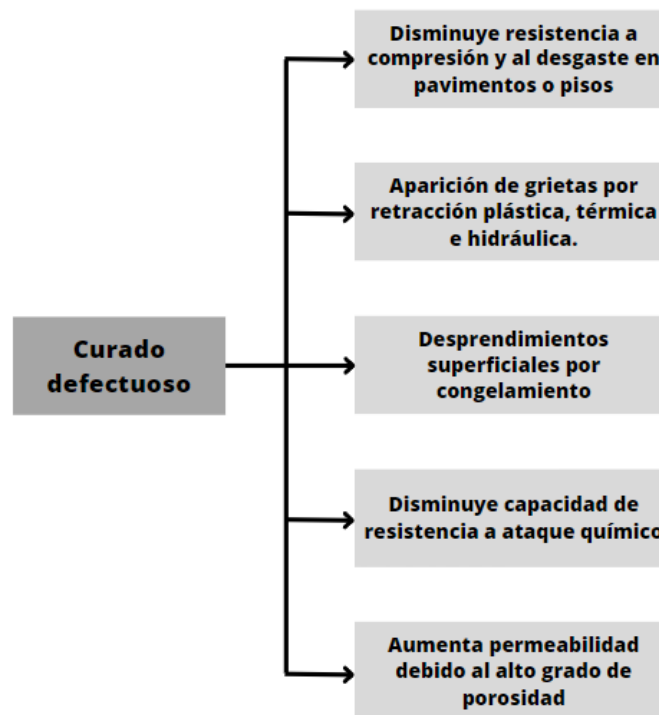


Figura 15: Consecuencias de un curado defectuoso o la no realización de este.  
Fuente: elaboración propia a partir de (Polpaico, s.f.).

Cabe destacar que en las EETT del proyecto se deben definir protocolos de curado y protección del hormigón, mediante procedimientos que incluyen los métodos para efectuar los procesos y los tiempos de aplicación.

*Protección (en caso de ser necesaria)*

De acuerdo con NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), la protección del hormigón a temprana edad tiene como finalidad evitar que se exponga a acciones externas que puedan afectar sus propiedades. Dentro de esas acciones externas, se encuentran: lluvias o granizos, tiempo frío, tiempo de alta evaporación de agua, y sollicitaciones. Para cada una de ellas, se detallan en la misma norma consideraciones a tener en cuenta para la protección del hormigón, las cuales se exhiben en la Tabla 52.

*Tabla 52: Consideraciones para protección del hormigón frente a acciones externas.  
Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).*

| <b>Acción externa</b>              | <b>Consideración</b>   |
|------------------------------------|--|
| Lluvia o granizo                   | Proteger la superficie del elemento desde la colocación hasta el inicio del fraguado   |
| Tiempo frío                        | Adoptar medidas de 2.2.2.2.1 <i>Hormigonado en tiempo frío</i>   |
| Tiempo de Alta evaporación de agua | Adoptar medidas de 2.2.2.2.1 <i>Hormigonado en tiempo de alta evaporación de agua</i>  |
| Sollicitaciones                    | Evitar que el hormigón sufra impactos, vibraciones, tránsito de personas, cargas de equipos y/o materiales que puedan dañarlo durante el periodo de curado, a menos que haya alcanzado resistencia suficiente o lo haya aprobado el proyectista estructural. |

## Métodos de curado

De acuerdo con Polpaico (s.f.), existen principalmente dos métodos de curado. Por una parte, en la Tabla 53, se presentan aquellos que son del tipo de otorgarle humedad al hormigón, mientras que en la Tabla 54, se presentan aquellos que son del tipo de evitar la pérdida de humedad en el hormigón.

Tabla 53: Métodos de curado de tipo otorgarle humedad al hormigón.

Fuente: elaboración propia a partir de (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016) y (Polpaico, s.f.).

| <b>Método de curado</b>            | <b>Descripción</b>   | <b>Limitaciones</b>  |
|------------------------------------|--|--|
| Riego continuo con Agua nebulizada | Mediante nebulizadores se le otorga un riego permanente al hormigón  | -Dificulta el tránsito a obra<br>-Efectivo para temperatura ambiente mayor a 10°C<br>-Gran costo por suministro de agua    |
| Riego Periódico                    | Se le aplica riego a intervalos, cuando se observa que el hormigón comienza a secarse  | -Se necesita precurado de 24h<br>-No recomendable en los primeros días   |
| Tejidos húmedos                    | Mediante sacos, arpilleras o tejidos húmedos se le otorga humedad al hormigón  | -Tejido completamente limpios de materiales contaminantes y resistentes a la pudrición<br>-Mantener tejidos húmedos        |
| Arena húmeda                       | Se le otorga humedad al hormigón mediante una capa de arena húmeda de 5 a 10 cm  | -Se necesita precurado de 24h<br>-Arena limpia de materia orgánica y contaminante<br>-Mantener arena constantemente húmeda |
| Diques con agua                    | -Se mantiene el hormigón bajo agua mediante diques de arena sobre la superficie del hormigón<br>-Evita que se pisen las superficies hormigonadas | -Aplicable a elementos horizontales<br>-Dificulta tránsito<br>-Se necesita precurado                                       |

Tabla 54: Métodos de curado de tipo evitar pérdida de humedad en el hormigón.  
 Fuente: elaboración propia a partir de (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016) y (Polpaico, s.f.).

| Método de curado                    | Descripción  | Limitaciones  |
|-------------------------------------|--|---|
| Membrana de curado                  | -Se debe cubrir toda la superficie del elemento a la brevedad posible<br>-De fácil aplicación<br>-Se debe aplicar inmediatamente después de la terminación, antes que desaparezca la exudación.  | -No controlan la temperatura del hormigón ni agregan agua para una óptima hidratación   |
| Láminas impermeables de polietileno | -Idealmente para elementos horizontales y de geometría simple, ocupando un traslapeo mínimo de 10 cm<br>-Existen también láminas impermeables con burbujas de aire (de embalaje), cuya ventaja es ser aislante térmico, adecuado para ser aplicado en clima frío | -Debe quedar completamente en contacto con hormigón<br>-Ocupar lámina negra y blanca en tiempo frío y caluroso, respectivamente<br>-Deben protegerse de temperaturas extremas y viento mediante capa de tierra<br>-No controlan la temperatura del hormigón ni agregan agua para una óptima hidratación |

Una vez mencionados los métodos de curado, cabe destacar que la elección puede ser uno, así también como una combinación de ellos.

Según Polpaico (s.f.), para seleccionar el método de curado se deben tener en cuenta los factores mencionados en la Figura 16. Cabe destacar que uno de las más importantes es la geometría del elemento, pues se debe tener especial precaución en el curado de losas y otros elementos que tengan grandes superficies expuestas, ya que disipan una gran cantidad de calor y son propensas a fisuración.

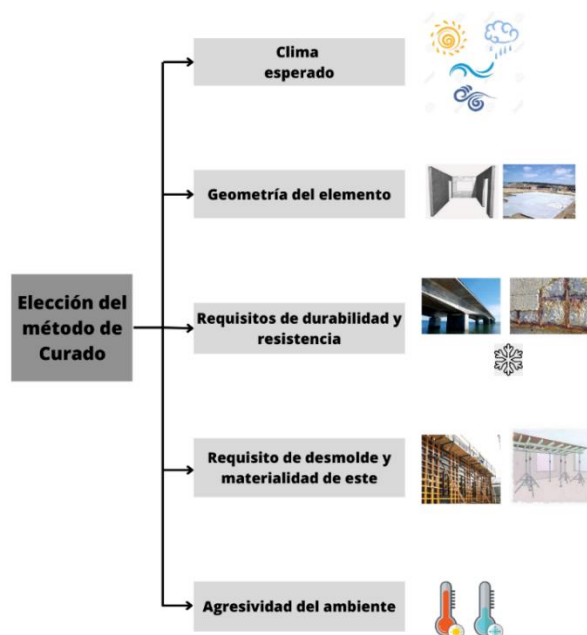


Figura 16: Factores a considerar en elección del método de curado. Fuente: elaboración propia a partir de (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

Con respecto al plazo de curado, se indica en NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), que se debe cumplir con lo estipulado en la Figura 17.

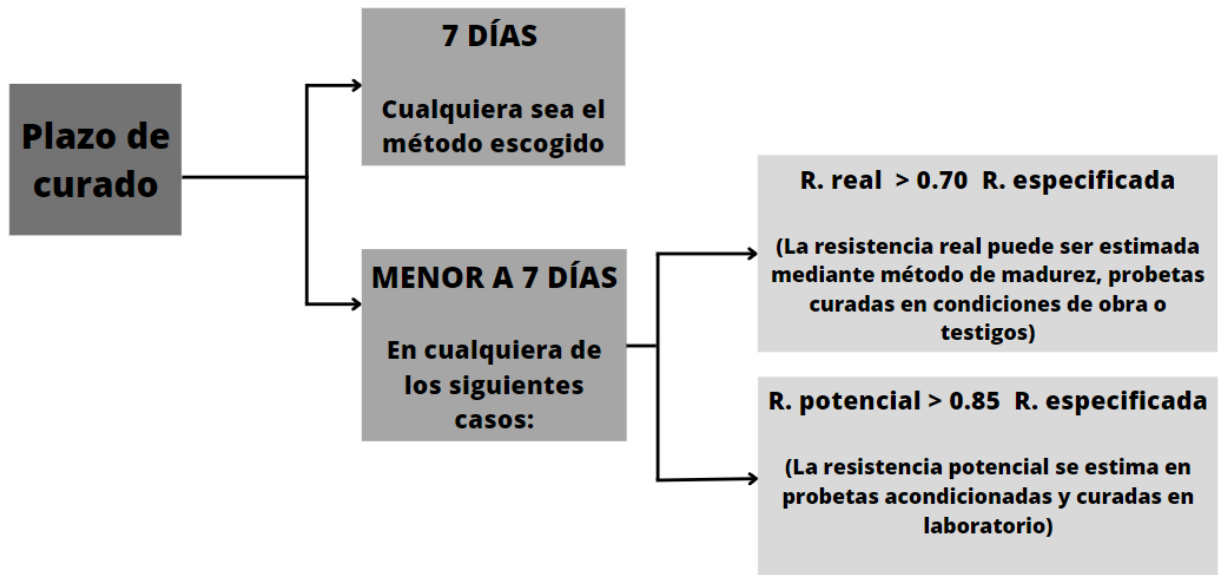


Figura 17: Plazos de curado.

Fuente: elaboración propia a partir de (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

Siguiendo la misma línea, en la Figura 18 se logra apreciar la importancia de la realización de un buen curado y de respetar los plazos establecidos. Si bien el óptimo sería un curado húmedo permanente de 28 días para alcanzar el 100% de resistencia a esa edad, lo cierto es que esta corresponde a una situación ideal de laboratorio, siendo imposible de aplicar en obra. Sin embargo, un curado húmedo de 7 días le permitiría al hormigón alcanzar hasta un 90% de su resistencia a los 28 días, lo cual se considera bastante aceptable para ser una condición de obra.

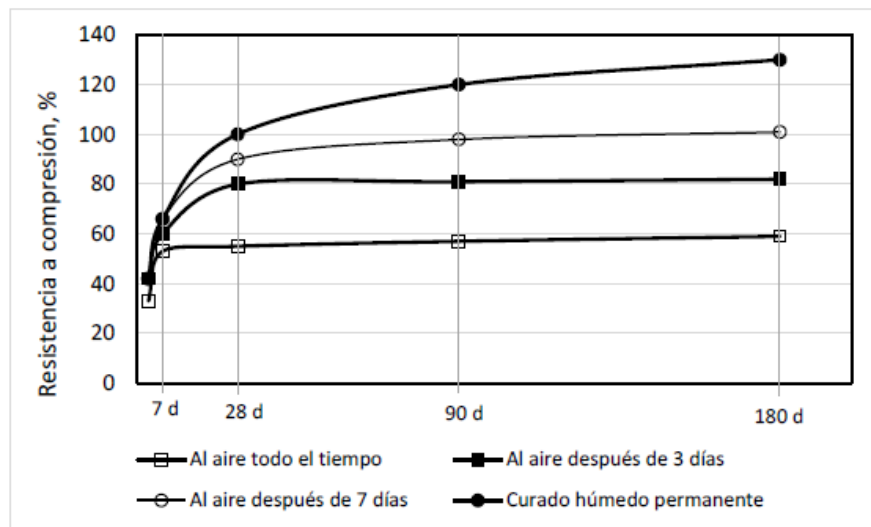


Figura 18: Plazo de curado y resistencia a la compresión del hormigón.

Fuente: (Polpaico, s.f.).

### 2.2.2.3.2 Desmolde y Descimbre de hormigón

De acuerdo con NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), el desmolde y el descimbre se deben realizar sin producir daños en el elemento estructural. Además, si el retiro de los moldajes se realiza en el periodo de curado, las superficies de hormigón expuestas a la intemperie deben someterse al curado correspondiente. En la misma norma, se establece que el inicio del desmolde y descimbre viene dado directamente por la resistencia que adquiere el elemento estructural y de las características que posee. Con respecto a la resistencia, esta puede ser estimada mediante probetas conservadas en condiciones similares a obra, o mediante el método de madurez.

#### *Desmolde*

En la norma NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), se hace la diferenciación entre el desmolde en elementos verticales y horizontales de hormigón. Con respecto a los elementos verticales, hacen referencia a aquellos que son verticales o con inclinación de hasta 30°, como, por ejemplo, muros, costados de viga y pilares. Por otro lado, la misma norma establece que los parámetros horizontales hacen referencia a elementos horizontales como losas, vigas u otros.

#### *Desmolde de elementos verticales*

Según NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), el desmolde de elementos verticales se puede iniciar una vez que hayan alcanzado la resistencia indicada en la Tabla 55.

*Tabla 55: Resistencia mínima para iniciar desmolde en elementos verticales.  
Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).*

| <b>Resistencia mínima de desmolde para elementos verticales</b>  |         |
|--|---------|
| Resistencia real=  | 2 [MPa] |
| Nota 1: En condiciones normales de obra ( $T^{\circ}$ ambiental $>10^{\circ}\text{C}$ ), esta resistencia se debería alcanzar a las 12hrs. |         |
| Nota 2: La resistencia real puede ser estimada mediante el método de madurez.  |         |

#### *Desmolde de elementos horizontales*

De acuerdo con NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), el desmolde de elementos horizontales se puede iniciar una vez que hayan alcanzado la resistencia indicada en la Tabla 56.

Tabla 56: Resistencia mínima para iniciar desmolde en elementos horizontales.  
Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

| <b>Resistencia mínima de desmolde para elementos horizontales</b>  |          |
|--|----------|
| Resistencia real=  | 13 [MPa] |
| Nota 1: moldajes de fondo de vigas y losas se podrán retirar siempre y cuando el elemento no esté sometido a cargas externas distintas a su peso propio.   |          |
| Nota 2: en caso de desazalprimar para desmoldar, se debe efectuar el reapuntalamiento en un plazo máximo de 2 horas o a lo más dentro de la misma jornada de trabajo. Los nuevos puntales no deben ejercer sobrepresión. |          |
| Nota 3: la resistencia puede ser estimada mediante método de madurez, o en su defecto, por probetas moldeadas y conservadas en condiciones similares a la de obra.   |          |

### *Descimbre de elementos horizontales*

Según NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), el descimbre de fondos de vigas y losas se puede iniciar una vez que el hormigón ha alcanzado la condición de resistencia indicada en la Tabla 57, la cual depende de la resistencia especificada  $f'c$ .

Tabla 57: Resistencia mínima para iniciar descimbre en elementos horizontales.  
Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

| <b>Resistencia mínima de descimbre para elementos horizontales</b>   |            |
|--|------------|
| Resistencia real =   | 0,75 $f'c$ |
| Nota 1: las cargas de construcción no deben ser superiores a las de diseño.  |            |
| Nota 2: la resistencia puede ser estimada mediante método de madurez, o en su defecto, por probetas moldeadas y conservadas en condiciones similares a la de obra. |            |

### *Plazos de desmolde y descimbre*

De acuerdo con NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales (2016), en caso con no contar u optar a la información de resistencias mecánicas requeridas para el desmolde o descimbre de los elementos, se puede, de manera alternativa, considerar los plazos indicados en la Tabla 58 para desarrollar las tareas de desmolde y descimbre.



Tabla 58: Plazos para desmolde y descimbre. Fuente: (NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales, 2016).

| Tipos de elementos y moldajes  | Plazo mínimo para desmolde y descimbre |
|--|--|
|  | Temperatura media diaria >10°C         |
| Paramentos verticales de columnas, muros y vigas largas  | 12 horas (ver Nota 1)                  |
| Fondos de losas  | 4 días                                 |
| Fondos de vigas y puntales de losas  | 10 días                                |
| Puntales de vigas  | 14 días                                |
| Nota 1: Contabilizar las 12 horas sin considerar los periodos con temperaturas <10°C.  |  |
| Nota 2: Si la temperatura <10°C, se recomienda en Polpaico (s.f.) incrementar 1 día por cada día que no se obtenga una temperatura media mayor o igual a 10°C. |  |
| Nota 3: Al momento de retirar los moldajes y previo al reapuntalamiento, no deben existir sobrecargas de construcción en el elemento.                          |  |

#### 2.2.2.4 Aceptación/Rechazo del hormigón

Los criterios de aceptación del hormigón están ligados principalmente al cumplimiento de la resistencia mecánica, para lo cual resulta crucial realizar una buena evaluación estadística de resistencia. Por otro lado, existen proyectos que en sus EETT incluyen la aceptación por terminación superficial del elemento hormigonado, y otros incluyen la aceptación por fisuras no estructurales en muros.

##### *Evaluación estadística*

Tal y como se mencionó con anterioridad en la sección 2.1.2.2 Resistencia, se debe cumplir con lo estipulado en las Tabla 16 y Tabla 19, que consideran la evaluación estadística tanto para probetas moldeadas como para testigos, respectivamente.

En caso de no cumplimiento, se indica en la norma NCh1998: 1989: Hormigón - Evaluación Estadística de la resistencia mecánica (1989), que se debe consultar con el proyectista estructural del proyecto las acciones a seguir (ver Tabla 17).

##### *Terminación Superficial (si corresponde)*

De acuerdo con la Especificación Técnica ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A. (2006), la terminación superficial de un elemento se evalúa mediante desviaciones máximas admisibles para dicho elemento, considerando planeidad en superficies horizontales y verticales, variaciones de ejes del proyecto, resaltes, entre otros. Las desviaciones de elementos verticales se deben medir 24 horas después del desmoldado, mientras que para elementos horizontales se deben medir antes y después del retiro de puntales.

Las tolerancias dimensionales máximas admisibles, para las diferentes mediciones y los distintos grados de terminación de hormigón, se presentan de la Tabla 59 a la Tabla 63.

*Tabla 59: Valores máximos de deformación en la planeidad de la superficie vertical.  
Fuente: (ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A., 2006).*

| <b>Medición: Planeidad de la superficie vertical</b> |                                 |                                 |                                 |                                 |
|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Altura</b>  | <b>L ≤ 1,5m</b>                 | <b>L ≤ 3m</b>                   | <b>L ≤ 6m</b>                   | <b>L &gt; 6m</b>                |
| <b>Grado</b>   | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b> | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b> | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b> | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b> |
| G1   | 4                               | 6                               | 10                              | 25                              |
| G2   | 5                               | 7                               | 12                              | 30                              |
| G3   | 7                               | 12                              | 18                              | 30                              |
| G4   | 8                               | 15                              | 20                              | 30                              |

Tabla 60: Valores máximos de deformación en la planeidad de la superficie horizontal posterior al hormigonado.  
Fuente: (ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A., 2006).

| <b>Medición: Planeidad de la superficie horizontal (cielo) de moldajes posterior al hormigonado</b> |                                 |                                 |                                 |                                 |
|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Longitud</b>   | <b>L ≤ 1,5m</b>                 | <b>L ≤ 3m</b>                   | <b>L ≤ 6m</b>                   | <b>L &gt; 6m</b>                |
| <b>Grado</b>  | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b> | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b> | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b> | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b> |
| G1  | 4                               | 6                               | 10                              | 15                              |
| G2  | 5                               | 8                               | 12                              | 18                              |
| G3  | 7                               | 10                              | 15                              | 20                              |
| G4  | 8                               | 14                              | 20                              | 25                              |

Tabla 61: Valores máximos de deformación en la planeidad de la superficie horizontal posterior al desmoldado y desalzaprimado. Fuente: (ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A., 2006).

| <b>Medición: Planeidad de la superficie horizontal (cielo) posterior al desmoldado y desalzaprimado</b> |                                 |                                 |                                 |                                 |
|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Longitud</b>   | <b>L ≤ 1,5m</b>                 | <b>L ≤ 3m</b>                   | <b>L ≤ 6m</b>                   | <b>L &gt; 6m</b>                |
| <b>Grado</b>  | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b> | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b> | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b> | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b> |
| G1  | 6                               | 10                              | 15                              | 20                              |
| G2  | 7                               | 12                              | 18                              | 22                              |
| G3  | 8                               | 14                              | 20                              | 25                              |
| G4  | 9                               | 17                              | 25                              | 30                              |

Tabla 62: Valores máximos de deformación respecto a ejes, variaciones de vanos y puertas, y resaltes.  
Fuente: (ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A., 2006).

| <b>Medición: Otras variaciones</b> |  |                                 |   |
|------------------------------------|--|---------------------------------|---|
|                                    | <b>Variaciones respecto a ejes de proyecto</b> | <b>De vanos y puertas</b>       | <b>Resaltes en la cara del elemento</b> |
| <b>Grado</b>                       | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b>                | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b> | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b>         |
| G1                                 | 5  | 5                               | 3                                       |
| G2                                 | 6  | 5                               | 5                                       |
| G3                                 | 10   | 5                               | 5                                       |
| G4                                 | 15   | 10                              | 8                                       |

Tabla 63: Valores máximos de deformación en hormigones de superficies en pisos.  
Fuente: (ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A., 2006).

| <b>Medición: Hormigón de superficies en pisos</b> |                                 |                                 |                                 |                                 |                                   |
|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|   | <b>L ≤ 1,5m</b>                 | <b>L ≤ 3m</b>                   | <b>L ≤ 6m</b>                   | <b>L &gt; 6m</b>                | <b>Resaltes en un mismo plano</b> |
| <b>Grado</b>                                      | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b> | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b> | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b> | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b> | <b>Máx. desviación<br/>± mm</b>   |
| G5  | 3                               | 5                               | 7                               | 10                              | 2                                 |
| G6  | 4                               | 7                               | 10                              | 15                              | 3                                 |

Además, de acuerdo con Corporación de Desarrollo Tecnológico (2018), existen tolerancias adicionales en edificaciones, por ejemplo, la cuadratura de muro con otros elementos (ver Tabla 64), y tolerancias para variación en el espesor de muros y losas (ver Tabla 65).

Tabla 64: Tolerancias admisibles para la cuadratura de muros con otros elementos.

Fuente: (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2018).

| <b>Cuadratura de muro con otros elementos</b> |                   |
|---|-------------------|
| <b>Unión</b>                                  | <b>Tolerancia</b> |
| Muro – Losa (cielo)                           | 2 mm              |
| Muro - Muro                                   | 3 mm              |
| Muro – Losa (Piso)                            | 2 mm              |

Tabla 65: Tolerancias admisibles para variaciones de espesor en muros y losas. Fuente: (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2018).

| <b>Variación de espesor en muros y losas</b> |                                 |  |                          |                   |
|--|---------------------------------|--|--------------------------|-------------------|
| <b>Losa</b>                                  |                                 | <b>Muro (espesor e)</b>  |                          |                   |
| <b>Variaciones del espesor</b>               | <b>Variaciones de pendiente</b> | <b>Variaciones del espesor (ver Nota)</b>                        |                          |                   |
| -6mm   | ±0,5%                           | <b>e ≤30 cm</b>  | <b>30cm &lt; e ≤60cm</b> | <b>e &gt;60cm</b> |
|  |                                 | +10mm, -6mm  | +13mm, -10mm             | +25mm, -19mm      |
|  |                                 | Nota: se debe respetar el espesor especificado de recubrimiento. |                          |                   |

*Fisuras no estructurales en muros (si corresponde)*

Según la Especificación Técnica ET 001-05: Fisuras no estructurales en muros de H.A. (2005), se consideran como fisuras no estructurales en muros todas aquellas originadas por deformaciones volumétricas restringidas del hormigón endurecido, aquellas de orientación vertical o con inclinación menor a 30° con respecto a la horizontal, y que son de lados predominantemente paralelos. Dichas fisuras pueden tener implicancia estructural, dependiendo de las características que presenten. Lo anterior se detalla en la Tabla 66, correspondiente al Estándar de Fisuración Especificado (EFE) definido en la misma especificación.

Tabla 66: Estándar de Fisuración Especificado (EFE) para fisuras no estructurales.  
Fuente: elaboración propia a partir de (ET 001-05: Fisuras no estructurales en muros de H.A., 2005).

| Parámetro  | Fisura sin implicancia estructural | Fisura con implicancia estructural |
|--|------------------------------------|------------------------------------|
| Ancho de fisura en muro estándar   | $\leq 5 \text{ mm}$                | $>5 \text{ mm}$                    |
| Ancho de fisura en muro de corte   | $\leq 3 \text{ mm}$                | $>3 \text{ mm}$                    |
| Razón ancho total fisura/largo muro  | $\leq 0,3 \text{ mm/m}$            | $>0,3 \text{ mm/m}$                |
| Fisuras en canterías   | EETT                               | EETT                               |
| Nota 1: la magnitud del ancho se debe medir sobre la superficie del muro con un instrumento apropiado (ver Tabla 67).  |                                    |                                    |
| Nota 2: la razón ancho total fisura/largo muro se debe calcular determinando el ancho de cada fisura que exista en una horizontal determinada por el ITO, a la altura donde se presenten mayores anchos de fisura, abarcando a lo menos el 50% de las fisuras existentes en el muro. |                                    |                                    |
| Nota 3: uso de canterías para inducir la fisuración en lugares controlados, en donde se aceptará obtener anchos mayores de fisura a los indicados.   |                                    |                                    |

Tabla 67: Instrumentos para medir ancho de fisuras. Fuente: (ET 001-05: Fisuras no estructurales en muros de H.A., 2005).

| Instrumentos para medir ancho de fisuras  |   |   |
|---|---|---|
| Comparador de fisuras del ICH   | Microscopio de comparación con limbo graduado                                       | Dispositivo calibrado de monitoreo de fisuras   |
|  |  |  |

Una vez definido el *EFE*, se presenta en la Tabla 68 los criterios de aceptación o rechazo de hormigón para fisuras no estructurales. Cabe destacar que los criterios corresponden sólo a sugerencias, y deben ser aprobadas de igual manera por el proyectista estructural del proyecto.

*Tabla 68: Criterios de aceptación y rechazo en fisuras no estructurales de muros.  
Fuente: elaboración propia a partir de (ET 001-05: Fisuras no estructurales en muros de H.A., 2005).*

| <b>Condición</b>                                 | <b>Sugerencia de Aceptación/ Rechazo</b>  |
|--|---|
| Fisura sin implicancia estructural según EFE     | Aceptación del hormigón sin reparación  |
| Fisura con implicancia estructural según EFE     | Rechazo del hormigón y tratamiento indicado en 2.2.2.5 <i>Reparaciones</i>                              |
| Fisuras visibles en muros pintados o empapelados | Aceptación o Rechazo según EFE aplicado en revestimiento. Por razones estéticas, se recomienda rechazo. |
| Fisuras en Hormigón Grado G1                     | Aceptación o Rechazo (y reparación) a criterio del arquitecto   |

### 2.2.2.5 Posibles Reparaciones de hormigón

En la siguiente sección se abordarán todos aquellos mecanismos de reparaciones para defectos que pudiesen existir en el hormigón, orientados al tratamiento de nidos, terminación superficial, y fisuras no estructurales, si así correspondiese.

*Nidos (si corresponde)*

Según la Especificación Técnica ET 002-05: Altura de vaciado del hormigón en elementos verticales (2005), el criterio de reparación para este defecto depende principalmente del %Nidos en los 20 cm inferiores presente en la cara del elemento, pudiendo ser incluso no necesaria una reparación. Lo anterior se puede visualizar en la Tabla 69, donde se definen sugerencias de reparación para nidos.

*Tabla 69: Sugerencia de reparación para Nidos.  
Fuente: (ET 002-05: Altura de vaciado del hormigón en elementos verticales, 2005).*

| <b>Condición</b>   | <b>Sugerencia</b>  |
|--------------------|--|
| %Nidos $\leq$ 10 % | No reparar a menos que la durabilidad o la estética del elemento se vean amenazadas                    |
| %Nidos $>$ 10 %    | Reparación estética, reparación estructural, o demolición, sujeto a criterio del ingeniero estructural |

De acuerdo con ET 002-05: Altura de vaciado del hormigón en elementos verticales (2005), en caso ser necesario aplicar reparación en la superficie del elemento, se debe tener en cuenta la profundidad del nido, existiendo dos situaciones en particular a considerar para el método de reparación:

- a) Nidos cuya profundidad es mayor que el recubrimiento (dejando enfierradura expuesta) y de profundidad mayor que el Tamaño Máximo Nominal del árido.
- b) Nidos cuya profundidad no afecta el recubrimiento de la enfierradura y es de menor profundidad que el Tamaño Máximo Nominal del árido.

Dicho lo anterior, se propone en la Tabla 70 los métodos de reparación para estos dos tipos de nidos.

Tabla 70: Sugerencia de mecanismo de reparación de nidos.  
 Fuente: (ET 002-05: Altura de vaciado del hormigón en elementos verticales, 2005).

| <b>Nido con profundidad mayor a recubrimiento</b>   | <b>Nido que no afecta a recubrimiento</b>   |
|---|---|
| 1. Profundizar Nido tras armaduras mediante picado y regularizar bordes del nido                  |   |
| 2. Limpiar exhaustivamente con equipo mecánico la zona a reparar de todo material suelto          | 1. Limpiar exhaustivamente con equipo mecánico la zona a reparar de material suelto |
| 3. Humedecer toda la superficie del Nido  | 2. Humedecer toda la superficie del Nido  |
| 4. Disponer de puente adherente en toda la superficie, o utilización de aditivo                   | 3. Disponer de puente adherente en toda la superficie, o utilización de aditivo     |
| 5. Llenar Nido con hormigón de resistencia similar y tamaño máximo nominal de árido menor o igual | 4. Llenar Nido con mortero de resistencia similar                                   |

*Terminación Superficial (si corresponde)*

En caso de incumplimiento en las tolerancias admisibles en la terminación superficial de un elemento de hormigón, se propone en ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A. (2006), los criterios de reparación detallados en la Tabla 71, dependiendo del grado de terminación del hormigón.

Tabla 71: Sugerencia de reparación para terminación superficial.  
 Fuente: (ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A., 2006).

| <b>Tipo de hormigón</b> | <b>Grado</b> | <b>Reparación</b>  |
|-------------------------|--------------|--|
| Sin recubrimiento       | 1            | Sólo se considera admisible desbastar resaltes de juntas de moldajes, sin que se marque la superficie de hormigón. Cualquier otra imperfección es causal de demolición del elemento. |
|                         | 3, 5         | Reparaciones menores compatibles con los requerimientos estructurales y estéticos.   |
| Con recubrimiento       | 2, 3, 4, 6   | Desbastar o rellenar defectos superficiales, sin disminuir el recubrimiento mínimo especificado.   |



### *Fisuras no estructurales de muros (si corresponde)*

En el caso en particular de muros de hormigón, que no cumplan con los requisitos del Estándar de Fisuración Especificado detallado en la Tabla 66, se sugiere adoptar las medidas de tratamiento y reparación indicadas a continuación en la Tabla 72.

*Tabla 72: Sugerencia de reparación de fisuras no estructurales de hormigón.  
Fuente: elaboración propia a partir de (ET 001-05: Fisuras no estructurales en muros de H.A., 2005) y (Polpaico, s.f.).*

| <b>Condición</b>  | <b>Tratamiento</b>   |
|---|--|
| Fisuras de ancho entre 0,5 a 1 mm, sin implicancia estructural  | No tendrán tratamiento a menos que sea hormigón Grado 1 o 2                                |
| Fisuras de ancho mayor a 1 mm, sin implicancia estructural  | Inyección epóxica a presión  |
| Fisuras de ancho mayor a 0,3 mm, en muros de corte  | Inyección epóxica a presión o equivalente en caso de indicación de proyectista estructural |
| Fisuras de cualquier ancho, implicancia estructural   | Reparación según indicaciones de proyectista estructural                                   |
| Fisuras en canterías  | Sellamiento con sistemas elásticos según EETT  |
| Nota 1: en caso de fisuras estéticas, se recomienda aplicación de lechada o mortero que la cubran y sellen.   |  |
| Nota 2: en caso de que la fisura comprometa el monolitismo del elemento, se recomienda tratamiento mediante inyección epóxica o lechada de cemento, a presión (elemento vertical) o por gravedad (elemento horizontal). |  |

### *Reparaciones por incumplimiento de resistencia en evaluación estadística*

En caso de incumplimiento de resistencia mecánica en la de evaluación estadística, es el proyectista estructural del proyecto el encargado de analizar el caso a caso, y decidir la aceptación, demolición, o reparación del elemento, en base a estudios con memorias de cálculo y su experiencia profesional.

## 2.3 Inspección Técnica de Obras

Según Corporación de Desarrollo Tecnológico (2011), la Inspección Técnica de Obra es un servicio de asesoría con amplio conocimiento técnico, en gestión de proyectos y en la administración de contratos de construcción, y que brinda gestión y supervisión en los proyectos de construcción.

Así mismo, se establece en Curso 1: Inspección Técnica en Obras de Hormigón (2022), que el Inspector Técnico de Obra es un profesional de la construcción que actúa en representación del Mandante, y que es participante directo en la ejecución del contrato, supervisando su fiel cumplimiento y verificando el correcto desarrollo de las obras, aportando conocimientos y experiencias. El Inspector Técnico actúa de manera independiente al contratista y proyectista, quienes también son parte del Contrato.

Dicho todo lo anterior, de acuerdo con Corporación de Desarrollo Tecnológico (2011), la Inspección Técnica de Obra considera, a grandes rasgos, los siguientes puntos:

- Representar técnicamente al mandante en su relación contractual con los contratistas
- Verificar el cumplimiento de las EETT del proyecto
- Evaluar los cambios solicitados por el mandante
- Analizar riesgos directos u otros del proyecto en su fase de ejecución

### *Características de la ITO*

Se destaca en Corporación de Desarrollo Tecnológico (2011) una serie de características de la Inspección Técnica de Obra, que se resumen en los siguientes puntos:

- La participación de la ITO debe ser planificada y programada para hacer más eficiente y eficaz su intervención.
- El equipo profesional asignado a cada caso debe contar con la formación y competencias necesarias para cumplir con las funciones descritas anteriormente.
- La ITO debe tener responsabilidades con la legislación vigente.
- El trabajo de inspección técnica se ejecuta mediante métodos y procedimientos validados, idealmente certificados. Estos son de carácter esencialmente preventivo.
- En la participación de la ITO se privilegia su rol de experto y colaborador en todas las etapas del diseño y ejecución.
- El mandante le entrega a la ITO todas las atribuciones necesarias para interactuar con los demás agentes que intervienen del proceso (proyectistas y contratistas).
- La ITO siempre debe optar por una postura de imparcialidad, objetividad y transparencia, los cuales son requisitos indispensables para conservar su prestigio y credibilidad.
- La ITO debe realizar sus funciones en un contexto de irrestricto apego a las normas éticas y códigos de conducta.

## Funciones de la ITO

Las funciones de una Inspección Técnica de Obra pueden ser muy variadas dentro de un proyecto, abarcando una gran cantidad de áreas y tareas, tal y como se detalla en la Tabla 73.

Tabla 73: Funciones de la ITO. Fuente: (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011).

| <b>Funciones de la ITO</b> |  |
|----------------------------|--|
| 1                          | Verificar, en representación del mandante, que las obras se ejecutan de acuerdo con los términos contractuales y al diseño aprobado por las instancias pertinentes.                        |
| 2                          | Mantener una permanente y fluida comunicación con los distintos agentes del proceso, esto es mandante, proyectistas y contratistas.  |
| 3                          | Comunicar, a través del Libro de Obras, a proyectistas y contratistas de todas las materias o aspectos que se relacionen con el contrato global o con partes del mismo.                    |
| 4                          | Solicitar toda la información, documentos y certificados relacionados con la ejecución de las obras, en particular de las modificaciones y ajustes que se produzcan durante su desarrollo. |
| 5                          | Aprobar o rechazar partidas o materiales, verificando que cumplan con las exigencias y requisitos contenidos en planos y especificaciones técnicas.  |
| 6                          | Solicitar, si es preciso, informes, pruebas o ensayos adicionales de calidad.  |
| 7                          | Coordinar las reuniones técnicas de obra, realizando seguimiento a los acuerdos y compromisos establecidos en ellas.   |
| 8                          | Revisar y aprobar estados de pago, de acuerdo a plazos y procedimientos establecidos en las bases administrativas.   |
| 9                          | Conocer, evaluar e informar los aumentos o disminuciones de obras y la incidencia de éstas respecto de costos y plazos.  |
| 10                         | Solicitar presencia de expertos, en calidad de asesoría o consultoría externa, frente a situaciones no previstas.  |
| 11                         | Recibir las obras ejecutadas por el Contratista según los procedimientos e instrumentos establecidos para ese fin, en los planes de gestión de calidad.                                    |
| 12                         | Verificar que los recursos, materiales e insumos que emplea el Contratista para ejecutar las obras, correspondan a lo especificado en el proyecto.   |
| 13                         | Proponer al Mandante las medidas que deba adoptar ante situaciones que ameriten su intervención y requieran su decisión.   |
| 14                         | Colaborar en el cuidado y protección del personal, instalaciones, materiales, equipos y demás elementos que se utilicen en obra.   |
| 15                         | Verificar el cumplimiento, por parte de todos los agentes que intervienen en el proyecto, de las disposiciones legales relativas al cuidado ambiental.                                     |
| 16                         | Controlar y realizar seguimiento de los programas de avance y los flujos financieros.  |
| 17                         | Coordinar los requerimientos de información que realice el Contratista, procurando la más rápida y oportuna respuesta por mandante y proyectista a las consultas.                          |
| 18                         | Coordinar e intervenir en el proceso de recepción de las obras, una vez concluidos los plazos contractuales.   |
| 19                         | Organizar el proceso de documentación requerido para la obtención de la recepción municipal de las obras.  |

### 3. PROPUESTA DEL MANUAL DE ITOH

#### 3.1 Vínculo de una ITO con una ITOH

Por definición, la Inspección Técnica de Obras en Hormigón (ITOH), hace referencia a la inspección de obra ligada a todos aquellos aspectos relacionados directamente con el hormigón, es decir, se limitan todas las funciones de la ITO tradicional a las que tienen relación con el hormigón y sus etapas constructivas mencionadas con anterioridad. Dicho lo anterior, la ITOH es tan sólo un subconjunto de la amplia gama de funciones que contempla la ITO tradicional.

Así mismo, según Curso 1: Inspección Técnica en Obras de Hormigón (2022), el Inspector Técnico de Obras en Hormigón es un:

profesional de la construcción que, actuando en representación del mandante, participa en la ejecución de un contrato de manera independiente al rol de los proyectistas y de los constructores, supervisando el fiel cumplimiento de un contrato y verificando el correcto desarrollo de las obras de construcción EN HORMIGON, aportando conocimientos y experiencias. Sus funciones y atribuciones deben quedar perfectamente definidas en las bases administrativas.

#### *Funciones de la ITOH*

A partir de las 19 funciones establecidas para una Inspección Técnica de Obra (ver Tabla 73), se puede realizar un análisis y deducir cuáles de ellas están relacionadas con el hormigón, a modo de reducir las funciones al estudio de la ITOH. A partir de dicho análisis, se presenta en la Tabla 74 las funciones generales de una Inspección Técnica en Obras de Hormigón.

Tabla 74: Funciones de la ITOH. Fuente: elaboración propia a partir de (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011).

| Funciones de la ITOH |  |
|----------------------|--|
| 1                    | Verificar, en representación del mandante, que las obras de hormigón se ejecutan de acuerdo al diseño aprobado por las instancias pertinentes.   |
| 2                    | Solicitar toda la información, documentos y certificados relacionados con la ejecución de las obras de hormigón, en particular de las modificaciones y ajustes que se produzcan durante su desarrollo. |
| 3                    | Aprobar o rechazar partidas de hormigón, verificando que cumplan con las exigencias y requisitos contenidos en planos y especificaciones técnicas.   |
| 4                    | Solicitar, si es preciso, informes, pruebas o ensayos adicionales de calidad de hormigón.  |
| 5                    | Solicitar presencia de expertos, en calidad de asesoría o consultoría externa, frente a situaciones no previstas en temas relacionados al hormigón.  |
| 6                    | Recibir las obras de hormigón ejecutadas por el Contratista según los procedimientos e instrumentos establecidos para ese fin, en los planes de gestión de calidad.                                    |
| 7                    | Verificar que los recursos, materiales e insumos que emplea el Contratista para ejecutar las obras de hormigón, correspondan a lo especificado en el proyecto.   |
| 8                    | Proponer al Mandante las medidas que deba adoptar ante situaciones relacionadas al hormigón que ameriten su intervención y requieran su decisión.  |
| 9                    | Colaborar en el cuidado y protección de instalaciones, materiales, equipos y demás elementos que se utilicen en obras de hormigón.   |

Dichas funciones de la ITOH pueden ser desglosadas y estudiadas detalladamente en cada una de las etapas constructivos del hormigón mencionadas anteriormente: Fabricación, Colocación, Curado, Aceptación y Reparaciones.

### 3.1.1 ITOH en etapa de Fabricación y Transporte

#### 3.1.1.1 ITOH en etapa de Fabricación de hormigón in situ y Transporte

A grandes rasgos, la ITOH debe inspeccionar a la constructora en el proceso de fabricación del hormigón, y velar por el cumplimiento del contrato de construcción en los aspectos relacionados con dicho proceso, siguiendo los principales lineamientos de las EETT del proyecto y de la norma NCh170.

En la Tabla 75 se presentan las funciones específicas de la ITOH en diferentes temas en la etapa de fabricación en obra, con las respectivas responsabilidades del contratista en el tema.

Tabla 75: Funciones de la ITOH y responsabilidades del contratista en el proceso de fabricación de hormigón en obra.  
Fuente: (Curso 1: Inspección Técnica en Obras de Hormigón, 2022).

| Tema                                | ITOH   | Contratista   |
|-------------------------------------|--|---|
| Materiales componentes del hormigón | Supervisar al contratista en la verificación de la calidad de los materiales componentes, mediante certificaciones que entrega el proveedor del componente, indicadores y evidencia asociada (Check-List). | -Controlar los materiales componentes en la fabricación del hormigón, según la normativa que rige a cada uno.<br>-Solicitar certificados a proveedores de materiales componentes.<br>-Aceptación o rechazo de material componente del hormigón.<br>- Controlar humedad de áridos. |
| Dosificación                        | Supervisar al contratista en la validación y cumplimiento de la dosificación mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List).   | -Validar memoria de cálculo de dosificación vía mezclas de prueba (Hormigones de prueba NCh1018), considerando requisitos como durabilidad, docilidad, resistencia y otros especiales.<br>-Cumplimiento de la dosificación vía reportes de carga                                  |
| Confección                          | -Inspeccionar y exigir la confección de un hormigón homogéneo y uniforme en el tiempo mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List).  | -Confeccionar hormigón homogéneo, controlando los tiempos de mezclado, la orden de carguío y la velocidad de rotación del mezclador según pruebas de planta validadas.<br>-Chequear la homogeneidad y la uniformidad (en caso de ser necesario).                                  |
| Frecuencia de muestreo              | -Chequear cumplimiento de frecuencia de muestreo mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List).<br>-Solicitar muestras especiales de aquellas partes de la obra que a su juicio sea necesario.    | -Cumplimiento de frecuencia de muestreo según EETT y/o NCh170.<br>-Cumplimiento de frecuencia de muestreo de muestras especiales solicitadas por la ITO, si corresponde.  |
| Descarga                            | -Supervisar al contratista en la descarga de hormigón de mezcladora, mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List).<br>-Solicitar, en caso de ser necesario, medición de uniformidad.             | -Ajuste de docilidad en caso de ser necesario.<br>-Realizar prueba de cono.<br>-Aprobar la descarga de hormigón de acuerdo con cumplimiento de cono solicitado y tolerancias admisibles según la norma NCh170.<br>-Chequear tiempo de descarga.                                   |
| Durabilidad                         | -Inspeccionar al contratista.<br>-Exigir cumplimiento de requisitos de durabilidad (si corresponde), mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List).   | -Evaluar la acción de agentes internos y externos del hormigón que puedan condicionar su durabilidad.<br>-Cumplir con los requisitos de durabilidad establecidos en la NCh170 para los agentes internos y externos, si corresponde.   |

### 3.1.1.2 ITOH en etapa de Fabricación en planta (hormigón premezclado) y Transporte

A grandes rasgos, la ITOH debe inspeccionar a la constructora en el proceso de fabricación del hormigón por parte de la planta mezcladora, y velar por el cumplimiento del contrato de construcción en los aspectos relacionados con dicho proceso, siguiendo los principales lineamientos de las EETT del proyecto, y de las normas NCh170 y NCh1934.

En la Tabla 76, se presentan funciones específicas de la ITOH en diferentes temas en la etapa de fabricación, con las respectivas responsabilidades del contratista en el tema.

Tabla 76: Funciones de la ITOH y responsabilidades del contratista en el proceso de fabricación de hormigón premezclado.  
Fuente: (Curso 1: Inspección Técnica en Obras de Hormigón, 2022).

| Tema                                | ITOH   | Contratista  |
|-------------------------------------|--|--|
| Materiales componentes del hormigón | Supervisar al contratista que realice la verificación de la calidad de los materiales componentes, mediante indicadores, certificaciones solicitadas por el contratista y evidencia asociada (Check-List). | -Solicitar certificados al suministrador de hormigón referentes a la verificación de la calidad de sus materiales utilizados (es responsabilidad de la central hormigonera llevar un control de sus componentes).  |
| Dosificación                        | Supervisar la validación y cumplimiento de la dosificación mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List).   | -Validar memoria de cálculo de dosificación vía mezclas de prueba (Hormigones de prueba NCh1018), considerando requisitos como durabilidad, docilidad, resistencia y otros especiales.<br>-Cumplimiento de la dosificación vía reportes de carga.<br>-Chequear guía de despacho del camión.  |
| Frecuencia de muestreo              | -Chequear cumplimiento de frecuencia de muestreo mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List).<br>-Solicitar muestras especiales de aquellas partes de la obra que a su juicio sea necesario.    | -Cumplimiento de frecuencia de muestreo según EETT y/o NCh170.<br>-Cumplimiento de frecuencia de muestreo de muestras especiales solicitadas por la ITO, si corresponde.   |
| Recepción del hormigón              | -Supervisar al contratista en la recepción y descarga de hormigón del camión mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List).<br>-Solicitar, en caso de ser necesario, medición de uniformidad.     | -Ajuste de docilidad en obra en caso de ser necesario.<br>-Realizar prueba de cono.<br>-Aprobar la descarga de hormigón del camión, de acuerdo con cumplimiento de cono solicitado y tolerancias admisibles según NCh170.<br>-Chequear los tiempos de carga-descarga, descarga, espera y de sobreestadía.<br>-Chequear la homogeneidad del hormigón y la uniformidad (en caso de ser necesario). |
| Durabilidad                         | -Inspeccionar al contratista.<br>-Exigir cumplimiento de requisitos de durabilidad (si corresponde), mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List).   | -Evaluar la acción de agentes internos y externos del hormigón que puedan condicionar su durabilidad.<br>-Cumplir con los requisitos de durabilidad establecidos en la NCh170 para los agentes internos y externos, si corresponde.  |

### 3.1.2 ITOH en etapa de Colocación, Compactación y Terminación

De manera genérica, la ITOH debe inspeccionar a la constructora en los procesos de colocación, compactación y terminación del hormigón, llevados a cabo por la constructora, y velar por el cumplimiento del contrato de construcción en los aspectos relacionados con dichos procesos, siguiendo los principales lineamientos de las EETT del proyecto, de los protocolos/ instructivos de obra y de la NCh170.

Las funciones de la ITOH y las responsabilidades del contratista en esta etapa se presentan en la Tabla 77.

*Tabla 77: Funciones de la ITOH y responsabilidades del contratista en el proceso de colocación de hormigón.*

*Fuente: (Curso 1: Inspección Técnica en Obras de Hormigón, 2022).*

| <b>Tema</b>         | <b>ITOH</b>  | <b>Contratista</b>   |
|---------------------|--|--|
| Previo a Colocación | -Supervisar la labor del contratista previo a la colocación del hormigón mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List).   | -Preparación de superficie a hormigonar.<br>-Chequear correcta disposición, posicionamiento y dimensiones de armaduras, insertos y moldajes, según las tolerancias para moldajes.<br>-Analizar procedimientos/protocolos de juntas de hormigonado.<br>-Medir la temperatura del hormigón, controlar el potencial de fisuración E y evaluar posible colocación en condiciones extremas. |
| Colocación          | -Supervisar la labor del contratista durante la colocación del hormigón.<br>-Exigir cumplimiento de protocolos/ instructivos de colocación, de las EETT y de la normativa, mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List).     | -Cumplir con el protocolo/instructivo de colocación, con las EETT y con la normativa.<br>-Adoptar medidas necesarias en caso de hormigonado en condiciones extremas.<br>-Mantener las propiedades del hormigón fresco.<br>-Disponer de equipos en buen estado para la colocación.  |
| Compactación        | -Supervisar la labor del contratista durante la compactación del hormigón.<br>-Exigir cumplimiento de protocolos/ instructivos de compactación, de las EETT y de la normativa, mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List). | -Cumplir con el protocolo/instructivo de compactación, con las EETT y con la normativa.<br>-Disponer de equipos en buen estado para la compactación.   |
| Terminación         | -Supervisar la labor del contratista en la etapa de terminación del elemento.<br>-Exigir cumplimiento de protocolo/instructivo de terminación, de las EETT y de la normativa, mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List).  | -Cumplir con el protocolo/instructivo de terminación, con las EETT y con la normativa.<br>-Analizar terminación superficial requerida según grado de terminación del hormigón.   |



### 3.1.3 ITOH en etapa de Curado y Desmolde

De manera genérica, la ITOH debe inspeccionar a la constructora en los procesos de Protección (en caso de ser necesaria), Curado, Desmolde y Descimbre del hormigón, llevados a cabo por esta última, y velar por el cumplimiento del contrato de construcción en los aspectos relacionados con dichos procesos, siguiendo los principales lineamientos de las EETT del proyecto, de los protocolos/ instructivos de obra y de la NCh170.

Las funciones de la ITOH y responsabilidades del contratista en la etapa de Curado y Desmolde se presentan en la Tabla 78.

*Tabla 78: Funciones de la ITOH y responsabilidades del contratista en el proceso de curado y desmolde de hormigón.*

*Fuente: (Curso 2: Inspección Técnica en Obras en Hormigón, 2022).*

| <b>Tema</b>  | <b>ITOH</b>   | <b>Contratista</b>   |
|--|---|--|
| Protección (si corresponde, en caso de hormigonado en climas extremos) | -Supervisar la labor del contratista en la etapa de protección de hormigón.<br>-Exigir cumplimiento de protocolos/ instructivos de protección, de las EETT y de la normativa, mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List). | -Ejecutar y cumplir con protocolo/instructivo de protección, con las EETT y con la normativa.<br>-Disponer de equipos y/o materiales en buen estado para ejecutar la protección. |
| Curado   | -Supervisar la labor del contratista en la etapa de curado de hormigón.<br>-Exigir cumplimiento de protocolos/ instructivos de curado, de las EETT y de la normativa, mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List).         | -Ejecutar y cumplir con protocolo/instructivo de curado, con las EETT y con la normativa.<br>-Disponer de equipos y/o materiales en buen estado para ejecutar el curado.         |
| Desmolde   | -Supervisar la labor del contratista en la etapa de desmolde.<br>-Exigir cumplimiento de plazos de desmolde, mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List).  | -Cumplir con los plazos de desmolde según indicaciones de EETT, tanto para elementos verticales como horizontales.   |
| Descimbre  | -Supervisar la labor del contratista en la etapa de descimbre.<br>-Exigir cumplimiento de plazos de descimbre, mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List).  | -Cumplir con los plazos de descimbre según indicaciones de EETT.   |

### 3.1.4 ITOH en etapa de Aceptación/Rechazo

De manera genérica, la ITOH debe inspeccionar a la constructora en el proceso de aceptación o rechazo de hormigón, y velar por el cumplimiento del contrato de construcción en los aspectos relacionados con dicho proceso, siguiendo los principales lineamientos de las EETT del proyecto, de los protocolos/ instructivos de obra y de la normativa vigente.

Las funciones de la ITOH y responsabilidades del contratista en la etapa de aceptación/rechazo se presentan en la Tabla 79.

*Tabla 79: Funciones de la ITOH y responsabilidades del contratista en el proceso de aceptación de hormigón.  
Fuente: elaboración propia.*

| <b>Tema</b>                               | <b>ITOH</b>   | <b>Contratista</b>   |
|---|---|--|
| Evaluación estadística                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Supervisar la labor del contratista.</li> <li>-Exigir cumplimiento de evaluación estadística.</li> <li>-Contactar a proyectista estructural en caso de incumplimiento.</li> <li>- Solicitar extracción de testigos y evaluación estadística de testigos en caso de ser necesario.</li> <li>-Solicitar evaluación del nivel de ensayos del laboratorio, si así lo estima conveniente.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Evaluar la aceptación/ rechazo del elemento según cumplimiento/ incumplimiento de la evaluación estadística.</li> <li>-Dar aviso a la ITOH en caso de incumplimiento.</li> </ul> |
| Terminación superficial (si corresponde)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Supervisar labor del contratista.</li> <li>-Exigir cumplimiento de tolerancias de terminación superficial mediante indicadores y Check-List.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Evaluar la aceptación/ rechazo del elemento según cumplimiento/ incumplimiento de tolerancias de terminación superficial.</li> </ul>   |
| Fisuras no estructurales (si corresponde) | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Supervisar la labor del contratista.</li> <li>-Exigir cumplimiento de EFE.</li> <li>-Contactar a proyectista estructural en caso de incumplimiento.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Evaluar la aceptación/ rechazo del elemento según EFE.</li> <li>-Dar aviso a la ITOH en caso de incumplimiento.</li> </ul>   |

### 3.1.5 ITOH en etapa de Posibles Reparaciones

En caso de que un elemento de hormigón sea rechazado según los criterios establecidos en 2.2.2.4 del presente, el contratista debe evaluar su reparación o demolición, tarea que debe ser supervisada por la ITOH, quien debe velar por el cumplimiento del contrato de construcción en los aspectos relacionados con reparaciones, siguiendo los principales lineamientos de las EETT.

En la Tabla 80 se detallan las principales funciones de la ITOH y las responsabilidades del contratista en la etapa de reparaciones del hormigón.

*Tabla 80: Funciones de la ITOH y responsabilidades del contratista en el proceso de posibles reparaciones de hormigón.  
Fuente: elaboración propia.*

| <b>Tema</b>  | <b>ITOH</b>  | <b>Contratista</b>  |
|--|--|---|
| Reparación/demolición por incumplimiento de evaluación estadística (si corresponde)      | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Evaluar, en conjunto con el proyectista estructural y el contratista, la reparación o demolición del elemento en cuestión.</li> <li>-Supervisar la labor del contratista en la reparación/demolición del elemento, mediante indicadores y evidencia asociada (Check-List).</li> </ul>          | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Evaluar, en conjunto con la ITOH y el proyectista estructural, la reparación o demolición del elemento en cuestión.</li> <li>-Ejecutar demolición o reparación, según corresponda.</li> </ul> |
| Reparación/demolición de nidos (si corresponde)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Supervisar la labor del contratista en la reparación/demolición de nidos.</li> <li>-Exigir cumplimiento de protocolo de reparación de nidos mediante indicadores y evidencia (Check-List).</li> <li>-Contactar a proyectista estructural en caso de ser necesario.</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Cumplir con protocolo de reparación de nidos (si hubiese) o Tabla 70.</li> <li>-Contactar al ITOH en caso de ser necesario</li> </ul>   |
| Reparación por incumplimiento de tolerancias en terminación superficial (si corresponde) | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Supervisar la labor del contratista en la reparación superficial.</li> <li>-Exigir cumplimiento de protocolo de reparación superficial mediante indicadores y evidencia (Check-List).</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Cumplir con protocolo de reparación superficial (si hubiese) o Tabla 71.</li> </ul>   |
| Reparación de fisuras no estructurales (si corresponde)                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Supervisar la labor del contratista en caso de reparaciones de fisuras no estructurales.</li> <li>-Exigir cumplimiento de protocolo de reparación de fisuras mediante indicadores y evidencia (Check-List).</li> <li>-Contactar a proyectista estructural en caso de ser necesario.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Cumplir con protocolo de reparación de fisuras (si hubiese) o Tabla 72.</li> </ul>  |

## **3.2 Control e Inspección en cada etapa constructiva**

En la siguiente sección se ejecuta un resumen de todas las etapas constructivas con hormigón detalladas en el Marco Teórico, con los respectivos indicadores que le permiten a la ITOH controlar e inspeccionar la labor del contratista en la construcción con hormigón.

### **3.2.1 Control e Inspección en etapa de Fabricación y Transporte**

#### **3.2.1.1 Control e Inspección para Fabricación de hormigón in situ y Transporte**

La fabricación del hormigón en obra es efectuada por parte del contratista, debiendo adoptar las medidas necesarias para la confección de un hormigón homogéneo y de buena calidad. Además, una vez que el hormigón alcanza su estado endurecido, este debe cumplir con los requisitos de resistencia y durabilidad especificados.

Para lograr lo antes mencionado, hay una serie de temas que deben ser controlados e inspeccionados por la ITOH, los cuales se detallan a continuación.

##### *Verificación de calidad de materiales componentes*

Este proceso se realiza mediante la solicitud, por parte de la constructora, de los certificados de materiales componentes del hormigón a cada proveedor, debiendo cumplir cada uno con la respectiva normativa asociada a dicho componente.

##### *Validación y Cumplimiento de Dosificación*

Este proceso se efectúa mediante la validación de la memoria de cálculo, a partir de mezclas de prueba (Hormigones de Prueba según NCh1018). Además, el cumplimiento de la dosificación se efectúa mediante la medición de los reportes de carga (medición de los materiales) en masa, según lo indicado en la Tabla 37.

##### *Confección de hormigón*

Durante la confección del hormigón, la constructora debe controlar el tiempo de mezclado, la velocidad de rotación y el orden de carguío que aseguren un hormigón homogéneo. Lo anterior se logra mediante el cumplimiento de pruebas de planta ya validadas por la misma constructora en conjunto con la ITOH. La homogeneidad del hormigón puede corroborarse vía inspección visual, chequeando que no exista segregación de hormigón, mientras que la uniformidad puede ser medida sólo en caso de que así lo estipulen las EETT del proyecto.

### *Muestreo de hormigón para resistencia mecánica*

Resulta crucial para efectos de la evaluación estadística cumplir con la frecuencia de muestreo establecida en las EETT del proyecto. En caso de que no se detallan en ellas, la constructora debe regirse por el plan de muestreo indicado en la Tabla 13.

Cabe destacar que, además del plan de muestreo realizado, la ITOH puede solicitar muestras o ensayos especiales si lo estima conveniente.

### *Descarga de hormigón*

Una vez que el hormigón ha sido confeccionado en la hormigonera, el constructor debe aprobar dicho hormigón, para lo cual, debe medir en primer lugar el cono inicial, que debe cumplir con el cono solicitado  $\pm$  las tolerancias de la Tabla 7.

En caso de incumplimiento de cono, se puede realizar un ajuste de docilidad en la mezcla fresca, para lo cual debe cumplirse lo indicado en la Figura 5.

Además, la constructora debe cumplir con el tiempo de descarga, es decir, el tiempo transcurrido desde la descarga del hormigón hasta su colocación, el cual no puede exceder los 30 minutos.

Cabe destacar que, en casos especiales en el que la ITOH quiere comprobar la uniformidad de la mezcla, puede solicitar la medición de esta, para lo cual deben cumplirse los requisitos establecidos en la Tabla 4.

Por último, la ITOH puede solicitar medir el cono al final de descarga, en aquellos casos particulares cuando los tiempos de transporte fueron extensos o en caso de hormigón bombeado.

### *Durabilidad*

En caso de que el hormigón esté sometido a la acción de un agente interno o externo que condicione su durabilidad en el tiempo, la ITOH puede solicitar ensayos especiales según corresponda, los cuales deben cumplir con los requisitos de durabilidad que se detallan en la Tabla 33.

Además, en caso de que se incluya en las EETT el método de penetración de agua bajo presión y el coeficiente de permeabilidad  $k_T$ , la ITOH puede solicitar la ejecución de estos ensayos si así lo estima conveniente.

### *Indicadores*

Una vez que ya se han detallado los principales temas a ser inspeccionados por la ITOH, se presenta en la Tabla 81 los indicadores que le permitirán a este realizar el control y la inspección de los procesos en la etapa de fabricación en obra.

Tabla 81: Indicadores para etapa fabricación in situ y transporte. Fuente: elaboración propia.

| <b>Indicadores para control e inspección para Fabricación de hormigón in situ y Transporte</b> |   |
|--|---|
| <b>Tema</b>  | <b>Indicador</b>  |
| Verificación calidad de materiales componentes   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Certificado de Áridos</li> <li>2. Certificado del agua de amasado</li> <li>3. Certificados de cemento</li> <li>4. Certificado de aditivos</li> <li>5. Certificado de adiciones</li> </ol>   |
| Validación y Cumplimiento de dosificación  | <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Validación de memoria de cálculo mediante Hormigones de prueba</li> <li>7. Reportes de carga</li> </ol>   |
| Confección de hormigón   | <ol style="list-style-type: none"> <li>8. Orden de carguío</li> <li>9. Velocidad de rotación de mezcladora</li> <li>10. Tiempo de mezclado</li> <li>11. Control de humedad de áridos</li> </ol>   |
| Muestreo de hormigón   | <ol style="list-style-type: none"> <li>12. Frecuencia de muestreo</li> <li>13. Muestras o ensayos especiales (si corresponde)</li> </ol>  |
| Descarga de hormigón   | <ol style="list-style-type: none"> <li>14. Cono inicial</li> <li>15. Ajuste de docilidad (si corresponde)</li> <li>16. Cono fin de descarga (si corresponde)</li> <li>17. Tiempo de descarga</li> <li>18. Inspección visual de homogeneidad</li> <li>19. Medición de uniformidad (si corresponde)</li> <li>20. Contenido efectivo de cemento (si corresponde)</li> </ol>  |
| Durabilidad  | <ol style="list-style-type: none"> <li>21. Requisitos de cemento según grado de exposición (si corresponde)</li> <li>22. Contenido de SO<sub>4</sub> en componentes (si corresponde)</li> <li>23. Contenido Cl<sup>-</sup> en componentes (si corresponde)</li> <li>24. Reacción árido álcali (si corresponde)</li> <li>25. Ciclos hielo-deshielo (si corresponde)</li> <li>26. Ataque de sulfatos (si corresponde)</li> <li>27. Agentes que provocan Corrosión (si corresponde)</li> <li>28. Hormigón en contacto con agua (si corresponde)</li> <li>29. Método de la Penetración de Agua bajo presión (si corresponde)</li> <li>30. Coeficiente Permeabilidad Aire <math>k_T</math> (si corresponde)</li> </ol> |

### **3.2.1.2 Control e Inspección para Fabricación en planta (h. premezclado) y Transporte**

La fabricación del hormigón por parte de la planta de hormigón debe garantizar la confección de un hormigón homogéneo que cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad. El contratista debe asegurarse que el hormigón recepcionado cumpla con dichas características, mientras que la ITOH se encargará de supervisar su labor mediante indicadores.

Para lograr lo antes mencionado, hay una serie de temas que deben ser controlados e inspeccionados por la ITOH, los cuales se detallan a continuación.

#### *Verificación de calidad de materiales componentes*

Es obligación de la planta mezcladora llevar un control de todos sus componentes durante la confección del hormigón. Este certificado puede ser solicitado por la ITOH, y en dicho caso, la constructora deberá pedirle a la planta mezcladora el certificado de control de sus componentes.

#### *Validación y Cumplimiento de Dosificación*

Este proceso se efectúa mediante la validación de la memoria de cálculo, a partir de mezclas de prueba (Hormigones de Prueba según NCh1018). Además, el cumplimiento de la dosificación se efectúa mediante la medición de los reportes de carga (medición de los materiales) en masa, según lo indicado en la Tabla 37.

Además, se puede comprobar de manera rápida mediante la guía de despacho del camión, que el hormigón corresponde al solicitado.

#### *Muestreo de hormigón para resistencia mecánica*

Resulta crucial para efectos de la evaluación estadística cumplir con la frecuencia de muestreo establecida en las EETT del proyecto. En caso de que no se detallan en ellas, la constructora debe regirse por el plan de muestreo indicado en la Tabla 13.

Cabe destacar que, además del plan de muestreo realizado, la ITOH puede solicitar muestras o ensayos especiales si estima conveniente.

#### *Recepción de hormigón*

Una vez que el camión mezclador ha llegado a obra, la constructora debe aprobar el hormigón, para lo cual, debe medir en primer lugar el cono inicial, que debe cumplir con el cono solicitado  $\pm$  las tolerancias de la Tabla 7. En caso de incumplimiento de cono, se puede realizar un ajuste de docilidad en la mezcla fresca, para lo cual debe cumplirse lo indicado en la Figura 5. Así mismo, la ITOH puede solicitar medir el cono al final de la descarga, en aquellos casos particulares cuando los tiempos de transporte fueron extensos o en caso de hormigón bombeado.

Además, la constructora debe cumplir con los tiempos de carga-descarga (120 min), tiempos de descarga (30 min), tiempos de espera (acuerdo comercial) y tiempos de sobreestadía (acuerdo comercial).

La homogeneidad puede chequearse vía inspección visual, mientras que la uniformidad puede ser medida sólo en caso de que sea necesario.

Por último, la ITOH puede solicitar medir en contenido efectivo de cemento según la NCh1564, para lo cual debe cumplirse con lo indicado en las EETT.

### *Durabilidad*

En caso de que el hormigón esté sometido a la acción de un agente interno o externo que condicione su durabilidad en el tiempo, la ITOH puede solicitar ensayos especiales según corresponda, los cuales deben cumplir con los requisitos de durabilidad que se detallan en la Tabla 33.

Además, en caso de que se incluya en las EETT el método de penetración de agua bajo presión y el coeficiente de permeabilidad  $k_T$ , la ITOH puede solicitar la ejecución de estos ensayos si así lo estima conveniente.

### *Indicadores*

Una vez que ya se han detallado los principales temas a ser inspeccionados por la ITOH, se presenta en la Tabla 82 los indicadores que le permitirán a este realizar el control y la inspección de los procesos en la etapa de fabricación de hormigón premezclado.



Tabla 82: Indicadores para etapa de Fabricación de hormigón premezclado y Transporte. Fuente: elaboración propia.

| <b>Indicadores para control e inspección para Fabricación de Hormigón Premezclado y Transporte</b> |  |
|--|--|
| <b>Tema</b>  | <b>Indicador</b>   |
| Verificación calidad de materiales componentes   | 1. Certificado de control de componentes de la planta  |
| Validación de dosificación   | 2. Validación de memoria de cálculo mediante Hormigones de prueba<br>3. Guía de despacho del camión<br>4. Reportes de carga  |
| Cumplimiento de dosificación   | 5. Reportes de carga de la planta<br>6. Memoria de cálculo de dosificación   |
| Muestreo de hormigón   | 7. Frecuencia de muestreo<br>8. Muestras o ensayos especiales (si corresponde)   |
| Recepción de hormigón  | 9. Cono inicial<br>10. Ajuste de docilidad (si corresponde)<br>11. Cono fin de la descarga (si corresponde)<br>12. Tiempo de carga-descarga<br>13. Tiempo de descarga<br>14. Tiempo de espera<br>15. Tiempo de sobreestadía<br>16. Inspección visual de homogeneidad<br>17. Medición de uniformidad (si corresponde)<br>18. Contenido efectivo de cemento (si corresponde)   |
| Durabilidad  | 19. Requisitos de cemento según grado de exposición (si corresponde)<br>20. Contenido de SO <sub>4</sub> en componentes (si corresponde)<br>21. Contenido Cl <sup>-</sup> en componentes (si corresponde)<br>22. Reacción árido álcali (si corresponde)<br>23. Ciclos hielo-deshielo (si corresponde)<br>24. Ataque de sulfatos (si corresponde)<br>25. Agentes que provocan Corrosión (si corresponde)<br>26. hormigón en contacto con agua (si corresponde)<br>27. Método de la Penetración de Agua bajo presión (si corresponde)<br>28. Coeficiente Permeabilidad Aire $k_T$ (si corresponde) |

### 3.2.2 Control e Inspección en etapa de Colocación, Compactación y Terminación

Una correcta colocación y compactación del hormigón son indispensables para la calidad del hormigón y para cumplir con los requisitos de durabilidad y resistencia. Dicho lo anterior, la ITOH se encarga de supervisar la labor del contratista en esta área, mediante una serie de indicadores que serán nombrados posteriormente.

Para lograr lo antes mencionado, hay temas que deben ser controlados e inspeccionados por la ITOH, los cuales se detallan a continuación.

#### *Previo al hormigonado*

En primer lugar, se debe ejecutar la preparación de la superficie a hormigonar, la cual puede ser roca, terreno natural u hormigón (en caso de juntas de hormigonado), según lo que indiquen las EETT del proyecto en referencia a dicho tema, o en su defecto, lo que indique la Tabla 39.

Posteriormente, se deben disponer e instalar los moldajes de hormigón según la información obtenida a partir de los planos del proyecto. Las tolerancias admisibles para moldaje deben cumplir con lo indicado en la Tabla 40.

En caso que se extraiga una muestra de hormigón, la temperatura de esta antes de la colocación debe estar entre 5°C y 35°C . Si existiese una posible situación de hormigonado en tiempo de alta evaporación de agua, se debe calcular el potencial de fisuración E según la ecuación (4), el cual debe ser menor a 1 kg/m<sup>2</sup>/h, salvo que en las EETT se adopte un valor más conservador para el potencial de fisuración.

#### *Colocación*

Se debe contar con la información de qué equipos y cuantos hay disponibles para la colocación del hormigón, como, por ejemplo, bombas, capachos, carretillas, cintas, etc, a modo de cumplir con el protocolo/ instructivo de obra.

Con respecto a la altura de vaciado, esta debe ser tal que el porcentaje de nidos en los 20 cm inferiores del elemento sea menor a 10%. En caso de ser hormigón bombeable, se debe cumplir con los requisitos de la Tabla 44.

Con respecto a la velocidad de vaciado, esta debe ser tal que no sobrepase la capacidad del moldaje indicada por el proveedor de este.

El espesor de capas debe cumplir con el procedimiento de terreno ya validado, y que asegura una correcta colocación de hormigón.

En caso de hormigonado en tiempos especiales (frío o alta evaporación de agua), se debe medir la temperatura del hormigón y adoptar las medidas establecidas en las EETT, o en su defecto, en lo indicado en la subsección 2.2.2.2.1 del Marco Teórico.

### *Compactación*

Se debe contar con la información de qué equipos y cuantos hay disponibles para la compactación del hormigón, recordando que el más usual corresponde a los vibradores internos. Se debe cumplir con el protocolo/ instructivo de obra.

Con respecto al diámetro del vibrador, diámetro de acción, distancia entre inserciones y distancia del vibrador al moldaje, se debe cumplir con lo indicado en las EETT del proyecto, o en su defecto, lo indicado en la subsección 2.2.2.2 del Marco Teórico.

Con respecto a las mallas de vibración sistemáticas, el proceso debe cumplir con lo estipulado en el protocolo o instructivo de obra referido al tema.

### *Terminación*

Se debe contar con la información de qué equipos y cuantos hay disponibles para efectuar la terminación de hormigón, de acuerdo con el protocolo/ instructivo de obra referido al tema.

El tipo de tratamiento que recibe el elemento debe cumplir con lo estipulado en las EETT, o en su defecto, en lo indicado en el protocolo/ instructivo de obra referido al tema. En caso de que no se mencione en ninguno de aquellos documentos, se pueden adoptar las medidas indicadas en la Tabla 51.

Las tolerancias para imperfecciones según el grado de hormigón, luego de efectuada la terminación, deben cumplir con lo estipulado en las EETT del proyecto, o en su defecto, con lo indicado en la Tabla 42.

### *Indicadores*

Una vez que ya se han detallado los principales temas a ser inspeccionados por la ITOH, se presenta en la Tabla 83 los indicadores que le permitirán a este realizar el control y la inspección de los procesos en la etapa de colocación, compactación y terminación.

Tabla 83: Indicadores para etapa de colocación, compactación y terminación. Fuente: elaboración propia.

| <b>Indicadores para control e inspección para Colocación, Compactación y Terminación de Hormigón</b> |   |
|--|---|
| <b>Tema</b>  | <b>Indicador</b>  |
| Previo al hormigonado  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Preparación de superficie a hormigonar</li> <li>2. Tolerancias para moldaje</li> <li>3. Temperatura del hormigón</li> <li>4. Potencial de fisuración E</li> </ol>   |
| Colocación   | <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Equipos disponibles</li> <li>6. Altura de Vaciado (%Nidos 20 cm inferiores)</li> <li>7. Velocidad de Vaciado (capacidad de moldaje)</li> <li>8. Espesor de capas</li> <li>9. Hormigonado en tiempo frío (si corresponde)</li> <li>10. Hormigonado en tiempo de alta evaporación de agua (si corresponde)</li> </ol> |
| Vibrador de inmersión  | <ol style="list-style-type: none"> <li>11. Equipos disponibles</li> <li>12. Diámetro del vibrador (d)</li> <li>13. Diámetro de acción (D)</li> <li>14. Distancia del vibrador al moldaje (S1)</li> <li>15. Distancia entre inserciones (S)</li> <li>16. Velocidad de retiro del vibrador</li> <li>17. Mallas de vibración sistemáticas</li> </ol>             |
| Terminación  | <ol style="list-style-type: none"> <li>18. Equipos disponibles</li> <li>19. Tipo de tratamiento</li> <li>20. Tolerancias para imperfecciones según grado de hormigón</li> </ol>   |

### 3.2.3 Control e Inspección en etapa de Curado y Desmolde

La etapa de curado es importantísima para que el hormigón se mantenga hidratado los primeros días y con ello lograr desarrollar sus propiedades mecánicas de manera óptima. Además, puede ser necesaria la protección de hormigón en caso de hormigonado en tiempo frío o de alta evaporación de agua, en los cuales se deben adoptar medidas para que el hormigón no vea afectadas sus propiedades. Posteriormente, se debe efectuar el desmolde y/o descimbre del elemento en cuestión, para lo cual es necesario tener en cuenta los plazos establecidos en las EETT del proyecto.

Dicho lo anterior, la ITOH se encarga de supervisar la labor del contratista en esta área, mediante una serie de indicadores que serán nombrados posteriormente. Para lograr lo antes mencionado, hay una serie de temas que deben ser controlados e inspeccionados por la ITOH, los cuales se detallan a continuación.

#### *Protección (en caso de ser necesaria)*

Tal como se mencionó con anterioridad, la protección del hormigón es necesaria sólo y cuando el hormigonado se efectúe en tiempo de frío o de alta evaporación de agua.

Se deben tener en cuenta los equipos y materiales disponibles para efectuar el proceso, de acuerdo con lo indicado en el protocolo/instructivo de obra referido al tema.

El método de protección debe seleccionarse y realizarse según lo indicado en las EETT del proyecto, o en su defecto, según lo indicado en el protocolo de protección o en la Tabla 52.

El plazo de protección debe cumplir con lo estipulado en las EETT del proyecto o en el protocolo de protección.

#### *Curado*

Se deben tener en cuenta los equipos y materiales disponibles para efectuar el proceso de curado, de acuerdo con lo indicado en el protocolo/instructivo de obra referido al tema.

El método de curado debe seleccionarse y realizarse según lo indicado en las EETT del proyecto, o en su defecto, según lo indicado en la Tabla 53/ Tabla 54.

El plazo de curado debe seguir la indicación de las EETT: detener curado cuando resistencia real  $>0,7 f'c$ ; cuando resistencia potencial  $>0,85 f'c$ ; o en su defecto, luego de 7 días de hormigonado.

#### *Desmolde*

En caso de elementos verticales, los plazos de desmolde deben seguir la indicación de las EETT del proyecto: desmoldar según plazo de EETT; desmoldar cuando resistencia real  $> 2$  MPa; o en su defecto, desmoldar según plazos de Tabla 58.

En caso de elementos horizontales, los plazos de desmolde deben seguir la indicación de las EETT del proyecto: desmoldar según plazo de EETT; desmoldar cuando resistencia real  $> 13$  MPa; o en su defecto, desmoldar según plazos de Tabla 58.

### *Descimbre*

Los plazos de descimbre de elementos horizontales deben seguir la indicación de las EETT del proyecto: descimbrar según plazo de EETT; descimbrar cuando resistencia real  $> 0,75 f'c$ ; o en su defecto, descimbrar según plazos de Tabla 58.

### *Indicadores*

Una vez que ya se han detallado los principales temas a ser inspeccionados por la ITOH, se presenta en la Tabla 84 los indicadores que le permitirán a este realizar el control y la inspección de los procesos en la etapa de curado y desmolde.

*Tabla 84: Indicadores para etapa de curado y desmolde. Fuente: elaboración propia.*

| <b>Indicadores para control e inspección para Curado y Desmolde de hormigón</b> |  |
|---|--|
| <b>Tema</b>   | <b>Indicador</b>   |
| Protección (en caso de ser necesaria)   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Equipos y materiales disponibles</li> <li>2. Método de protección</li> <li>3. Plazo de protección</li> </ol>   |
| Curado  | <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Equipos y materiales disponibles</li> <li>5. Método de curado</li> <li>6. Plazo de curado según EETT</li> </ol>  |
| Desmolde  | <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Plazos de desmolde de elemento vertical según indicación de EETT</li> <li>8. Plazos de desmolde de elemento horizontal según indicación de EETT</li> </ol> |
| Descimbre   | <ol style="list-style-type: none"> <li>9. Plazos de descimbre de elemento horizontal según indicación de EETT</li> </ol>   |

### 3.2.4 Control e Inspección en etapa de Aceptación/ Rechazo

Para efectos de este manual, la aceptación o rechazo del hormigón está condicionada según la evaluación estadística, la terminación superficial (si corresponde), y las fisuras no estructurales (si corresponde). La ITOH se encarga de supervisar la labor del contratista en esta área, mediante una serie de indicadores que serán nombrados posteriormente.

#### *Aceptación/ rechazo según evaluación estadística*

La aceptación del hormigón según resistencia mecánica está asociada a la evaluación estadística de probetas, la cual debe cumplir con lo estipulado en la Tabla 16, donde se establecen los criterios de aceptación.

En caso de incumplimiento de la evaluación estadística de probetas, la ITOH puede solicitar la extracción de testigos endurecidos de hormigón para realizar evaluación estadística de testigos, la cual debe cumplir con lo indicado en la Tabla 19.

En el caso que la ITOH estime conveniente evaluar el nivel de ensayos del laboratorio encargado de la evaluación estadística, debe regirse por lo establecido en la Tabla 20.

#### *Aceptación/ Rechazo según Terminación superficial (si corresponde)*

En el caso que se establezca en las EETT del proyecto la aceptación o rechazo del hormigón según terminación superficial, se debe cumplir con las tolerancias de mediciones de terminación superficial, según el grado de terminación (Tabla 59 a la Tabla 63).

#### *Aceptación/ rechazo según fisuras no estructurales (si corresponde)*

La aceptación de hormigón según fisuras no estructurales debe regirse según los criterios de aceptación establecidos en la Tabla 68, de acuerdo con el Estándar de Fisuración Especificado establecido en la Tabla 66.

La medición por tomar es el ancho de fisura no estructural, en muro estándar, muro de corte, o de cantería, según corresponda. Otra forma de medición es la razón ancho total fisura/ largo muro.

#### *Indicadores*

Una vez que ya se han detallado los principales temas a ser inspeccionados por la ITOH, se presenta en la Tabla 85 los indicadores que le permitirán a este realizar el control y la inspección de los procesos en la etapa de aceptación/ rechazo.

Tabla 85: Indicadores para etapa de aceptación/ rechazo. Fuente: elaboración propia.

| <b>Indicadores para control e inspección para Aceptación/ Rechazo de hormigón</b> |   |
|---|---|
| <b>Tema</b>   | <b>Indicador</b>  |
| Evaluación estadística  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evaluación estadística de probetas</li> <li>2. Evaluación estadística de testigos (si corresponde)</li> <li>3. Evaluación de laboratorio (si corresponde)</li> </ol>  |
| Terminación superficial (si corresponde)  | <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Planeidad de la superficie vertical</li> <li>5. Planeidad de la superficie horizontal posterior a hormigonado</li> <li>6. Planeidad de la superficie horizontal posterior a desalzaprimado</li> <li>7. Variaciones respecto a ejes del proyecto</li> <li>8. Variaciones de vanos y puertas</li> <li>9. Resaltes en la cara del elemento</li> <li>10. Deformación en superficies de pisos</li> <li>11. Cuadratura de muro-muro</li> <li>12. Cuadratura de muro-losa (cielo)</li> <li>13. Cuadratura de muro-losa (piso)</li> <li>14. Variaciones del espesor de muro</li> <li>15. Variaciones del espesor de losa</li> <li>16. Variaciones de pendiente de losa</li> </ol> |
| Fisuras no estructurales (si corresponde)   | <ol style="list-style-type: none"> <li>17. Ancho de fisura muro estándar (si corresponde)</li> <li>18. Ancho fisura muro de corte (si corresponde)</li> <li>19. Razón ancho total fisura/ largo muro (si corresponde)</li> <li>20. Ancho fisura de cantería (si corresponde)</li> </ol>   |



### 3.2.5 Control e Inspección en etapa de Posibles Reparaciones

En caso de incumplimiento en la aceptación de hormigón por terminación superficial, fisuras no estructurales o evaluación estadística, o en el caso de la presencia de nidos estructurales, se puede evaluar la reparación de dichos defectos mediante protocolos de reparación, o en su defecto, indicaciones establecidas en la subsección 2.2.2.5 del Marco teórico.

Los indicadores que le permiten a la ITOH establecer el control e inspección en esta etapa son los mencionados en la Tabla 86.

Tabla 86: Indicadores para etapa de reparaciones. Fuente: elaboración propia.

| Indicadores para control e inspección para Reparaciones |   |
|---|---|
| Tema  | Indicador   |
| Reparación de Nidos (si corresponde)                    | 1. Equipos y materiales disponibles<br>2. Protocolo de reparación de nidos    |
| Reparación de Terminación superficial (si corresponde)  | 3. Equipos y materiales disponibles<br>4. Protocolo de reparación superficial |
| Reparación de Fisuras no estructurales (si corresponde) | 5. Equipos y materiales disponibles<br>6. Protocolo de reparación de fisuras  |
| Reparación de Evaluación estadística (si corresponde)   | 7. Criterio de proyectista estructural  |

#### *Reparación de Nidos (si corresponde)*

Se deben tener en cuenta los equipos y materiales disponibles para efectuar el proceso reparación de nidos, de acuerdo con el protocolo/ instructivo respectivo.

El protocolo de reparación de nidos debe cumplir con lo estipulado en las EETT del proyecto, o en su defecto, cumplir con la Tabla 69 y Tabla 70.

#### *Reparación de Terminación superficial (si corresponde)*

Se deben tener en cuenta los equipos y materiales disponibles para efectuar el proceso reparación superficial de hormigón, de acuerdo con el protocolo/ instructivo respectivo.

El protocolo de reparación superficial debe cumplir con lo estipulado en las EETT del proyecto, o en su defecto, cumplir lo indicado en la Tabla 71.

#### *Reparación de fisuras no estructurales (si corresponde)*

Se deben tener en cuenta los equipos y materiales disponibles para efectuar el proceso reparación de fisuras de hormigón, de acuerdo con el protocolo/ instructivo respectivo.

El protocolo de reparación de fisuras debe cumplir con lo estipulado en las EETT del proyecto, o en su defecto, cumplir lo indicado en la Tabla 72 y Tabla 71.

### *Reparación de hormigón por incumplimiento de evaluación estadística*

La ITOH debe contactar directamente con el proyectista estructural del proyecto, quien es el encargado de evaluar la posible aceptación sin reparación, la reparación, o la demolición del elemento de hormigón en cuestión, de acuerdo con su experiencia profesional.

### **3.3 Propuesta de “CHECK-LIST” definitiva**

A continuación, en la presente sección, se presenta a modo de resumen, los “Check-List” de cada etapa constructiva con hormigón. En dichos documentos se presentan todos los indicadores ya mencionados de cada etapa, con su respectiva unidad y método de medición, además de la meta objetivo por cumplir/lograr de dicho indicador. Por último, se presentan en blanco tres columnas: “medición en obra”, “¿cumple?”, y “observaciones”, las cuales deben ser completadas por la ITOH en obra, a modo de evaluar el cumplimiento/incumplimiento de cada indicador en todas las etapas.

#### **3.3.1 “CHECK-LIST” Etapa de Fabricación y Transporte**

### 3.3.1.1 “CHECK-LIST” Etapa de Fabricación de hormigón in situ y Transporte

## CHECK-LIST ETAPA FABRICACIÓN HORMIGÓN IN SITU y TRANSPORTE

### 1. VERIFICACIÓN DE CALIDAD DE MATERIALES COMPONENTES

| Indicador                   | Unidad Medición | Método de medición | Meta objetivo    | Medición en obra | ¿Cumple? |    | Observaciones |
|-----------------------------|-----------------|--------------------|------------------|------------------|----------|----|---------------|
|                             |                 |                    |                  |                  | SI       | NO |               |
| Certificados para áridos    | -               | NCh163             | Cumple normativa |                  |          |    |               |
| Certificados para agua      | -               | NCh1498            | Cumple normativa |                  |          |    |               |
| Certificados para aditivos  | -               | NCh2182            | Cumple normativa |                  |          |    |               |
| Certificados para adiciones | -               | NCh170             | Cumple normativa |                  |          |    |               |
| Certificados para cemento   | -               | NCh148             | Cumple normativa |                  |          |    |               |

### 2. VALIDACIÓN Y CUMPLIMIENTO DE LA DOSIFICACIÓN

| Indicador  | Unidad Medición | Método de medición             | Meta objetivo                              | Medición en obra | ¿Cumple? |    | Observaciones |
|--|-----------------|--------------------------------|--|------------------|----------|----|---------------|
|  |                 |                                |  |                  | SI       | NO |               |
| Validación de memoria de cálculo mediante Hormigones de prueba | -               | NCh1018                        | Cumplir Resistencia y docilidad solicitada |                  |          |    |               |
| Reportes de carga  | %               | Dosificación validada y NCh170 | Cumplir Tabla 37                           |                  |          |    |               |

### 3. CONDICIONES DE DURABILIDAD

| Indicador (si corresponde)   | Unidad Medición      | Método de medición    | Meta objetivo    | Medición en obra | ¿Cumple? |    | Observaciones |
|--|----------------------|-----------------------|------------------|------------------|----------|----|---------------|
|  |                      |                       |                  |                  | SI       | NO |               |
| Requisitos de cemento para suministrador según grado de exposición | -                    | NCh170                | Cumplir Tabla 29 |                  |          |    |               |
| Contenido de SO4 en componentes                                    | %                    | NCh170                | Cumplir Tabla 22 |                  |          |    |               |
| Contenido Cl- en componentes                                       | kgCl-/m <sup>3</sup> | NCh171                | Cumplir Tabla 23 |                  |          |    |               |
| Reacción árido álcali  | -                    | NCh170                | Cumplir Tabla 24 |                  |          |    |               |
| Ciclos hielo-deshielo  | -                    | NCh170                | Cumplir Tabla 27 |                  |          |    |               |
| Ataque de sulfatos   | -                    | NCh170                | Cumplir Tabla 28 |                  |          |    |               |
| Agentes que provocan Corrosión                                     | -                    | NCh170                | Cumplir Tabla 31 |                  |          |    |               |
| Hormigón en contacto con agua                                      | -                    | NCh170                | Cumplir Tabla 32 |                  |          |    |               |
| Método de la Penetración de Agua bajo presión                      | mm                   | NCh2262               | Cumplir EETT     |                  |          |    |               |
| Coefficiente Permeabilidad Aire kt                                 | m <sup>2</sup>       | 2.1.2.4 Marco Teórico | Cumplir EETT     |                  |          |    |               |

| <b>4. CONFECCIÓN DE HORMIGÓN</b>            |                                   |                           |                                       |                         |           |           | <b>¿Cumple?</b>      |  |
|---|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|----------------------|--|
| <b>Indicador</b>                            | <b>Unidad Medición</b>            | <b>Método de medición</b> | <b>Meta objetivo</b>                  | <b>Medición en obra</b> | <b>SI</b> | <b>NO</b> | <b>Observaciones</b> |  |
| Orden de carguío                            | -                                 | Registro en obra          | Cumplir Prueba de planta validada     |                         |           |           |                      |  |
| Velocidad de rotación del mezclador         | -                                 | Registro en obra          | Cumplir Prueba de planta validada     |                         |           |           |                      |  |
| Tiempo mezclado                             | -                                 | Registro en obra          | Cumplir Prueba de planta validada     |                         |           |           |                      |  |
| Control de humedad de áridos                | % humedad                         | -                         | ≤8%                                   |                         |           |           |                      |  |
| <b>5. MUESTREO DE HORMIGÓN</b>              |                                   |                           |                                       |                         |           |           | <b>¿Cumple?</b>      |  |
| <b>Indicador</b>                            | <b>Unidad Medición</b>            | <b>Método de medición</b> | <b>Meta objetivo</b>                  | <b>Medición en obra</b> | <b>SI</b> | <b>NO</b> | <b>Observaciones</b> |  |
| Frecuencia muestreo                         | m <sup>3</sup>                    | Registro en obra          | Cumplir EETT/ Tabla 13                |                         |           |           |                      |  |
| Muestras especiales (si corresponde)        | m <sup>3</sup>                    | Registro en obra          | Cumplir indicaciones de la ITOH       |                         |           |           |                      |  |
| Ensayos especiales (si corresponde)         | -                                 | Registro en obra          | Requisitos del ensayo                 |                         |           |           |                      |  |
| <b>6. DESCARGA DE HORMIGÓN</b>              |                                   |                           |                                       |                         |           |           | <b>¿Cumple?</b>      |  |
| <b>Indicador</b>                            | <b>Unidad Medición</b>            | <b>Método de medición</b> | <b>Meta objetivo</b>                  | <b>Medición en obra</b> | <b>SI</b> | <b>NO</b> | <b>Observaciones</b> |  |
| Cono inicial                                | cm                                | NCh1019                   | Cono solicitado ± tolerancias Tabla 7 | -                       |           |           |                      |  |
| Ajuste docilidad (si corresponde)           | -                                 | NCh1019 y NCh170 9.6      | Cumplir Figura 5                      |                         |           |           |                      |  |
| Cono fin descarga (si corresponde)          | cm                                | NCh1019                   | A definir                             |                         |           |           |                      |  |
| Tiempo de descarga                          | minutos                           | NCh170                    | Máx. 30 min                           |                         |           |           |                      |  |
| Inspección visual de homogeneidad           | -                                 | Registro en obra          | Hormigón homogéneo                    |                         |           |           |                      |  |
| Medición de uniformidad (si corresponde)    | -                                 | Ensayos Tabla 4           | Cumplir Tabla 4                       |                         |           |           |                      |  |
| Contenido efectivo cemento (si corresponde) | kg <sub>cem</sub> /m <sup>3</sup> | NCh1564/ Reporte de carga | Cumplir EETT                          | -                       |           |           |                      |  |

### 3.3.1.2 “CHECK-LIST” Etapa de Fabricación en planta (hormigón premezclado) y Transporte

## CHECK-LIST ETAPA FABRICACIÓN HORMIGÓN PREMEZCLADO y TRANSPORTE

### 1. VERIFICACIÓN CALIDAD DE MATERIALES COMPONENTES

| Indicador  | Unidad Medición | Método de medición           | Meta objetivo   | Medición en obra | ¿Cumple? |    | Observaciones |
|--|-----------------|------------------------------|---|------------------|----------|----|---------------|
|  |                 |                              |   |                  | SI       | NO |               |
| Certificado Control de componentes de la planta (si corresponde) | -               | Control interno de la planta | Cumplir certificado de acuerdo a norma de cada componente |                  |          |    |               |

### 2. VALIDACIÓN Y CUMPLIMIENTO DE LA DOSIFICACIÓN

| Indicador  | Unidad Medición | Método de medición | Meta objetivo                              | Medición en obra | ¿Cumple? |    | Observaciones |
|--|-----------------|--------------------|--|------------------|----------|----|---------------|
|  |                 |                    |  |                  | SI       | NO |               |
| Validación de memoria de cálculo mediante Hormigones de prueba | -               | NCh1018            | Cumplir Resistencia y docilidad solicitada |                  |          |    |               |
| Guía de despacho del camión                                    | -               | Registro de planta | Corresponde a hormigón solicitado          |                  |          |    |               |
| Reportes de carga  | %               | Registro en obra   | Según memoria de cálculo                   |                  |          |    |               |

### 3. CONDICIONES DE DURABILIDAD

| Indicador   | Unidad Medición     | Método de medición    | Meta objetivo    | Medición en obra | ¿Cumple? |    | Observaciones |
|---|---------------------|-----------------------|------------------|------------------|----------|----|---------------|
|   |                     |                       |                  |                  | SI       | NO |               |
| Requisitos de cemento para suministrador según grado. de exposición | -                   | NCh170                | Cumplir Tabla 29 |                  |          |    |               |
| Contenido de SO4 en componentes                                     | %                   | NCh170                | Cumplir Tabla 22 |                  |          |    |               |
| Contenido Cl- en componentes  | kgCl-m <sup>3</sup> | NCh171                | Cumplir Tabla 23 |                  |          |    |               |
| Reacción árido álcali   | -                   | NCh170                | Cumplir Tabla 24 |                  |          |    |               |
| Ciclos hielo-deshielo   | -                   | NCh170                | Cumplir Tabla 27 |                  |          |    |               |
| Ataque de sulfatos  | -                   | NCh170                | Cumplir Tabla 28 |                  |          |    |               |
| Agentes que provocan Corrosión                                      | -                   | NCh170                | Cumplir Tabla 31 |                  |          |    |               |
| Hormigón en contacto con agua                                       | -                   | NCh170                | Cumplir Tabla 32 |                  |          |    |               |
| Método de Penetración de Agua bajo presión                          | mm                  | NCh2262               | Cumplir EETT     |                  |          |    |               |
| Coefficiente Permeabilidad Aire kt                                  | m <sup>2</sup>      | 2.1.2.4 Marco Teórico | Cumplir EETT     |                  |          |    |               |

| <b>3. MUESTREO DE HORMIGÓN</b>                 |                        |                                   |                                       |                         | <b>¿Cumple?</b> |           |                      |
|--|------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------|----------------------|
| <b>Indicador</b>                               | <b>Unidad Medición</b> | <b>Método de medición</b>         | <b>Meta objetivo</b>                  | <b>Medición en obra</b> | <b>SI</b>       | <b>NO</b> | <b>Observaciones</b> |
| Frecuencia muestreo                            | m <sup>3</sup>         | Registro en obra                  | Cumplir EETT/ Tabla 13                |                         |                 |           |                      |
| Muestras especiales (si corresponde)           | m <sup>3</sup>         | Registro en obra                  | Cumplir indicaciones de la ITOH       |                         |                 |           |                      |
| Ensayos especiales (si corresponde)            | -                      | Registro en obra                  | Requisitos del ensayo                 |                         |                 |           |                      |
| <b>4. RECEPCIÓN DE HORMIGÓN</b>                |                        |                                   |                                       |                         | <b>¿Cumple?</b> |           |                      |
| <b>Indicador</b>                               | <b>Unidad Medición</b> | <b>Método de medición</b>         | <b>Meta objetivo</b>                  | <b>Medición en obra</b> | <b>SI</b>       | <b>NO</b> | <b>Observaciones</b> |
| Cono inicial                                   | cm                     | NCh1019                           | Cono solicitado ± tolerancias Tabla 7 |                         |                 |           |                      |
| Ajuste docilidad (si corresponde)              | -                      | Registro en obra                  | Cumplir Figura 5                      |                         |                 |           |                      |
| Cono fin descarga (si corresponde)             | cm                     | NCh1019                           | A definir                             |                         |                 |           |                      |
| Tiempo de carga-descarga                       | min                    | Guía de despacho/Registro en obra | Máx. 120 min                          |                         |                 |           |                      |
| Tiempo de descarga                             | min                    | Guía de despacho/Registro en obra | Máx. 30 min                           |                         |                 |           |                      |
| Tiempo de espera                               | min                    | Guía de despacho/Registro en obra | Acuerdo comercial                     |                         |                 |           |                      |
| Tiempo de sobreestadía                         | min                    | Guía de despacho/Registro en obra | Acuerdo comercial                     |                         |                 |           |                      |
| Inspección visual de homogeneidad              | -                      | Registro en obra                  | Hormigón homogéneo                    |                         |                 |           |                      |
| Medición de uniformidad (si corresponde)       | -                      | Ensayos Tabla 4                   | Cumplir Tabla 4                       |                         |                 |           |                      |
| Contenido efectivo de cemento (si corresponde) | kgcem/m <sup>3</sup>   | NCh1564                           | Cumplir EETT                          | -                       |                 |           |                      |

### 3.3.2 “CHECK-LIST” Etapa de Colocación, Compactación y Terminación

## CHECK-LIST ETAPA COLOCACIÓN, COMPACTACIÓN Y TERMINACIÓN

### 1. PREVIO A LA COLOCACIÓN

| Indicador                 | Unidad Medición     | Método de medición | Meta objetivo                  | Medición en obra | ¿Cumple? |    | Observaciones |
|---------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|------------------|----------|----|---------------|
|                           |                     |                    |                                |                  | SI       | NO |               |
| 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 <sup>2</sup> h | NCh170             | EETT/ E< 1kg/m <sup>2</sup> /h |                  |          |    |               |

### 2. COLOCACIÓN DE HORMIGÓN

| Indicador  | Unidad Medición   | Método de medición | Meta objetivo  | Medición en obra | ¿Cumple? |    | Observaciones |
|--|-------------------|--------------------|--|------------------|----------|----|---------------|
|  |                   |                    |  |                  | SI       | NO |               |
| Equipos disponibles  | N° 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 <sup>3</sup> /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<br><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<br><i>Hormigonado en tiempo alta evaporación</i> |                  |          |    |               |

| <b>3. COMPACTACIÓN DE HORMIGÓN</b>          |                        |                           |   |                         |           |           | <b>¿Cumple?</b>      |  |  |
|---|------------------------|---------------------------|---|-------------------------|-----------|-----------|----------------------|--|--|
| <b>Indicador</b>                            | <b>Unidad Medición</b> | <b>Método de medición</b> | <b>Meta objetivo</b>  | <b>Medición en obra</b> | <b>SI</b> | <b>NO</b> | <b>Observaciones</b> |  |  |
| Equipos disponibles                         | Nº equipos             | Registro de obra          | De acuerdo a protocolos/instructivos obra                                       |                         |           |           |                      |  |  |
| Diámetro del vibrador (d)                   | cm                     | 2.2.2.2.2 Marco Teórico   | Compatible con armadura   |                         |           |           |                      |  |  |
| Diámetro de acción (D)                      | cm                     | 2.2.2.2.2 Marco Teórico   | Cumplir EETT/ Si $d > 10\text{cm}$ , $D = 8d$ ; si $d < 10\text{cm}$ , $D = 7d$ |                         |           |           |                      |  |  |
| Distancia del vibrador al moldaje (S1)      | cm                     | 2.2.2.2.2 Marco Teórico   | Cumplir EETT/ $S1 = 3d$   |                         |           |           |                      |  |  |
| Distancia entre inserciones (S)             | cm                     | 2.2.2.2.2 Marco Teórico   | Cumplir EETT/ $S = 0,75d$   |                         |           |           |                      |  |  |
| Velocidad de retiro del vibrador            | cm/s                   | ET 002-05                 | Cumplir EETT/ máx. 5 cm/s   |                         |           |           |                      |  |  |
| Mallas de vibración sistemáticas            | -                      | Registro de obra          | De acuerdo a protocolos/instructivos obra                                       |                         |           |           |                      |  |  |
| <b>4. TERMINACIÓN DE HORMIGÓN</b>           |                        |                           |   |                         |           |           | <b>¿Cumple?</b>      |  |  |
| <b>Indicador</b>                            | <b>Unidad Medición</b> | <b>Método de medición</b> | <b>Meta objetivo</b>  | <b>Medición en obra</b> | <b>SI</b> | <b>NO</b> | <b>Observaciones</b> |  |  |
| Equipos disponibles                         | Nº equipos             | Registro de obra          | De acuerdo a protocolos/instructivos  |                         |           |           |                      |  |  |
| Tipo Tratamiento                            | Tipo                   | Registro de obra          | EETT/ protocolos o instructivos/ Tabla 51                                       |                         |           |           |                      |  |  |
| Tolerancias para imperfecciones según grado | -                      | ET 004                    | Según EETT/ Tabla 42  |                         |           |           |                      |  |  |



### 3.3.3 “CHECK-LIST” Etapa de Curado y desmolde

## CHECK-LIST ETAPA DE CURADO Y DESMOLDE DE HORMIGÓN

### 1. PROTECCIÓN DE HORMIGÓN (SI CORRESPONDE)

|                                  |                 |                    |                                       |                  | ¿Cumple? |    |               |
|----------------------------------|-----------------|--------------------|---------------------------------------|------------------|----------|----|---------------|
| Indicador                        | Unidad Medición | Método de medición | Meta objetivo                         | Medición en obra | SI       | NO | Observaciones |
| Equipos y materiales disponibles | N° equipos      | Registro en obra   | De acuerdo a protocolos/instructivos  |                  |          |    |               |
| Método de protección             | -               | Registro en obra   | EETT/Protocolo de protección/Tabla 52 |                  |          |    |               |
| Plazo de protección              | horas           | Registro en obra   | EETT/Protocolo de protección          |                  |          |    |               |

### 2. CURADO DE HORMIGÓN

|  |                     |                    |   |                  | ¿Cumple? |    |               |
|--|---------------------|--------------------|---|------------------|----------|----|---------------|
| Indicador                                | Unidad Medición     | Método de medición | Meta objetivo                                       | Medición en obra | SI       | NO | Observaciones |
| Equipos y materiales disponibles         | N° eq. y mat.       | Registro en obra   | De acuerdo a protocolos/instructivos                |                  |          |    |               |
| Método de curado                         | -                   | Registro en obra   | EETT/Tabla 53/Tabla 54                              |                  |          |    |               |
| Plazo de curado según indicación de EETT | día/<br>Mpa/<br>Mpa | NCh170             | mín 7 días/<br>R.Real >0,7 f'c/<br>R.Pot. >0,85 f'c |                  |          |    |               |

### 3. DESMOLDE DE HORMIGÓN

|   |                           |                    |  |                  | ¿Cumple? |    |               |
|---|---------------------------|--------------------|--|------------------|----------|----|---------------|
| Indicador   | Unidad Medición           | Método de medición | Meta objetivo  | Medición en obra | SI       | NO | Observaciones |
| Plazos de desmolde elemento vertical según indicación de EETT   | /<br>Mpa/<br>Horas        | NCh170             | EETT /<br>Resistencia Real $\geq 2\text{MPa}$ /<br>Tabla 58  |                  |          |    |               |
| Plazos de desmolde elemento horizontal según indicación de EETT | /<br>Mpa/<br>Horas o días | NCh170             | EETT /<br>Resistencia Real $\geq 13\text{MPa}$ /<br>Tabla 58 |                  |          |    |               |

### 4. DESCIMBRE DE HORMIGÓN

|           |                 |                    |               |                  | ¿Cumple? |    |               |
|-----------|-----------------|--------------------|---------------|------------------|----------|----|---------------|
| Indicador | Unidad Medición | Método de medición | Meta objetivo | Medición en obra | SI       | NO | Observaciones |

|  |                   |        |   |  |  |  |  |
|--|-------------------|--------|---|--|--|--|--|
| Plazos de descimbre elemento horizontal según indicación de EETT | /<br>Mpa/<br>Días | NCh170 | EETT/<br>Resistencia Real $\geq 0.75 f'c$ /<br>Tabla 58 |  |  |  |  |
|--|-------------------|--------|---|--|--|--|--|

### 3.3.4 “CHECK-LIST” Etapa de Aceptación/ Rechazo

## CHECK-LIST ETAPA DE ACEPTACIÓN/ RECHAZO DE HORMIGÓN

| 1. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA                        |                 |                    |                  |                  |    |    | ¿Cumple? |  | Observaciones |
|--|-----------------|--------------------|------------------|------------------|----|----|----------|--|---------------|
| Indicador  | Unidad Medición | Método de medición | Meta objetivo    | Medición en obra | SI | NO |          |  |               |
| Evaluación estadística Probetas                  | -               | NCh1998            | Cumplir Tabla 16 |                  |    |    |          |  |               |
| Evaluación estadística Testigos (si corresponde) | -               | NCh1171/2          | Cumplir Tabla 19 |                  |    |    |          |  |               |
| Evaluación del nivel de ensayo (si corresponde)  | -               | NCh1998            | Cumplir Tabla 20 |                  |    |    |          |  |               |

| 2. TERMINACIÓN SUPERFICIAL (SI CORRESPONDE)          |                 |                    |                  |                  |    |    | ¿Cumple? |  | Observaciones |
|--|-----------------|--------------------|------------------|------------------|----|----|----------|--|---------------|
| Indicador  | Unidad Medición | Método de medición | Meta objetivo    | Medición en obra | SI | NO |          |  |               |
| Planeidad de la superficie vertical                  | mm              | ET004              | Cumplir Tabla 59 |                  |    |    |          |  |               |
| Planeidad superficie hor. posterior a hormigonado    | mm              | ET004              | Cumplir Tabla 60 |                  |    |    |          |  |               |
| Planeidad superficie hor. posterior a desalzaprimado | mm              | ET004              | Cumplir Tabla 61 |                  |    |    |          |  |               |
| Variaciones respecto a ejes del proyecto             | mm              | ET004              | Cumplir Tabla 62 |                  |    |    |          |  |               |
| Variaciones de vanos y puertas                       | mm              | ET004              | Cumplir Tabla 62 |                  |    |    |          |  |               |
| Resaltes en la cara del elemento                     | mm              | ET004              | Cumplir Tabla 62 |                  |    |    |          |  |               |
| Deformación en superficies de pisos                  | mm              | ET004              | Cumplir Tabla 63 |                  |    |    |          |  |               |
| Cuadratura de muro-muro                              | mm              | ET004              | Cumplir Tabla 64 |                  |    |    |          |  |               |
| Cuadratura de muro-losa (cielo)                      | mm              | ET004              | Cumplir Tabla 64 |                  |    |    |          |  |               |
| Cuadratura de muro-losa (piso)                       | mm              | ET004              | Cumplir Tabla 64 |                  |    |    |          |  |               |
| Variaciones del espesor de muro                      | mm              | ET004              | Cumplir Tabla 65 |                  |    |    |          |  |               |
| Variaciones del espesor de losa                      | mm              | ET004              | Cumplir Tabla 65 |                  |    |    |          |  |               |
| Variaciones de pendiente de losa                     | %               | ET004              | Cumplir Tabla 65 |                  |    |    |          |  |               |

| 3. FISURAS NO ESTRUCTURALES (SI CORRESPONDE) |                 |                    |               |                  |    |    | ¿Cumple? |  | Observaciones |
|--|-----------------|--------------------|---------------|------------------|----|----|----------|--|---------------|
| Indicador                                    | Unidad Medición | Método de medición | Meta objetivo | Medición en obra | SI | NO |          |  |               |
| Ancho fisura muro estándar                   | mm              | ET001              | ≤ 5mm         |                  |    |    |          |  |               |
| Ancho fisura muro de corte                   | mm              | ET001              | ≤ 3mm         |                  |    |    |          |  |               |
| Razón ancho fisura/ largo muro               | mm/m            | ET001              | ≤ 0,3 mm/m    |                  |    |    |          |  |               |
| Ancho fisura cantería                        | mm              | ET001              | EETT          |                  |    |    |          |  |               |

### 3.3.5 “CHECK-LIST” Etapa de Posibles Reparaciones

| <b>CHECK-LIST ETAPA DE POSIBLES REPARACIONES</b>                 |                 |                    |   |                  |    |    |                 |
|--|-----------------|--------------------|---|------------------|----|----|-----------------|
| <b>1. REPARACIÓN DE NIDOS (SI CORRESPONDE)</b>                   |                 |                    |   |                  |    |    | <b>¿Cumple?</b> |
| Indicador  | Unidad Medición | Método de medición | Meta objetivo                                   | Medición en obra | SI | NO | Observaciones   |
| Equipos y materiales disponibles                                 | Nº equipos      | -                  | De acuerdo a Protocolos/ instructivos           |                  |    |    |                 |
| Protocolo de reparación de nidos                                 | -               | ET002              | Cumplir EETT/ Tabla 69 y Tabla 70               |                  |    |    |                 |
| <b>2. REPARACIÓN DE TERMINACIÓN SUPERFICIAL (SI CORRESPONDE)</b> |                 |                    |   |                  |    |    | <b>¿Cumple?</b> |
| Indicador  | Unidad Medición | Método de medición | Meta objetivo                                   | Medición en obra | SI | NO | Observaciones   |
| Equipos y materiales disponibles                                 | Nº equipos      | -                  | De acuerdo a Protocolos/ instructivos           |                  |    |    |                 |
| Protocolo de reparación superficial                              | -               | ET004              | Cumplir EETT/ Tabla 71                          |                  |    |    |                 |
| <b>3. REPARACIÓN DE FISURAS (SI CORRESPONDE)</b>                 |                 |                    |   |                  |    |    | <b>¿Cumple?</b> |
| Indicador  | Unidad Medición | Método de medición | Meta objetivo                                   | Medición en obra | SI | NO | Observaciones   |
| Equipos y materiales disponibles                                 | Nº equipos      | -                  | De acuerdo a Protocolos/ instructivos           |                  |    |    |                 |
| Protocolo de reparación de fisuras                               | -               | ET001              | Cumplir EETT/ Tabla 72                          |                  |    |    |                 |
| <b>4. EVALUACIÓN ESTADÍSTICA (SI CORRESPONDE)</b>                |                 |                    |   |                  |    |    | <b>¿Cumple?</b> |
| Indicador  | Unidad Medición | Método de medición | Meta objetivo                                   | Medición en obra | SI | NO | Observaciones   |
| Criterio de proyectista estructural                              | -               | -                  | Cumplir indicaciones de proyectista estructural |                  |    |    |                 |

## 4. CONCLUSIONES

El hormigón es el material sintético más utilizado por el hombre, siendo su principal uso obras de ingeniería, las cuales nacen del esfuerzo de un mandante de realizar el proyecto, para lo cual, necesita de una constructora para materializarlo, mediante un contrato de construcción acordado previamente entre las partes. La Inspección Técnica de Obra juega un papel muy importante puesto que es el principal representante del mandante dentro de la construcción de las obras y quien debe velar por el cumplimiento del contrato de construcción. Dentro de las grandes facultades que tiene la ITO, se encuentran las relacionadas directamente con el hormigón y sus procesos constructivos, en cuyo caso se habla de una Inspección Técnica de Obras en Hormigón (ITOH).

Ante la ausencia de un manual de construcción que permitiera realizar inspección técnica en obras relacionadas directamente con el hormigón, nació la idea de proponer un manual de ITOH para hormigón confeccionado in situ y fabricación de hormigón por parte de planta mezcladora, siendo este el objetivo principal de la memoria. Dicho objetivo quedó sujeto al desarrollo de tres objetivos específicos.

El primero de ellos consistió en vincular una ITO con una ITOH, es decir, limitar todas las funciones y alcances que tiene una Inspección Técnica de Obra, a aquellas que tienen directa relación con el hormigón y sus procesos constructivos. Para lograrlo, fue necesario detallar en primer lugar una ITO tradicional, haciendo énfasis en que es el representante técnico del mandante dentro de la obra y quien busca velar por el cumplimiento del contrato de construcción, verificar el cumplimiento de las EETT, evaluar los cambios solicitados por el mandante, analizar riesgos, canalizar las consultas de la constructora, entre otros. Específicamente, la ITO debe cumplir con una gran cantidad de funciones (detalladas en Tabla 73), dentro de las cuales existen funciones de distinta índole: cumplimiento del contrato y de EETT, funciones administrativas, de finanzas, comunicativas, de seguridad, legales, seguimiento de avances, modificaciones del proyecto, finalización de trabajos, etc. A partir de dichas funciones, se realizó un análisis y se redujeron todas estas funciones a las relacionadas directamente con el hormigón (ver Tabla 74), que principalmente se enfocan en representar al mandante en aspectos relacionados con el hormigón y sus etapas constructivas, velando por el cumplimiento de las EETT en materias de hormigón. Dicho lo anterior, fue posible vincular una ITO con una ITOH, cumpliendo de esa manera con el primer objetivo específico propuesto.

El segundo objetivo específico consistió en describir las etapas constructivas con hormigón y la propuesta de indicadores que permitieran realizar la inspección y control en la gestión de los procesos. Con respecto a las etapas constructivas con hormigón, se propusieron y se desarrollaron las siguientes etapas: 1. Fabricación (en obra/ hormigón premezclado) y Transporte; 2. Colocación, Compactación y Terminación; 3. Curado y Desmolde; 4. Aceptación/ Rechazo; 5. Posibles reparaciones. En cada una de ellas se detallaron las responsabilidades del contratista y las funciones específicas del ITOH en los temas relacionados con dichas etapas, y, además, se propusieron indicadores que le permitiesen al ITOH realizar la inspección y control de todos los procesos en las 5 etapas descritas anteriormente. En la etapa de fabricación se propusieron 30 indicadores para la confección in situ y 28 para la confección por parte de la planta; en la etapa de colocación se propusieron 20 indicadores; para la etapa de curado 9 indicadores; 20 indicadores

propuestos para la etapa de aceptación; finalmente 7 indicadores fueron propuestos para la etapa de posibles reparaciones, dando un total de 114 indicadores propuestos en las 5 etapas constructivas con hormigón, y logrando el cumplimiento del segundo objetivo específico.

El tercer objetivo específico fue realizar la propuesta de listas de verificación definitivas para cada una de las etapas constructivas con hormigón, recalando nuevamente que se hizo la distinción en la etapa de Fabricación y Transporte (Check-List para la fabricación in situ y Check-List para hormigón premezclado). El desarrollo de este objetivo se realizó mediante los indicadores de inspección y control propuestos anteriormente, especificando para cada uno la “unidad de medición”, “método de medición” y la “meta objetivo” de dicho indicador, y, además, colocando casillas vacías “medición en obra”, “¿cumple?” y “observaciones”, a ser completadas en obra en caso de que el Check-List sea utilizado por un ITO. Esta tarea se efectuó para todos los indicadores de cada una de las etapas, dando así cumplimiento al último objetivo específico.

Con el desarrollo de los tres objetivos específicos, se logró el cumplimiento del objetivo general del trabajo: proponer un manual de ITOH para los procesos de confección de hormigón in situ y hormigón premezclado. Si bien los Check-List de cada etapa constructiva corresponden al entregable más importante del manual (debido a la facilidad de implementarlos en obra), el desarrollo de los objetivos específicos previos fue indispensable y de la misma trascendencia para la propuesta del manual.

Con respecto a los aprendizajes adquiridos, estos tienen relación principalmente con las etapas constructivas del hormigón y con la importancia de cada una de ellas. En la fabricación del hormigón es indispensable la confección de un hormigón homogéneo y no segregado puesto que es el puntapié inicial para lograr la calidad deseada, mientras que el cumplimiento de los requisitos de docilidad es fundamental para facilitar la trabajabilidad del hormigón en las etapas posteriores. En cuanto al transporte de hormigón, los equipos deben conservar de las propiedades del hormigón en su estado fresco, para lo cual es importante el cumplimiento de los tiempos de transporte y la elección de los equipos adecuados. Posteriormente, un correcto proceso de colocación es trascendental para evitar imperfecciones en el hormigón (principalmente nidos), que condicionan las propiedades mecánicas y la durabilidad del material. Además, es importante tener en cuenta posibles escenarios de colocación en climas especiales, pudiendo ser necesario aplicar protección al hormigón adicional al curado. Siguiendo la misma línea, la compactación del hormigón es crucial pues permite eliminar los excesos del aire dentro del hormigón, mejorando la compactación, y con ello, la densidad, la resistencia y la durabilidad. Seguidamente, el curado es importantísimo para que el hormigón cuente con una correcta hidratación del cemento durante su etapa inicial, y con ello, alcanzar la resistencia mecánica especificada. Además, ayuda a prevenir la aparición de fisuras en etapas tempranas, mejorando con ello la durabilidad del hormigón frente al ataque de agentes externos. Por último, el desmolde y descimbre de los elementos se debe efectuar en los plazos establecidos luego de alcanzar una resistencia mecánica dada, para que la integridad de la estructura no se vea amenazada.

Otro aprendizaje adquirido tiene que ver con el entendimiento de las funciones de una Inspección Técnica de Obras, la cual se encarga de representar al mandante en su relación contractual con el contratista. No obstante, se espera que la ITO sea imparcial, objetiva y transparente, lo cual le otorga prestigio y credibilidad que son requisitos muy importantes en su ser. Por otro lado, el trabajo de la ITO es esencialmente preventivo, y se realiza mediante métodos y procedimientos

validados y cuantificables. Lo anterior aplica directamente a una ITOH, y mediante este trabajo se busca proponer un manual que permita realizar inspección técnica de obras en hormigón de carácter preventivo y que ayude al cumplimiento del contrato de construcción del proyecto y de las EETT.

Para finalizar, se espera con este manual ser un aporte en la formación de inspectores técnicos de obra en hormigón, puesto que este trabajo puede ser un complemento para los cursos de ITOH dictados a nivel nacional. Además, se espera ser un aporte en el mundo de la construcción, dado que quedará a disposición de cualquier inspector técnico de obra que quiera apoyarse en él para realizar inspección técnica de obras en temas relacionados con el hormigón. Por último, las constructoras podrán utilizar este manual para guiarse en sus actividades relacionadas con el hormigón y sus procesos constructivos.

## Bibliografía

- American Concrete Institute. (2001). *ACI 201.2R-01: Guía para la Durabilidad del Hormigón*. ACI.
- American Concrete Institute. (1992). *ACI311-92: Manual para Supervisar Obras de Concreto*. ACI.
- American Concrete Institute. (2016). *ACI 306R-16: Guide to Cold Weather Concreting*. ACI.
- American Concrete Institute. (2016). *ACI301-16: Especificaciones para Concreto Estructural*. ACI.
- American Concrete Institute. (2019). *ACI 318-19: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. ACI.
- Carreteras Pan-Americanas. (2022). Hormigonado en tiempo frío.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2011). *Inspección Técnica de Obras*. CChC.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico . (2018). *Manual de Tolerancias par Edificaciones*. CChC.
- Ebensperger, L., & Torrent, R. (2010). *Medición "in situ" de la permeabilidad al aire del hormigón: status quo*. Revista ingeniería de construcción .
- EMB Construcción. (Diciembre de 2008). *Revista EMB Construcción*.  
<http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=964&ni=augusto-holmberg-chile-esta-en-una-coyuntura-donde-es-necesario-abrir-mayores-espacios-para-mejorar-la-productividad#:~:text=Despu%C3%A9s%20del%20agua%2C%20el%20hormig%C3%B3n,a%20lo%20largo%20de%20los>
- Holmgren , A. (s.f). *NCh170 2016 Tecnología del hormigón y más...* ICH.
- Instituto de Cemento y de Hormigón de Chile. (2018). *Técnico en Ensayo de Hormigón Fresco en Obra TEHFO*. ICH.
- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (1992). *Compendio de Tecnología Del Hormigón*.  
<https://ich.cl/publicaciones/compendio-Tecnología-del-hormigon/>
- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (2005). *ET 001-05: Fisuras no estructurales en muros de H.A*. ICH.
- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (2005). *ET 002-05: Altura de vaciado del hormigón en elementos verticales*. ICH.
- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (2006). *ET 004-06: Tolerancias Dimensionales en elementos de H.A*. ICH.
- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (2007). *ET 005-07: Criterios de aceptación de superficies moldeadas en elementos de hormigón*. ICH.
- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (2022). *Material Muros, Superficie Total y Participación*.  
<https://ich.cl/estadisticas/material-muros-superficie-total-y-participacion/>
- Instituto Nacional de Normalización . (2009). *NCh1038: 2009: Hormigón - Ensayo de tracción por flexión*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización . (2012). *NCh1498: 2012: Hormigón y mortero - Agua de amasado - Clasificación y requisitos*. INN.



- Instituto Nacional de Normalización. (1986). *NCh1789: 1986: Hormigón- Determinación de la uniformidad obtenida en el mezclado de hormigón fresco*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (1992). *NCh1934: 1992: Hormigón preparado en central hormigonera*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (1989). *NCh1998: 1989: Hormigón - Evaluación Estadística de la resistencia mecánica*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (1992). *NCh2184: 1992: Hormigón y mortero - Método de ensayo - Determinación del contenido de aire*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (1992). *NCh2185: 1992: Hormigón y mortero - Método de ensayo – Determinación de la resistencia a la congelación y el deshielo*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (1995). *NCh2182: 1995: Hormigón y mortero - Aditivos - Clasificación y requisitos*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (1997). *NCh2262:1997: Hormigón y mortero - Métodos de ensayo - Determinación de la impermeabilidad al agua - Método de la penetración de agua bajo presión*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (1999). *NCh1156/1: 1999: Construcción - Especificaciones técnicas - Ordenación y designación de partidas - Parte 1: Generalidades*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (1999). *NCh1156/3: 1999: Construcción - Especificaciones técnicas - Ordenación y designación de partidas - Parte 3: Obras de construcción*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (2001). *NCh1171/2: 2001: Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 2: Evaluación de resultados de resistencia mecánica*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (2008). *NCh171: 2008: Hormigón - Extracción de muestras de hormigón fresco*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (2009). *NCh1017: 2009: Hormigón - Confeción en obra y curado de probetas para ensayos de compresión, tracción por flexión y por hendimiento*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (2009). *NCh1019: 2009: Hormigón - Determinación de la docilidad - Método del asentamiento del cono de Abrams*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (2009). *NCh1037: 2009: Hormigón: Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (2009). *NCh1564: 2009: Hormigón - Determinación de la densidad aparente del hormigón fresco*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (2010). *NCh1444:2010: Áridos para morteros y hormigón - Determinación de cloruros y sulfatos*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (2012). *NCh1171/1: 2012: Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 1: Extracción y ensayo*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (2012). *NCh1498: 2012: Hormigón y mortero - Agua de amasado - Clasificación y requisitos*. INN.

- Instituto Nacional de Normalización. (2013). *NCh163: 2013: Áridos para morteros y hormigones - Requisitos*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (2016). *NCh 170: 2016: Hormigón - Requisitos Generales*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (2018). *NCh3565: 2018: Hormigón - Estimación de la resistencia mecánica - Método de la madurez*. INN.
- Instituto Nacional de Normalización. (2021). *NCh148: 2021: Cemento - Terminología, clasificación y requisitos generales*. INN.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Jussara, T. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Portland Cement Association.  
[https://www.academia.edu/29059360/PCA\\_Dise%C3%B1o\\_y\\_Control\\_de\\_Mezclas\\_de\\_Concreto](https://www.academia.edu/29059360/PCA_Dise%C3%B1o_y_Control_de_Mezclas_de_Concreto)
- Muñoz, C. P. (2022). *Curso 1: Inspección Técnica en Obras de Hormigón*. ICH Capacitaciones.  
<https://capacitacion.ich.cl/courses/5ta-version-inspeccion-tecnica-en-obras-de-hormigon/>
- Muñoz, C. P. (2022). *Curso 2: Inspección Técnica en Obras en Hormigón*. ICH Capacitaciones.  
<https://capacitacion.ich.cl/courses/5ta-version-inspeccion-tecnica-en-obras-de-hormigon/>
- Peyresblanques, I. (2019). *Propuesta de zonificación nacional de los grados de exposición de ciclos de hielo-deshielo expuestos en la NCh170:2016*. [Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Andrés Bello].
- Polpaico. (s.f.). *Manual del Constructor*. POLPAICO. <https://manualdelconstructor.polpaico.cl/>
- SIA. (2019). *SN 505 262/1: 2019: Construction en béton - Spécifications complémentaires*. SIA.