

MANUAL DEL

# CONSTRUCTOR



MANUAL DEL

# CONSTRUCTOR



MANUAL DEL

# CONSTRUCTOR

## INDICE

INTRODUCCIÓN .....	3
<b>1. ETAPAS PRELIMINARES Y RECEPCIÓN FINAL DE LA OBRA .....</b>	<b>5</b>
1.1. Generalidades .....	7
1.2. Solicitud del permiso de edificación y sus trámites.....	9
1.3. Trabajos previos .....	13
1.4. Instalación de faenas .....	15
1.5. Programa de trabajo .....	29
1.6. Recepción final de la obra.....	31
<b>2. CONSTRUCCIÓN .....</b>	<b>33</b>
2.1. Introducción .....	35
2.2. Obra gruesa .....	37
2.3. Estucos de mortero de cemento .....	55
2.4. Impermeabilizaciones .....	59
2.5. Instalaciones.....	63
2.6. Pavimentos de hormigón.....	79
<b>3. EL HORMIGÓN .....</b>	<b>95</b>
3.1. Introducción .....	97
3.2. Materiales para el hormigón.....	99
3.3. Clasificación y designación del hormigón.....	133
3.4. Diseño de la mezcla.....	135
3.5. Fabricación del hormigón.....	143
3.6. Transporte.....	149
3.7. Hormigonado.....	159
3.8. Compactación.....	171
3.9. Tratamiento de la superficie .....	183
3.10. Curado .....	189
3.11. Desmolde y descimbre .....	197
3.12. Control de calidad del hormigón .....	199
3.13. Hormigón premezclado .....	231
3.14. Hormigonado en climas especiales .....	237
3.15. Durabilidad del hormigón.....	249
3.16. Hormigones especiales .....	263
3.17. Reparación de estructuras de hormigón .....	281
<b>4. EL ACERO.....</b>	<b>291</b>
4.1 Barras para hormigón armado.....	293
4.2 Acero Estructural .....	307
<b>5. LA MADERA.....</b>	<b>313</b>
5.1. Características Generales.....	315
5.2. Diseño en madera .....	319
5.3. Moldajes.....	333
<b>6. MORTEROS Y ALBAÑILERÍAS.....</b>	<b>347</b>
6.1 Morteros .....	349
6.2 Albañilerías de ladrillos cerámicos .....	361
6.3 Albañilerías de bloques huecos de hormigón .....	365
6.4 Materialización de las albañilerías .....	369
6.5 Estucos.....	377
6.6 Lechadas para inyecciones.....	381
<b>7. MECÁNICA DE SUELOS .....</b>	<b>389</b>
7.1. Estudio del subsuelo .....	391
7.2. Características de los suelos .....	397
7.3. Parámetros característicos de los suelos típicos.....	407
7.4. Compactación del suelo .....	409
<b>8. PRODUCTOS.....</b>	<b>417</b>
8.1 Hormigones .....	419
8.2 Cementos .....	447
8.3 Áridos.....	
<b>9. SEGURIDAD .....</b>	<b>449</b>
9.1 Prevención de riesgos y salud ocupacional .....	451
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>463</b>



## INTRODUCCIÓN

*En línea con nuestro propósito de “La Vida Mucho Mejor”, que refleja nuestra preocupación por otorgar un servicio integral en forma permanente a nuestros clientes, entender sus necesidades y anticipar soluciones, hemos desarrollado este Manual del Constructor, un documento técnico que reúne distintos aspectos del proceso constructivo, colocando énfasis en la utilización del cemento y hormigón.*

Esta es una herramienta innovadora, única en el mercado que surge ante la necesidad de brindarles a nuestros clientes mejores herramientas y recomendaciones para una mayor productividad y calidad en su trabajo diario. Al mismo tiempo, este Manual busca ser un aporte al profesionalismo y conocimiento de pequeñas constructoras y estudiantes, quienes también podrán acceder gratuitamente al material.

En Polpaico estamos convencidos de que cada vez que un cliente prefiere algunos de nuestros productos y servicios, la sociedad en su conjunto se beneficia más, porque detrás de cada uno de nuestros sacos de cemento y metros cúbicos de hormigón hay un equipo comprometido no sólo de generar el mejor y más duradero producto, sino que también de producirlo con el menor impacto ambiental, con las mejores externalidades sociales, con mayor igualdad e inclusión.

En ese sentido, este Manual busca ser un aporte para el desarrollo profesional de las personas que trabajan en el rubro y para el funcionamiento de nuestra empresa, ya que le dan sentido a nuestra cadena productiva.

Conscientes de la responsabilidad que nos cabe en el desarrollo de nuestro negocio, trabajamos constantemente por alcanzar un alto grado de excelencia, siendo éste un pilar de nuestra gestión diaria. Por eso, el documento que elaboramos también incorpora

información sobre la normativa vigente, con un lenguaje de fácil comprensión y lectura rápida para que todos los profesionales de la construcción puedan entenderlo.

Estamos convencidos de que los resultados, y su proyección en el tiempo, se encuentran directamente relacionados con nuestra forma de hacer bien las actividades asociadas a nuestros procesos; donde el éxito se debe en gran medida al compromiso con la integridad, la transparencia y la sostenibilidad, en concordancia con la legislación aplicable.

Por otro lado, en Polpaico respetamos y valoramos la vida, la salud y la seguridad de las personas, desarrollando nuestras operaciones en ambientes de trabajo con riesgos controlados y protegiendo a nuestros empleados, contratistas, clientes, proveedores y partes interesadas. Estos aspectos son primordiales para lograr que la sociedad se beneficie cada vez más, por lo que hemos incluido en el Manual consejos y medidas a tener en cuenta al momento de desarrollar un proyecto, de manera de resguardar la integridad de todos quienes trabajan en él.

Esperamos que esta guía sea de gran ayuda para su trabajo diario y que juntos, trabajemos buscando hacer una Vida Mucho Mejor para Todos.



# 1.

## ETAPAS PRELIMINARES Y RECEPCIÓN FINAL DE LA OBRA

---

- 1.1. Generalidades
  - 1.2. Solicitud del permiso de edificación y sus trámites
  - 1.3. Trabajos previos
  - 1.4. Instalación de faenas
  - 1.5. Programa de trabajo
  - 1.6. Recepción final de la obra
- 



## GENERALIDADES

Las etapas preliminares comprenden todas las obras o actividades operativas a realizar, previas a la ejecución de un proyecto, una vez que éste está definido y adjudicado a una empresa constructora; esta etapa inicial implica la coordinación con diversos profesionales, dado que requiere la definición de aspectos administrativos y técnicos que servirán de base para la etapa de operación del proyecto

TEMAS TRATADOS

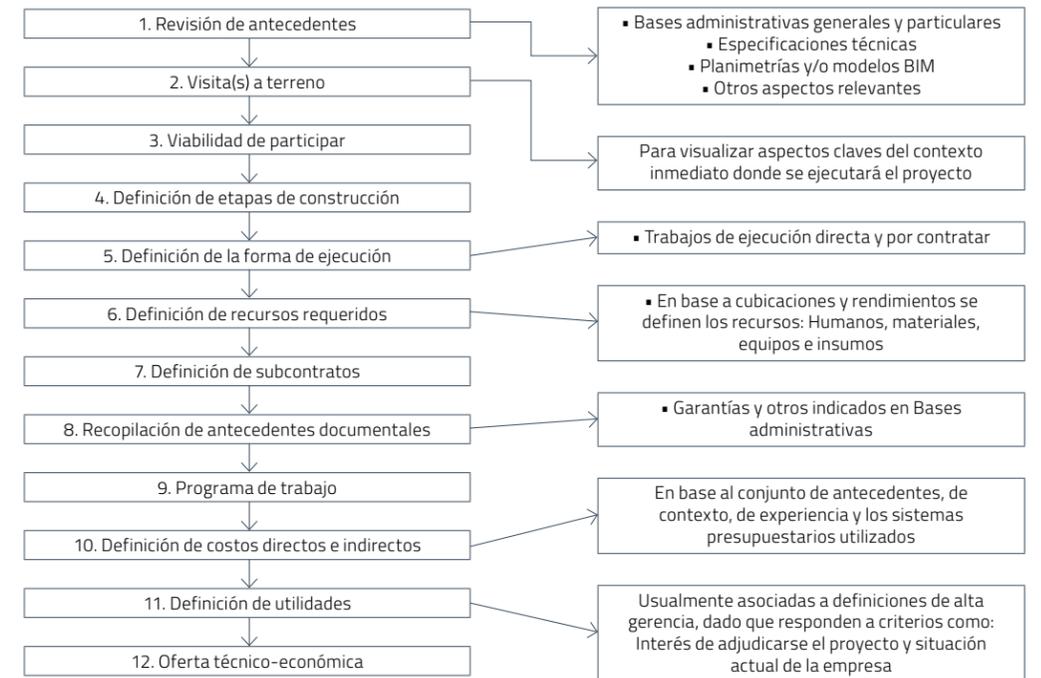
- 1.1.1. Introducción
- 1.1.2. Definición de etapas previas a la adjudicación del contrato (de propuesta) y de etapas una vez que el proyecto está adjudicado.

### 1.1.1 INTRODUCCIÓN

La empresa constructora a cargo de un proyecto realiza una serie de actividades o «partidas» previas a la construcción propiamente tal. Dicho conjunto de actividades se han separado en 2 figuras, donde la número 1 presenta todo lo relacionado al proceso de licitación y la 2 lo referente a las fases tras haberse adjudicado la propuesta, destacando el hecho que no necesariamente se ejecutan en el orden indicado debido a que serán dependientes del tipo de empresa y características de la obra.

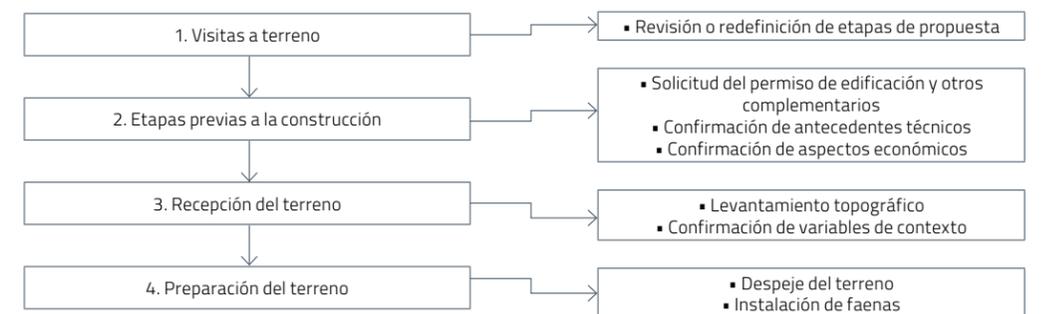
### 1.1.2 DEFINICIÓN DE LAS ETAPAS PREVIAS A LA ADJUDICACIÓN DEL CONTRATO (DE PROPUESTA) Y DE ETAPAS UNA VEZ QUE EL PROYECTO ESTÉ ADJUDICADO

FIGURA 1  
ETAPAS PRELIMINARES A LA ADJUDICACIÓN DE UNA LICITACIÓN



FUENTE: De los autores

FIGURA 2  
ETAPAS DE UNA OBRA, UNA VEZ ADJUDICADA LA LICITACIÓN



FUENTE: De los autores

## SOLICITUD DEL PERMISO DE EDIFICACIÓN Y SUS TRÁMITES

*Los antecedentes presentados a continuación, se fundamentan en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción de ahora en adelante Ordenanza general, en su última actualización de febrero del año 2018. Los procesos que a continuación se detallan se encuentran asociados a formularios disponibles en la página Web del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU de ahora en adelante) que son de uso común en la Dirección de Obras Municipales (de ahora en adelante DOM) de cualquier comuna.*

*Una parte importante de los trámites relacionados con nuestro sector han sido incorporados a la plataforma denominada "DOM en línea", la que busca hacer más expeditos los trámites a través de la digitalización de los procesos.*

- 1.2.1. Introducción
- 1.2.2. Documentos que deben presentarse para la solicitud del permiso
- 1.2.3. Aprobación del permiso

### 1.2.1 INTRODUCCIÓN

Para construir, reconstruir, reparar, alterar, ampliar o demoler un edificio, o ejecutar obras menores, se deberá solicitar permiso del Director de Obras Municipales respectivo.

No puede iniciarse obra alguna si no se cuenta con el permiso de edificación. Sin embargo, el Director de Obras puede autorizar, antes que el permiso se conceda y bajo la exclusiva responsabilidad del profesional competente que lo solicite, la ejecución de los siguientes trabajos:

- Demolición de un edificio existente
- Excavación para cimientos
- Colocación de cierros y andamios
- Preparación de canchas o instalaciones para confección de hormigón
- Otros trabajos de naturaleza análoga

El permiso no será necesario cuando se trate de:

- Obras de carácter no estructural al interior de una vivienda
- Elementos exteriores sobrepuestos que no requieran cimientos
- Cierros interiores
- Obras de mantención
- Instalaciones interiores adicionales a las reglamentariamente requeridas, sin perjuicio del cumplimiento de las normas técnicas que en cada caso correspondan
- Piscinas privadas a más de 1,5 m del deslinde con predios vecinos
- Instalación de antenas de telecomunicaciones (cumpliendo una serie de antecedentes requeridos igualmente)

### 1.2.2 DOCUMENTOS QUE DEBEN PRESENTARSE PARA LA SOLICITUD DEL PERMISO

Para reconocer los documentos y antecedentes que se deben presentar para la solicitud del permiso, se debe establecer el tipo de obra que se deberá realizar, el MINVU considera 5 tipos de actuaciones, separadas en 5 grupos temáticos:

- Obra nueva
- Ampliación mayor a 100 m<sup>2</sup>
- Alteración
- Reparación
- Reconstrucción

Frente a lo anterior, se profundizará en los documentos críticos que se requieren en uno u otro formulario único nacional

- Declaración jurada simple del propietario de ser titular del dominio del predio
- Lista de los profesionales competentes que intervienen en los proyectos
- Indicar las disposiciones especiales a que se acoge, en su caso, el proyecto
- Destino contemplado
- Señalar si el proyecto consulta, en todo o parte, edificios de uso público
- Superficies del proyecto bajo terreno, sobre terreno, útiles y comunes; así como su clasificación
- Normas urbanísticas aplicadas

- Disposiciones o autorizaciones especiales aplicadas
- Número de unidades totales por destino
- Señalar si cuenta con informe favorable de un revisor independiente, y la individualización de éste
- Consignar si cuenta con anteproyecto aprobado y vigente que haya servido de base para el desarrollo del proyecto, indicando fecha y número de su aprobación
- Fotocopia del Certificado de Informaciones Previas, solicitado con anterioridad al permiso en la Dirección de Obras Municipales respectiva, salvo que se indique su fecha y número en la solicitud
- Formulario único de estadísticas de edificación
- Certificado de factibilidad de dación de agua potable y alcantarillado, otorgado por el organismo competente
- Memoria de cálculo
- Patentes profesionales al día
- Lista de todos los planos que conforman el expediente, debidamente numerados
- Planos de arquitectura que deberán contener:
  - Ubicación del terreno dentro de la manzana con indicación de las vías y espacios públicos existentes más próximos
  - Emplazamiento de la edificación dentro del predio, con las indicaciones necesarias que permitan verificar el cumplimiento de las disposiciones sobre distanciamientos, líneas oficiales y adosamientos. Se deberán indicar además los accesos peatonales y vehiculares desde la vía pública y los accesos especiales para personas con discapacidad
  - Planta general de todos los pisos, con indicación del destino de los diferentes locales y recintos
  - Elevaciones y cortes
  - Planta de cubiertas
  - Memoria de cálculo de superficies edificadas
  - Planos de estructura
  - Especificaciones técnicas que incluyan todas las partidas contempladas en el proyecto
  - Otros antecedentes que dependen de las características del proyecto: Carga combustible, mecánica de suelos, impacto sobre sistema de transporte y otros

### Notas:

El proyecto debe ir firmado por las siguientes personas, indicándose en cada caso la calidad en que actúan:

- Propietario
- Profesionales responsables
- El Constructor (Podrá individualizarse hasta antes del inicio de las obras)

Los Municipios respectivos cuentan con normativas locales, tales como:

- Permiso especial para instalar grúas torre o máquinas estacionarias en general dentro de la obra
- Permiso especial para tránsito de vehículos pesados
- Permiso especial de ocupación y para trabajar en la vía pública
- Permiso especial para trabajos nocturnos
- Exigencia de pantallas protectoras en trabajos de fachada
- Exigencia especial para señalizaciones o demarcaciones
- Otros generalmente publicados en la página web de cada Municipio

### 1.2.3 APROBACIÓN DEL PERMISO

Una vez que el permiso de edificación es aprobado, previo pago por parte del solicitante de los derechos que procedan, la Dirección de Obras entregará un documento con la identificación del permiso y de los profesionales competentes, un ejemplar de la boleta del permiso, del proyecto y su respectivo legajo de antecedentes, sin perjuicio del timbraje de otras copias que se soliciten.

Estos documentos deben permanecer en la obra durante su ejecución, siendo responsabilidad del Constructor a cargo, mantener además en ésta, el Libro de Obras y el documento en que conste la formulación de las medidas de gestión y control de calidad que se adoptarán durante la construcción de la obra.

El permiso caduca cuando:

- A los tres años de concedido no se han iniciado las obras
- La obra permanece sin trabajo durante más de 3 años

## TRABAJOS PREVIOS

*El propósito de este ítem es entregar antecedentes mínimos de ciertas partidas indicadas en el diagrama de flujo del punto 1.1.2 de este Capítulo.*

TEMAS  
TRATADOS

- 1.3.1. Visitas a terreno
- 1.3.2. Contratación de seguros
- 1.3.3. Recepción del terreno
- 1.3.4. Topografía general
- 1.3.5. Preparación del terreno
- 1.3.6. Despeje del terreno

### 1.3.1 VISITAS A TERRENO

Las visitas a terreno tienen como objetivo que el profesional a cargo conozca aspectos logísticos de contexto y de obtención de recursos: humanos, materiales y otros:

- El emplazamiento del terreno
- Características generales
- Disponibilidad de empalme a redes de alcantarillado y electricidad
- Deslindes y características del vecindario
- Posibilidad de accesos de acuerdo con las vías que enfrenta
- Obstrucciones aéreas y/o subterráneas
- Fuentes de material y/o proveedores
- Distancia a botaderos

### 1.3.2 CONTRATACIÓN DE SEGUROS

Dentro de las etapas previas, es necesario que el profesional a cargo verifique los seguros que sean aplicables a las características del proyecto y los requeridos a nivel contractual.

Los tipos más comunes son:

- Seguro de incendio
- Seguro de daños contra terceros
- Remesa de valores

- Seguros de construcción y montaje
- Seguro de equipamiento y maquinaria
- Seguro de responsabilidad civil
- Otros

### 1.3.3 RECEPCIÓN DEL TERRENO

Corresponde a una actividad importante del proceso de licitación, y se señala en la etapa 2 del diagrama 1. En este acto el mandante de la obra le entrega al profesional a cargo, el terreno donde se ubicará la obra, quien tendrá que verificar sus deslindes, la ubicación de la línea oficial, el punto de referencia o cota cero y cualquier diferencia que exista respecto a las visitas previas o a los antecedentes entregados durante la licitación.

### 1.3.4 TOPOGRAFÍA

Una vez tomada la posesión del terreno, el profesional a cargo debe proceder a verificar las características asociadas al terreno, la conformación de su superficie y de los distintos elementos que conviven en él, en función de que posteriormente se emplacen los ejes y vértices más importantes de la obra en él.

### 1.3.5 PREPARACIÓN DEL TERRENO

La preparación del terreno consiste en realizar el despeje, cierre perimetral, definición de accesos y habilitación de la instalación de faenas de manera acorde a las características del proyecto y el contexto inmediato que lo rodea.

### 1.3.6 DESPEJE DEL TERRENO

Consiste en despejar el terreno para obtener una superficie adecuada para los trabajos. Este se realiza a mano o a máquina, dependiendo del estado en que se encuentre el terreno. A título de orientación, se entregan rendimientos aproximados en la tabla 1.

**TABLA N° 1**  
RENDIMIENTOS  
DE DESPEJE

PROFUNDIDAD	m2 por hora jornal	
	TIPO DE SUELO	
	COMPACTO	BLANDO
Hasta 10 cm	5	10
10 - 20 cm	4	7,5
20 - 30 cm	3	6,0

## INSTALACIÓN DE FAENAS

*La instalación de faenas corresponde al acondicionamiento, en el terreno, de las construcciones y cierros provisionales, maquinarias, equipos y otros elementos indispensables para iniciar los trabajos, con las medidas de seguridad necesarias.*

*Es una de las etapas más importantes del proyecto, dado que debe ser capaz de operar de manera flexible y eficiente, en todas las fases asociadas al desarrollo de la obra, respondiendo además a las variables de contexto que se encuentran alrededor del proyecto.*

### TEMAS TRATADOS

- 1.4.1. Proyecto de instalación de faenas
- 1.4.2. Composición de una instalación de faenas y algunas medidas de seguridad a adoptar

### 1.4.1 PROYECTO DE INSTALACIÓN DE FAENAS

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A. Comunicación al organismo de seguridad correspondiente (Mutual)
- B. Determinación de las superficies necesarias
- C. Adecuación a la superficie disponible
  - C.1 Procedimiento
  - C.2 Consideraciones a contemplar para la ubicación de la instalación de faenas
- D. Consideraciones especiales según las características de la obra (Ref. «ORDENANZA GENERAL»)
  - D.1 Uso de aceras en la vía pública
  - D.2 Instalación peligrosa para sitios vecinos
  - D.3 Demoliciones y botaderos de escombros

#### A. Comunicación al organismo de seguridad correspondiente (Mutualidades)

Las mutualidades son organismos administradores de la Ley 16744 – que establece el Seguro Social Obligatorio Contra Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales, y toda empresa de uno o más trabajadores debe afiliarse a alguna mutualidad o al Instituto de Seguridad Laboral (ISL), por tanto es importante comunicar oportunamente al organismo correspondiente, el inicio de labores operativas en obra, asociadas a la ejecución de un proyecto indicando lo siguiente:

- Ubicación de la obra
- Fecha de inicio de las obras
- Fecha probable de término
- Tipo de obra
- Cantidad de personal promedio
- Persona encargada de la obra

#### B. Determinación de las superficies necesarias

Para determinar las superficies necesarias para la correcta ejecución de las obras, se deben conocer los flujos de recursos derivados del programa de trabajo. Se pueden mencionar como ejemplo los siguientes:

- Recursos humanos
- Recursos materiales
- Equipos de construcción
- Equipos auxiliares

Insumos, que no son parte de la obra, pero sí son necesarios para su materialización, como por ejemplo el petróleo

#### C. Adecuación de la superficie disponible

##### C.1 Procedimiento

Debemos tener certeza en torno a las características del proyecto de edificación, lo que vamos a obtener a partir de los antecedentes planimétricos del proyecto, principalmente arquitectura y topografía, lo que, cruzado con el plan de trabajo y los recursos involucrados, permitirá conformar el plano de distribución de faena.

A partir de este antecedente, se procederá a:

Delimitar la zona de la obra y elementos anexos

Resolver en forma práctica con el resto del terreno las ubicaciones de las distintas dependencias

## C.2 Consideraciones a contemplar para la ubicación de la instalación de faenas

- Flujo expedito de materiales y acceso de éstos de acuerdo con el avance de la obra
- Ubicación de bodegas y áreas de acopio de materiales, en relación con el riesgo que presentan
- Vías de circulación interna con dimensiones adecuadas, señalizaciones y protecciones de acuerdo con el riesgo que exista en la cercanía
- Espacios adecuados frente a bodegas para permitir maniobras de seguridad de vehículos
- Ubicación de servicios higiénicos lejos de las instalaciones eléctricas, las que deben ir debidamente señaladas. Estos además no podrán instalarse a más de 75 metros del área de trabajo
- Ubicación de los extintores de acuerdo con distancias máximas de recorrido y su potencial de extinción y la superficie de cubrimiento requerida

Varios de los aspectos indicados previamente, se fundamentan en los requerimientos establecidos en el Decreto N° 594 (-Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo- del Ministerio de Salud). Por otra parte, se deben considerar aspectos asociados a equipos de mayor escala como:

Emplazamiento de equipos de construcción importantes y su alimentación respectiva, principalmente electricidad y agua potable (grúa y grúa torre, planta de hormigón y otros)

En el caso de la grúa torre se deben efectuar las consultas correspondientes a la Dirección de Obras de la Municipalidad respectiva, en relación a permisos, horarios de uso, tipos de cargas y otros

## D. Consideraciones especiales según las características de la obra

(Ref. «ORDENANZA GENERAL»).

### D.1 Uso de aceras en la vía pública

Si para la ejecución de la obra se instalan cierros, elevadores o andamios en las aceras de la vía pública, se debe pedir permiso a la Dirección de Obras Municipales respectiva. Este permiso está sujeto a:

Que los elementos y su disposición cumplan con la «ORDENANZA GENERAL»

El pago de los respectivos derechos municipales

Que su plazo es por un período determinado y que además puede ser suspendido en cualquier momento que la autoridad establezca su inconveniencia

### D.2 Instalación peligrosa para sitios vecinos

Se deben planificar las medidas necesarias para no causar daños o amenaza de éstos en construcciones vecinas, producto de maquinarias, grúas, andamios y otros, ya que, si la Dirección de Obras Municipales verifica dicha situación, actuará conforme a la Ley General de Urbanismo y Construcción en lo referente a responsabilidades legales de los profesionales involucrados.

### D.3 Demoliciones y botaderos de escombros.

La ejecución de estas obras debe realizarse de acuerdo con la «ORDENANZA GENERAL».

## 1.4.1 COMPOSICIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE FAENAS Y ALGUNAS MEDIDAS DE SEGURIDAD A ADOPTAR

### FACTORES A CONSIDERAR

#### A. Construcciones provisorias

##### A.1 Clasificación

##### A.2 Consideraciones generales para los distintos tipos de instalaciones de faenas:

###### A.2.1 Oficinas

###### A.2.2 Bodegas

###### A.2.3 Talleres de trabajo

###### A.2.4 Depósitos de combustibles y explosivos

###### A.2.5 Saneamiento básico

Servicios higiénicos

Vestuarios y comedores

Servicios de primeros auxilios

###### A.2.6 Casa del cuidador

#### B. Cierros provisorios

#### C. Porterías y portones

#### D. Letreros

#### E. Instalaciones provisorias

##### E.1 Empalme provisorio de agua potable

##### E.2 Empalme provisorio de electricidad

###### E.2.1 Características de los empalmes

## A. Construcciones provisionarias

El tipo de obra a ejecutar, su magnitud, envergadura, su conformación dentro del espacio disponible y el contexto inmediato, condiciona el tipo de construcciones provisionarias a realizar y su cantidad. Por esta razón, sólo se señalarán características relevantes de éstas y de los tipos de recintos.

### A.1 Clasificación

CONSTRUCCIONES HECHAS EN OBRA	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Frecuentemente son de madera, aunque a veces se utilizan piezas de albañilería de ladrillos y de hormigones prefabricados, para los servicios higiénicos y cocinas.</li> <li>Las construcciones hechas de madera se hacen por lo general en múltiplos de 3 m para aprovechar el largo de la madera. Las partes construidas del proyecto, en obra gruesa principalmente, en ciertas ocasiones se convierten en instalación de faenas en función de liberar espacio de circulación alrededor de la edificación.</li> </ul>	
CONSTRUCCIONES PREFABRICADAS	
DE MADERA	METÁLICAS
<b>Características</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se venden a medida según las necesidades, teniendo también los fabricantes módulos de dimensiones estandarizadas.</li> <li>Hay diversidad de módulos, de medidas aproximadas de 6 x 2,45 m, 8 x 2,4 m y de distintas terminaciones.</li> <li>Se entregan armados en obra o bien embalados con un plano para armarlos.</li> <li>Algunos se fabrican para uso definitivo.</li> </ul>	<b>Características</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tienen dimensiones estandarizadas, de aproximadamente 6 m de largo con anchos de 2,4 - 2,5 - 3,0 m y altos por lo general de 2,5 - 2,6 m.</li> <li>Se venden como contenedores habitables.</li> </ul>

## A.2 Consideraciones generales para los distintos tipos de instalaciones de faenas

### A.2.1 Oficinas

- Es recomendable que los ambientes tengan una capacidad mínima de superficie, construirse con materiales que aseguren una aislación acústica y térmica mínima, tener protecciones contra vientos y lluvias, con iluminación adecuada, extintores, señalética, mobiliario y cantidad suficiente de enchufes.

**TABLA 1**  
DIMENSIONES RECOMENDADAS PARA OFICINAS SEGÚN EL NÚMERO DE PERSONAS (REF. MUTUAL DE SEGURIDAD)

Nº DE PERSONAS	m2 POR PERSONA	SUPERFICIE TOTAL (m2)
1	8,0	8
3	8,0	24
6	6,3	38
9	5,5	50
12	5,0	60
más de 12	5,0	-

**TABLA 2**  
CARACTERÍSTICAS GENERALES OFICINAS

TIPO	CARACTERÍSTICAS	ELEMENTOS BÁSICOS
OFICINA DE PLANOS	Es la oficina pequeña donde se guardan todos los planos y antecedentes documentales de la obra	Un escritorio Un mueble para mantener los planos Un tablero de dibujo o mesa
OFICINA JEFATURA	Generalmente es ocupada por el Administrador y el profesional a cargo	Escritorios y mobiliario Computadores e impresora Telefonía
OFICINA ADMINISTRATIVA	Utilizadas para el área de finanzas y recursos humanos u otros profesionales del proyecto	Escritorios y mobiliario Computadores e impresora Telefonía

FUENTE: De los autores

### A.2.2 Bodegas

Las consideraciones mínimas que se debe tener presente son:

Aprovechar los espacios al máximo de forma de tener manipulación mínima

- Su accesibilidad estará condicionada a su interferencia con la construcción a medida que ésta avanza
- Los materiales deben almacenarse de acuerdo al grado de protección que requieran (humedad, temperatura, explosión y otros)
- Los materiales deben ordenarse de manera que permitan una rápida selección, fácil inventario y rápida rotación

**TABLA 3**  
CARACTERÍSTICAS  
GENERALES SEGÚN  
EL DESTINO DE LA  
BODEGA

<b>CEMENTO, CAL Y YESO</b>	Deben tener protección contra la humedad y ventilación adecuada (características generales de la bodega y almacenamiento descritas en el Capítulo 3, pto. 3.1.1 - Cemento).
<b>ACERO (CANCHAS O BODEGAS)</b>	Deben ubicarse lejos de las bodegas principales por el peligro que encierra cuando las barras son retiradas. Deben tener piso con superficie plana y nivelada, éste además debe estar provisto de drenajes adecuados y separado del suelo. Si se usan estantes, éstos deben construirse de acuerdo con el peso de las barras.
<b>ENLOSADO Y MATERIALES ENVASADOS</b>	Deben ser techadas y cerradas. Tener piso de radier o madera. Tener espacios para una expedita clasificación, inspección y retiro.
<b>HERRAMIENTAS Y OTROS</b>	Deben tener capacidad para: Todas las herramientas manuales y mecánicas necesarias para la obra. Almacenamiento de los elementos de protección personal.

FUENTE: De los autores

- NCh 389 – Of 1972: Sustancias peligrosas. Almacenamiento de sólidos, líquidos y gases inflamables. Medidas generales de seguridad
- NCh 385 – of 55: Transporte de materiales inflamables y explosivos Decreto 132 del Ministerio de Minería: aprueba reglamento de seguridad minera
- NCh 383: Medidas de seguridad en el almacenamiento de explosivos

### A.2.5 Saneamiento básico

#### Servicios higiénicos

La cantidad y tipo de servicios higiénicos está estipulada en el Decreto Supremo N° 594 del Ministerio de Salud, el que aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.

**TABLA N° 5**  
DETERMINACIÓN  
DEL NÚMERO  
DE ARTEFACTOS  
SANITARIOS

N° de personas que laboran por turno	Excusados con taza de WC	Lavatorios	Duchas
1 - 10	1	1	1
11 - 20	2	2	2
21 - 30	2	2	3
31 - 40	3	3	4
41 - 50	3	3	5
51 - 60	4	3	6
61 - 70	4	3	7
71 - 80	5	5	8
81 - 90	5	5	9
91 - 100	6	6	10

FUENTE: Decreto N° 594 de 2019

#### OBSERVACIONES

El Decreto N° 594 establece, entre otras cosas:

- Cuando existan más de cien trabajadores por turno se agregará un excusado y un lavatorio por cada quince y una ducha por cada diez trabajadores, esto último siempre que la naturaleza del trabajo corresponda a la indicada en el inciso segundo del artículo 21°. En caso de reemplazar los lavatorios individuales por colectivos se considerará el equivalente a una llave de agua por artefacto individual.
- En los servicios higiénicos para hombres, se podrá reemplazar el 50% de los excusados por urinarios individuales o colectivos y, en este último caso, la equivalencia será de 60 centímetros de longitud por urinario.

### A.2.3 Talleres de trabajo

Características generales:

Deben ser galpones que cumplan con requerimientos mínimos como:

- Protección de lluvias y viento
- Ventilación
- Iluminación
- Capacidad para contener bancos y mesas de trabajo necesarios
- Contar con extintores y equipamiento de primeros auxilios

**TABLA 4**  
ELEMENTOS  
BÁSICOS A  
CONSIDERAR SEGÚN  
EL TIPO DE TRABAJO

ENFIERRADURA	CARPINTERÍA	MANTENCIÓN
Herramientas mínimas como: Grifas, cizallas Mesas y/o bancos Sierra circular Napoleón Dobladora Etc.	Mesas para armar elementos y bancos Sierras Martillos Serruchos Destornilladores Etc.	Soldadora Esmeril angular (de banco y transportable) Taladro Elementos básicos de trabajo y medición (destornillador, probador de corriente)

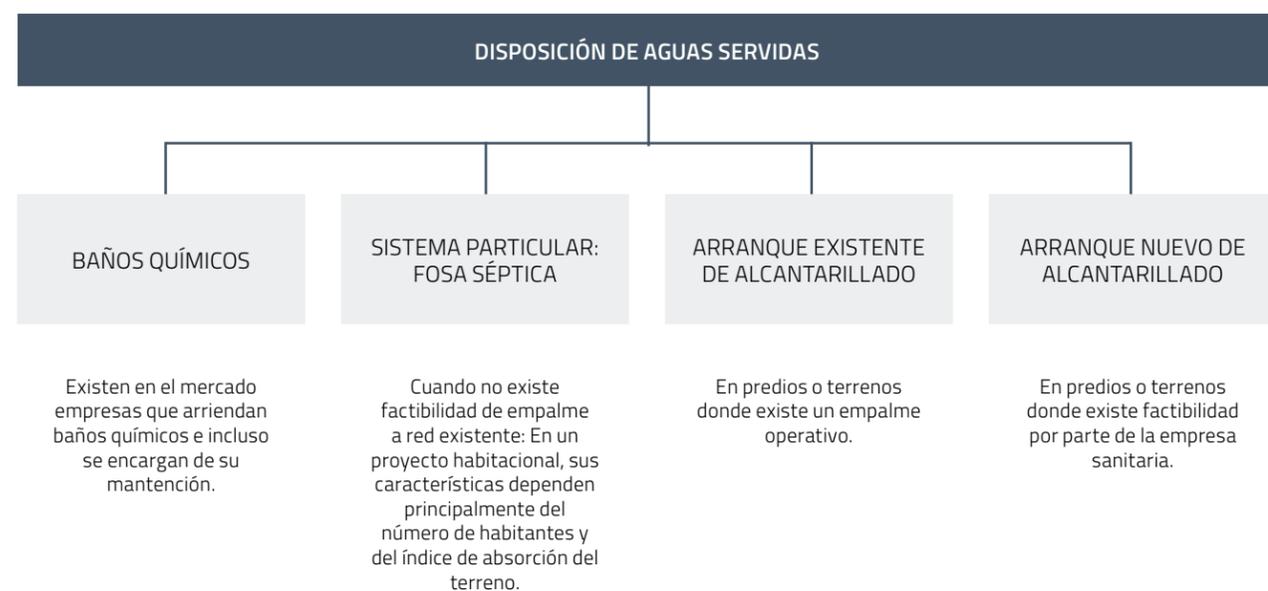
Fuente: De los autores

### A.2.4 Depósitos de combustibles y explosivos

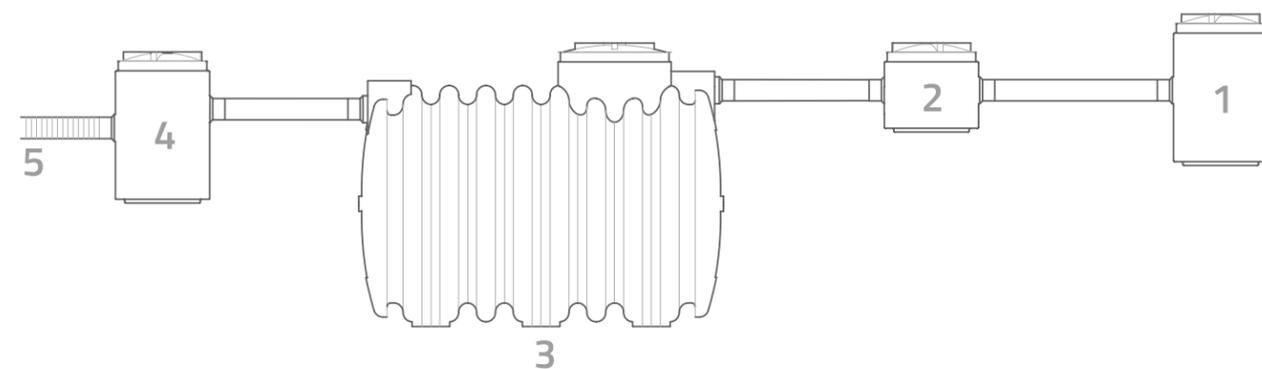
Si en obra se usarán estos elementos, su almacenamiento, transporte y manipulación debe cumplir con las normas:

- En aquellas faenas temporales en que por su naturaleza no sea materialmente posible instalar servicios higiénicos conectados a una red de alcantarillado, el empleador deberá proveer como mínimo una letrina sanitaria o baño químico, cuyo número total se calculará dividiendo por dos la cantidad de excusados indicados en el inciso primero del artículo 23. El transporte, habilitación y limpieza de éstos será responsabilidad del empleador.
- Una vez finalizada la faena temporal, el empleador será responsable de reacondicionar sanitariamente el lugar que ocupaba la letrina o baño químico, evitando la proliferación de vectores, los malos olores, la contaminación ambiental y la ocurrencia de accidentes causados por la instalación.
- Los servicios higiénicos y/o las letrinas sanitarias o baños químicos no podrán estar instalados a más de 75 metros de distancia del área de trabajo, salvo casos calificados por la autoridad sanitaria.
- Las aguas servidas de carácter doméstico deberán ser conducidas al alcantarillado público, o en su defecto, su disposición final se efectuará por medio de sistemas o plantas particulares en conformidad a los reglamentos específicos vigentes.

**FIGURA 2**  
DISPOSICIÓN DE AGUAS  
SERVIDAS



**FIGURA 1**  
SISTEMA PARTICULAR  
DEL TIPO FOSA  
SÉPTICA



- 1: Cámara desgrasadora: Retiene las grasas / jabones provenientes de los desechos de la cocina.
- 2: Cámara de inspección: Recibe las aguas del desgrasador y WC y conecta con la entrada de la fosa séptica.
- 3: Sistema de fosa séptica horizontal prefabricada.
- 4: Cámara distribuidora de drenes: Infiltra las aguas tratadas uniformemente en el terreno.
- 5: Tuberías de drenaje: Extiende las aguas servidas tratadas sobre geotextil, gravilla y otros elementos.

FUENTE: De los autores

### Vestuarios y comedores

**TABLA 6**  
CARACTERÍSTICAS  
VESTUARIOS Y  
COMEDORES

CARACTERÍSTICAS GENERALES
Deben regirse de acuerdo a disposiciones del decreto 594 del Ministerio de Salud
CONDICIONES MÍNIMAS RECOMENDADAS
<p><b>VESTUARIOS</b> Deben disponerse en locales cerrados y protegidos de las lluvias</p> <p><b>COMEDORES</b> Serán en lo posible ventilados, limpios e iluminados, dispuestos con mobiliario y equipamiento de cocina Estarán aislados de las áreas de trabajo y de fuentes de contaminación Estarán habilitados para evitar el ingreso de vectores que puedan contaminar los alimentos</p>

FUENTE: De los autores

## Servicios de primeros auxilios

**TABLA 7**  
RECOMENDACIONES  
PARA PRIMEROS  
AUXILIOS

RECOMENDACIONES SEGÚN EL TIPO DE OBRA	
	OBRAS DE ENVERGADURA
Es recomendable tener un recinto destinado exclusivamente a la atención de heridos y enfermos. Dicho recinto estará dotado de todos los elementos de primeros auxilios.	
	OBRAS CORRIENTES
En obras donde no se cuenta con el recinto mencionado, es necesario mantener un botiquín con implementos para atención de primeros auxilios.	

FUENTE: De los autores

### ATENCIÓN A HERIDOS

Cuando las lesiones excedan la capacidad de atención, se deberá informar o trasladar al organismo administrador o al Servicio de Salud más próximo.

#### A.2.6 Casa del cuidador

Eventualmente es necesario considerar una construcción provisoria destinada al cuidador o cuidadores de la obra.

### B. Cierros provisorios

Se pueden hacer cierros de distintas clases de materiales. De acuerdo con la «ORDENANZA GENERAL», deben tener una altura no inferior a 2 m, si se requieren. Deben ser autosoportantes, tal que aseguren su permanencia hasta el término de la obra y además asegurar la independencia de esta.

En el caso de cierros sobre la acera pública, estos deben hacerse conforme a la Ordenanza general título 5, Capítulo 8.

**TABLA 8**  
TIPOS Y  
CARACTERÍSTICAS  
DE CIERROS

ALGUNOS TIPOS Y SUS CARACTERÍSTICAS	
CIERROS DE MADERA	
<p><b>Entablado horizontal apoyado en postes de madera</b></p> <p>Madera generalmente usada</p> <p><b>Entablado:</b> Tablas de 1x4" a 1x6" de pino. "Tapas" de pino de espesores 3/4" y anchos variables; más económicas, de bordes irregulares y cantos muertos.</p> <p><b>Postes</b> Cuartones de pino de 3x3" o rollizos de eucaliptus. Los postes van enterrados a unos 50 cm de profundidad. Hay casos en que los agujeros se rellenan con hormigón pobre. Éstos generalmente se disponen a distancias de 1,6 m entre ellos o bien cada 3 m. En este último caso, el entablado debe arriostrarse, por ejemplo: colocando una tabla intermedia.</p>	
CIERROS DE HORMIGÓN VIBRADO	
<p>Tienen un costo más alto que los cierros de madera Son de colocación rápida, recuperables y en general su montaje lo hacen los mismos fabricantes Se usan en general cuando van a quedar en forma definitiva, ya sea en sitios industriales, terrenos agrícolas, centros deportivos, conjuntos habitacionales, y otros Consisten en pilares prefabricados de hormigón armado vibrado, de secciones y largos variables que alojan placas del mismo material Pueden o no llevar hebras de alambre de púas en la parte superior</p>	
CIERROS DE MALLAS METÁLICAS	
<p>Su costo es bastante más bajo que los anteriores, pero tienen el inconveniente de ser menos seguros Se usan cuando se tienen que cercar recintos muy grandes, en sectores no urbanos Las mallas van entre cuarterones de pino (3x3") o rollizos de eucaliptus, a distancias aproximadas de 3 m Generalmente se ocupan hebras de alambres de púas en la parte superior</p>	

## C. Porterías y portones

**TABLA 9**  
RECOMENDACIONES  
PARA PORTERÍAS Y  
PORTONES

RECOMENDACIONES	
PORTERÍAS	PORTONES
Su ubicación se hará de acuerdo a las vías de circulación que enfrenten, a fin de instalar las señalizaciones que requiera la faena.	Es recomendable tener un solo portón de salida, para tener un mayor control contra robos.

## D. Letreros

Su dimensión y ubicación deberán garantizar una rápida lectura.

En la leyenda va indicado el tipo de obra y la individualización de la empresa, de acuerdo a la reglamentación propia del dueño de la obra.

## E. Instalaciones provisorias

Durante la etapa de instalación de faenas, se solicitan empalmes provisorios de agua potable y electricidad para la ejecución de la obra. Se propone una serie de recomendaciones y procedimientos en las tablas siguientes.

### E.1 Empalme provisorio de agua potable

**TABLA 10**

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
PERSONA QUE SOLICITA	La solicitud la puede efectuar: Profesional de la construcción Ingeniero, Constructor Civil, Arquitecto Instalador autorizado por el organismo fiscalizador de instalaciones sanitarias (de agua potable y alcantarillado) Puede ser un particular asesorado por un profesional
LUGAR DE SOLICITUD	Empresa concesionaria de Agua Potable y Alcantarillado correspondiente a la zona
SOLICITUD	Se realiza una solicitud a través de la web o presencialmente mediante un formulario disponible en las oficinas, solicitando el empalme provisorio La solicitud del empalme involucra el diámetro del "arranque" (tuberías) y el diámetro del medidor de agua potable (MAP)
CARACTERÍSTICAS GENERALES	Para solicitar el empalme se deben estimar los consumos y gastos que se utilizarán, tales como: Consumos de trabajadores (se pueden estimar como 50 litros/persona/día) Consumos de ejecución (riegos, preparación de hormigones, curado y otros. Se puede estimar como 10 litros/m <sup>2</sup> /día)

FUENTE: De los autores en base al Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado (RIDAA)

## E.2 Empalme provisorio de electricidad

**TABLA 11**

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
PERSONA QUE SOLICITA	La solicitud la puede efectuar: Profesional de la construcción Ingeniero, Constructor Civil, Arquitecto Instalador autorizado por el SEC Puede ser un particular asesorado por un profesional
LUGAR DE SOLICITUD	Empresa concesionaria eléctrica correspondiente a la zona
SOLICITUD	Se presenta el proyecto, junto con los antecedentes requeridos, a través de la página web o presencialmente; dicho trámite se denomina TE1: Declaración de Instalaciones Eléctricas Interiores (provisorio en caso de instalaciones provisorias y definitivo en el resto) Con dicho certificado, junto con una declaración jurada ante notario de dominio de propiedad, más un certificado de número o permiso municipal (si corresponde) otorgado por la Dirección de Obras Municipales respectiva, se tramita el empalme en la empresa eléctrica correspondiente a la zona
COBRO	Dentro del cobro por parte de la empresa correspondiente, está su instalación y su posterior retiro. El cobro depende de la potencia requerida y de la distancia al poste o cámara desde donde se hará el empalme

FUENTE: De los autores en base a NCh elect. 4/2003: Electricidad instalaciones de consumo en baja tensión

### E.2.1 Características de los empalmes

Para su determinación se deben tener antecedentes de los consumos que se necesitarán. El empalme se pide de acuerdo con la potencia requerida en KVA.

#### Empalme trifásico:

Consumo de maquinarias (grúas, betoneras, elevadores, ascensores y otros)

Su voltaje es de 380 volts.

#### Empalme monofásico:

Alumbrado y herramientas

Su voltaje es de 220 volts.

Ambos pueden ser aéreos o subterráneos, siendo los aéreos sacados del poste más cercano que indique la empresa eléctrica y los subterráneos sacados de las cámaras que se indique.

El empalme consiste en una acometida (líneas de unión que van desde el poste o cámara al medidor), el medidor y una línea de unión del medidor al tablero.

## PROGRAMA DE TRABAJO

*Previo a la construcción de la obra, debe efectuarse una programación de actividades, basada en las condiciones reales imperantes. Para la realización de esta partida se toma como referencia el programa de trabajo indicado en la Etapa 1 del punto 1.2. de este capítulo y se redefine de acuerdo con las necesidades de la obra. Este programa debería considerar una estructura de descomposición del trabajo, lo que permita tener claridad y orden en torno a las distintas actividades que se deben realizar para la ejecución exitosa del proyecto.*

TEMAS  
TRATADOS

- 1.5.1. Características generales
- 1.5.2. Técnicas de programación

### 1.5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

#### MATERIALIZACIÓN

Se deben definir metas y objetivos específicos.

Se debe definir el método de trabajo y el método constructivo. Esto implica la selección de equipos y maquinarias a utilizar, materiales y otros.

Se debe realizar un ordenamiento secuencial de las actividades a través del tiempo, asignándoles fechas a las mismas, con el objeto de llevar a cabo lo propuesto.

#### IMPORTANCIA

Del programa de trabajo se desprende la eficiencia que se pueda lograr en una obra, implicando así mayores o menores costos.

Se confirmará, o no, la distribución de los recursos necesarios definidos previamente a nivel de presupuesto del proyecto.

Se debe medir control de avance en función de dar cumplimiento a los plazos del proyecto.

El programa de trabajo, en conjunto con la programación detallada y los gastos generales del proyecto, deberán tener suficiente flexibilidad para permitir variaciones debidas a condiciones del contexto.

### 1.5.2 TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN

Existen varios métodos como los mencionados a continuación; la gran mayoría de ellos se realiza en torno a programas computacionales que permiten simular distintos escenarios anticipándose a posibles contratiempos durante el período de ejecución:

#### CPM (CRITICAL PATH METHOD)

Establece secuencia de actividades. Se confecciona para programar la obra y determinar la trayectoria crítica para la ejecución de las actividades.

#### SISTEMA PERT (PROGRAM EVALUATION AND REVIEW TECHNIC)

Evolución del sistema CPM, en que se le da un enfoque probabilístico a la duración de las actividades.

#### DIAGRAMA DE BARRAS O CARTA GANTT

Se confecciona generalmente a partir de un CPM o Pert, su función es fijar las fechas reales de ejecución y controlar el avance de la obra.

No indica interrelación de actividades.

No se puede establecer cuáles son las actividades críticas para la duración del proceso.

#### PROGRAMACIÓN RÍTMICA

Aplicable a elementos de tipo repetitivo.

#### LÍNEA DE BALANCE O LOB

Orientada a las necesidades de realización de actividades y entrega de unidades completas. Conocimiento del número de tareas de cualquier tipo, necesarias a realizar para entregar unidades terminadas en función del tiempo.

Este conjunto de sistemas de programación, en la actualidad se utilizan en base a distintos programas computacionales que permiten visualizar la línea completa asociada al período de ejecución del proyecto, facilitando el análisis, además de que permiten el cruce de esta programación, con el costo del proyecto.

## RECEPCIÓN FINAL DE LA OBRA

*Una vez terminada la obra, o cuando se encuentra bajo la definición de “Obra gruesa habitable” según la Ordenanza general de urbanismo y construcción, se tramita en la Dirección de Obras Municipales respectiva el certificado de recepción definitiva.*

### TEMAS TRATADOS

- 1.6.1. Requisitos generales
- 1.6.2. Documentos que deben presentarse
- 1.6.3. Recepción definitiva

### 1.6.1 REQUISITOS GENERALES

- No puede habilitarse ninguna obra sin el certificado de recepción. La Dirección de Obras Municipales podrá autorizar que se habilite parte de un edificio, si las circunstancias así lo ameritan.
- No puede solicitarse la recepción hasta que la obra se encuentre totalmente terminada, salvo el caso en que sea posible aplicar dicha recepción, a una sección de ella que pueda habilitarse independientemente.
- No puede solicitarse ni efectuarse la recepción final de la obra en sectores urbanos, si no estuviera recibida la urbanización del barrio o población en que estuviera ubicada.

### 1.6.2 DOCUMENTOS QUE DEBEN PRESENTARSE

Junto con la solicitud de recepción definitiva se debe acompañar un legajo completo de antecedentes -tal como se ejecutaron estas instalaciones- y los certificados de los técnicos o profesionales responsables e inscritos (si corresponde) en el registro correspondiente:

**TABLA 12**  
DOCUMENTOS  
REQUERIDOS  
COMO BASE EN  
DISTINTOS TIPOS  
DE INSTALACIÓN

TIPOS DE INSTALACIÓN	DOCUMENTOS A PRESENTAR
Agua potable y desagües	Certificado emitido por la empresa concesionaria correspondiente
Eléctrica y gas	Copia de la declaración de la instalación, con la constancia de acuso de recibo de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles
Calefacción, agua caliente y aire acondicionado	Certificado emitido por la autoridad que corresponda, y a falta de ella, la de un instalador para instalaciones de menor escala
Redes y elementos de telecomunicaciones	Si procede, se deben presentar los planos correspondientes y el aviso de las instalaciones

FUENTE: De los autores en base a Ordenanza general de urbanismo y construcción y procedimientos de las concesionarias

- a) Informe del constructor o de la empresa o profesional distinto del constructor, según corresponda, en que se detallen las medidas de gestión y de control de calidad adoptadas durante la obra y la certificación de su cumplimiento.
- b) Certificados de ensaye de los hormigones empleados en la obra, de acuerdo con las normas oficiales.
- c) Declaración de si ha habido o no cambios en el proyecto aprobado. Si los hubiese habido, deberán adjuntarse además los respectivos documentos actualizados en los que se indiquen las modificaciones introducidas.
- d) Certificados de ejecución de obras de urbanización emitidos por los servicios respectivos, si corresponde.

### OBSERVACIONES:

El propietario o administrador responsable de un edificio de uso público, sea de dominio fiscal o particular en que puedan reunirse 50 personas o más, deberá entregar al cuerpo de bomberos respectivo, una vez efectuada la recepción definitiva, un plano del edificio con indicación de los grifos, sistemas de alumbrado, calefacción y otros que sea útil conocer en caso de incendio.

### 1.6.3 RECEPCIÓN DEFINITIVA

Presentados los documentos, profesionales de la Municipalidad respectiva realizan una inspección a la obra, constatando que ésta fue efectuada de acuerdo con los planos del proyecto y el permiso de edificación. Si todos los certificados están en regla, se le otorga al propietario la recepción definitiva.

# 2.

## CONSTRUCCIÓN

---

- 2.1. Introducción
  - 2.2. Obra gruesa
  - 2.3. Estucos de mortero de cemento
  - 2.4. Impermeabilizaciones
  - 2.5. Instalaciones
  - 2.6. Pavimentos de hormigón
- 



## INTRODUCCIÓN

*La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones clasifica los edificios como:*

- Clase A: Construcciones con estructura soportante de acero. Entrepisos de perfiles de acero o losas de hormigón armado.
- Clase B: Construcciones con estructura soportante de hormigón armado o con estructura mixta de acero con hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado.
- Clase C: Construcciones con muros soportantes de albañilería de ladrillo confinado entre pilares y cadenas de hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado o entramados de madera.
- Clase D: Construcciones con muros soportantes de albañilería de bloques o de piedra, confinados entre pilares y cadenas de hormigón armado. Entrepisos de losas de hormigón armado o entramados de madera.
- Clase E: Construcciones con estructura soportante de madera. Paneles de madera, de fibrocemento, de yeso cartón o similares, incluidas las tabiquerías de adobe. Entrepisos de madera.
- Clase F: Construcciones de adobe, tierra, cemento u otros materiales livianos aglomerados con cemento. Entrepisos de madera.
- Clase G: Construcciones prefabricadas con estructura metálica. Paneles de madera, prefabricados de hormigón, yeso cartón o similares.
- Clase H: Construcciones prefabricadas de madera. Paneles de madera, yeso cartón, fibrocemento o similares.
- Clase I: Construcciones de placas o paneles prefabricados. Paneles de hormigón liviano, fibrocemento o paneles de poliestireno entre malla de acero para recibir mortero proyectado.

*Las clases de construcción recién señaladas, salvo que el proyecto de estructuras señale otra cosa, tienen las siguientes restricciones:*

- Las construcciones Clase C no pueden tener más de 4 pisos, las losas de hormigón armado sólo pueden reemplazarse en el suelo del último piso de edificaciones de hasta 3 pisos y la altura libre de piso a cielo no puede exceder de 5 m.
- Las construcciones Clase D, G, H e I, no pueden tener más de 2 pisos y la altura libre de piso a cielo no puede exceder de 2,60 m.
- Las construcciones Clase F no pueden tener más de un piso y su altura libre máxima es de 3,5 m.
- Las clases D y E se aceptan como pisos superiores de construcciones clase C o D, siempre que no se sobrepase la altura permitida.

Si bien hay muchos aspectos comunes a todas las edificaciones, este Capítulo se enfoca primordialmente a las construcciones clases B, C y D; es decir, construcciones en hormigón y albañilería de ladrillos y bloques de hormigón.

## OBRA GRUESA

*El propósito de este ítem es indicar las etapas constructivas más relevantes de las obras, y ciertas características específicas o mínimas de las mismas.*

- 2.2.1 Trazado o replanteo en el terreno
- 2.2.2 Excavaciones
- 2.2.3 Mejoramiento del suelo
- 2.2.4 Emplantillado
- 2.2.5 Fundaciones de hormigón
- 2.2.6 Sobrecimientos
- 2.2.7 Rellenos
- 2.2.8 Pilares, columnas y machones
- 2.2.9 Muros de hormigón armado
- 2.2.10 Muros de albañilería de ladrillos cerámicos y bloques huecos de hormigón de cemento
- 2.2.11 Cadena
- 2.2.12 Vigas y dinteles
- 2.2.13 Losas de hormigón armado
- 2.2.14 Radieres

### 2.2.1 TRAZADO O REPLANTEO EN EL TERRENO

Básicamente consiste en marcar en el terreno las líneas de las futuras fundaciones de acuerdo a los planos del proyecto.

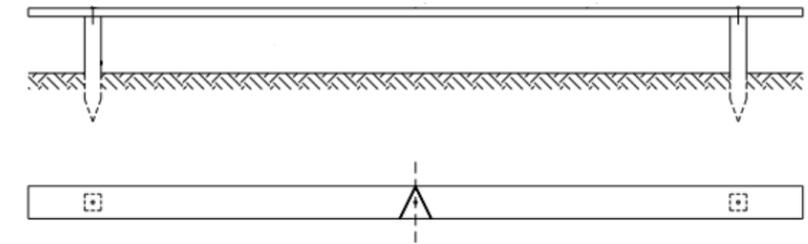
#### A) MATERIALIZACIÓN DE LOS EJES DE LA OBRA

Lo primero que se debe hacer en todas las obras, es verificar las longitudes reales del terreno con respecto a las medidas del plano.

Después, hay trabajos preliminares tendientes a la preparación del terreno para la explanación y adecuación de la zona demarcada en los planos o indicada por el Interventor. Consiste en limpiar y despejar el área de árboles, arbustos, (si es necesario, se solicitarán los permisos ante las entidades competentes) y todos los materiales extraños que obstaculicen las labores posteriores, transportándolos a botaderos aprobados, y tomando las medidas de seguridad adecuadas para proteger las zonas vecinas.

La primera tarea al replantear un edificio es establecer un eje principal de referencia para todo el replanteo. El eje principal coincide muy a menudo con la alineación de la fachada, que es la línea que delimita el paramento exterior del edificio. A partir de este eje (principal) se trazarán los ejes definitivos colocando tablaestacas en el perímetro del terreno y a partir de estas se colocarán hilos de referencia. Marcados los ejes, el replanteo de cualquier elemento estructural será realizado en forma sencilla. Un ejemplo de tablaestaca se presenta en Figura 2.1.

FIGURA 2.1  
TABLAESTACA



Fuente: M. Olortegui. Manual de construcción de edificios

Para trazar o verificar ángulos rectos; se debe marcar en una cuerda tramos de 3, 4 y 5 metros o sus múltiplos o submúltiplos, para luego unir los extremos y así formar un triángulo rectángulo en el lugar. Para verificar ángulos rectos se usa la escuadra, haciendo que sus bordes coincidan con las líneas o con los hilos del ángulo que se está verificando.

Dependiendo del tipo de obra a ejecutar, la exactitud requerida y su magnitud o extensión, se emplearán equipos de mayor precisión a las herramientas comunes (nivel de manguera, nivel de burbuja, huinchas de acero y otros), tales como el nivel de anteojo y el taquímetro o teodolito, el cual puede ir con accesorios como distanciómetros, brújulas, usados por un topógrafo.

#### B) MATERIALIZACIÓN DE LA ALTURA O NIVEL DE REFERENCIA

Es necesario establecer una altura o nivel de referencia para la cota cero especificada, la que normalmente corresponde al nivel del piso terminado que está un poco más alto que el terreno. Este punto de referencia lo fija un topógrafo.

A partir de este punto base, en obras menores se traslada la altura de referencia al interior de la obra mediante nivel de manguera y se marca en varias estacas; lo ideal es que quede la marca a 1 m sobre el nivel de piso terminado (NPT).

Mayor precisión y rapidez se obtiene con instrumentos, como nivel óptico o láser, taquímetro o teodolito, los que deben ser empleados por un topógrafo.

## 2.2.2 EXCAVACIONES

Las excavaciones se realizan a mano, a máquina o ambas. El método depende básicamente del volumen y tipo de material a excavar, del acceso en obra para que operen maquinarias y de los costos involucrados. En todo caso, el uso de un sistema u otro debe estar acorde al método constructivo elegido al hacer la programación de obras.

Ninguna excavación hecha a máquina puede llegar al sello de fundación. Los últimos 20 o 30 cm deben ser hechos en forma manual para que el terreno en que se apoyará la estructura no quede removido.

### FACTORES A CONSIDERAR

- A) Excavaciones con maquinarias – características
- B) Rendimientos aproximados
- C) Consideraciones de la ejecución
- D) Revisión de la superficie de fundación

### A) EXCAVACIONES CON MAQUINARIAS - CARACTERÍSTICAS

En Tabla 2.1 se muestra las características de los principales equipos usados en las excavaciones.

**TABLA 2.1**  
MAQUINARIA PARA EXCAVACIONES

Tipo de maquinaria	Características
Retroexcavadora	Es la máquina más usada en obras de edificación y tiene las siguientes características: <ul style="list-style-type: none"> <li>· Facilidad de excavación bajo su nivel de apoyo.</li> <li>· Adecuada para la ejecución de zanjas y fundaciones de subterráneos.</li> </ul>
Pala mecánica	Es adecuada para operar en espacios amplios. Puede excavar en terrenos blandos o duros, con rendimientos altos.
Bulldozer	Es una máquina que cava y empuja, prestándose para rebajar, despejar y nivelar terrenos irregulares. Además, es usada para esparcir tierras, hacer rellenos, en lugares donde hay depresiones.
Cargador frontal	Es una máquina utilizada para el transporte interno de material, carga el material, lo transporta y lo descarga.

## B) RENDIMIENTOS APROXIMADOS

### B1. Excavaciones

En Tabla 2.2 y Tabla 2.3 se presenta rendimientos de excavaciones tanto manuales como con maquinaria.

**TABLA 2.2**  
EXCAVACIONES A MANO

Tipo de excavación	Clase de suelo			
	Tierra suelta (a pala)	Tierra vegetal arcilla arenosa	Suelo compacto (picota)	Dureza media (chuzo)
	m3/hH	m3/hH	m3/hH	m3/hH
En explanación	2,5	1,7	0,7	0,6
En pozo o zanja de más de 0,6 m de ancho, y de 0 - 2 m de profundidad.	--	1,2	0,6	0,5
En zanjas entre 0,4 y 0,59 m de ancho, el tiempo aumenta un 40% y el rendimiento se reduce en 29%.				
En zanjas entre 0,3 y 0,39 m de ancho, el tiempo aumenta un 50% y el rendimiento se reduce en 33%.				
Excavaciones con agotamiento: a. La obra de mano aumenta en un 30% sobre la excavación ordinaria. b. Si además del agotamiento es necesaria la entibación, la obra de mano aumenta en un 50% sobre la ordinaria.				

Fuente: Academia.edu. Universidad de Valparaíso

**TABLA 2.3**  
EXCAVACIONES CON MAQUINARIA

Tipo de excavación	Rendimientos horas/m3			
	Arcilla semi dura	Arena densa	Grava suelta	Roca
Excavación a cielo abierto Manual	1,937	1,226		
Excavación a cielo abierto	0,121	0,081		
Excavación de sótanos, hasta 2 m	0,120	0,080	0,084	0,300
Excavación de sótanos, más de 2 m	0,141	0,084	0,088	0,330
Excavación de zanjas y pozos	0,383	0,200	0,220	0,573

Fuente: <http://www.chile.generadordeprecios.info/>

## B.2 Transporte de materiales esponjados

- A pala: se recomienda una distancia máxima de 4 m y una altura máxima de 1 m
- A mano: bolón desplazador 1 m<sup>3</sup>/hH
- Carretilla: la velocidad es de 3 km/h y la capacidad efectiva de la carretilla de 90 lt es de 65 lt. En Tabla 2.3 se muestra una estimación del rendimiento con el empleo de carretilla

**TABLA 2.3**  
RENDIMIENTOS  
PARA TRANSPORTE  
EN CARRETILLA

Distancia media de transporte (m)	Carga, descarga y transporte (m <sup>3</sup> /hH)
10	2,0
20	1,6
30	1,4
40	1,2
50	1,1
60	1,0
Material esponjado	

Fuente: E. Guzmán. Curso elemental de edificación

## C) CONSIDERACIONES PARA LA EJECUCIÓN

Antes de iniciar la excavación es necesario identificar en el sitio por dónde pasan las redes existentes de servicios. Si es necesario remover alguna de estas instalaciones se deberán desconectar todos los servicios antes de iniciar el trabajo respectivo y proteger adecuadamente las instalaciones que van a dejarse en su lugar. También se hará un estudio de las estructuras adyacentes para determinar y asumir los posibles riesgos que ofrezca el trabajo.

El profesional a cargo debe controlar la correcta ejecución de las excavaciones y tomar medidas con anticipación a su realización en el caso de excavaciones para subterráneos.

### C.1) Control de la ejecución

Debe haber especial preocupación por el control:

- De la disposición del material extraído: los bordes de la excavación deben quedar limpios.
- De las dimensiones de la excavación: se debe controlar el ancho y profundidad de acuerdo a los planos y especificaciones técnicas.
- Del sello de fundación: las fundaciones deben descansar sobre superficies horizontales y no removidas, excepto en rellenos estructurales. Dependiendo de la topografía del terreno, se puede hacer escalonadas, pero siempre dejando el sello de fundación horizontal.

### C.2) Disposiciones especiales para excavaciones de subterráneos

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones para las excavaciones de subterráneos indica:

- Antes de iniciarse las excavaciones para subterráneos adyacentes a la vía pública, el constructor dará cuenta a las empresas distribuidoras de gas, de electricidad, de agua potable, de alcantarillado, de teléfonos y demás que tengan servicios subterráneos, de los trabajos que va a ejecutar, a fin de que éstas tomen las precauciones necesarias para evitar entorpecimientos en sus servicios.
- El constructor a cargo de la obra deberá velar por que las excavaciones se realicen conforme al proyecto de estructuras y su correspondiente mecánica de suelos y tomar las medidas necesarias para evitar cualquier riesgo a los peatones, tales como cierros de resistencia adecuada, señalizaciones, iluminación de emergencia u otras.
- Cuando las excavaciones alcancen un nivel igual o inferior al de los cimientos de las propiedades vecinas, el constructor deberá adoptar las precauciones necesarias para evitar cualquier perjuicio. En estos casos, se deberá adjuntar informe de un ingeniero civil en el cual se indicarán las medidas que se deberán adoptar para no afectar estructuralmente las edificaciones vecinas.

## D) REVISIÓN DE LA SUPERFICIE DE FUNDACIÓN

La revisión de la superficie de fundación debe ser realizada según lo establecido en las especificaciones, o por un especialista mecánico de suelos. En las especificaciones viene estipulada la calidad del suelo de fundación y las medidas a tomar si éste no es adecuado (mejoramiento del suelo).

### 2.2.3 MEJORAMIENTO DEL SUELO

El mejoramiento del suelo debe ser realizado de acuerdo a lo establecido en planos y especificaciones técnicas u otros documentos del proyecto.

#### A) GENERALIDADES

Si el suelo no es apto para fundar, debe realizarse un mejoramiento.

El tipo de mejoramiento y el procedimiento constructivo debe ser el estipulado en las especificaciones o el que establezca el especialista.

A título de orientación, en B, se indican algunos tipos de mejoramientos.

La descripción detallada de los tipos de suelos y de los equipos de compactación se presenta en el Capítulo 7 de este Manual.

## B) TIPOS DE MEJORAMIENTOS – CARACTERÍSTICAS GENERALES

### B1) Estabilizado compactado

Son suelos buenos como estabilizados mecánicos:

- Mezcla bien graduada de grava, arena y finos de poca o ninguna plasticidad
- Suelos gruesos sin finos
- Gravas y arenas limosas o arcillosas, con un porcentaje de finos de hasta aproximadamente un 10%.

El material que se emplee como relleno debe cumplir con los requisitos impuestos en las especificaciones. Después de realizar, debe controlarse la compactación.

Generalmente se exige:

- Capacidad de Soporte CBR (NCh1852)  $\geq$  que 40%.
- Densidad compactada  $\geq$  95% de densidad máxima seca según Proctor Modificado (NCh1534).

### B2) Hormigón pobre

Se utiliza una dosis de 50 a 100 kg de cemento por m<sup>3</sup> de hormigón. Generalmente se compacta con pisón plano manual.

## 2.2.4 EMPLANTILLADO

Su ejecución se debe realizar de acuerdo a planos y/o especificaciones. El emplantillado tiene las siguientes características:

- Cama de hormigón pobre de no más de 170 kg de cemento/m<sup>3</sup>, que se coloca sobre el terreno de fundación para proporcionar a las armaduras una superficie de apoyo limpia, adecuada y horizontal.
- Espesor debe ser el estipulado en los planos y/o especificaciones, variando normalmente entre 5 y 10 cm.

## 2.2.5 FUNDACIONES DE HORMIGÓN

Sus dimensiones, forma, dosificación y refuerzo, si corresponde, deben ser los establecidos en planos y especificaciones.

## A) CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones indica que los edificios de carácter definitivo tendrán fundaciones de hormigón armado, de albañilería, de pilotes u hormigón y establece:

- Profundidad: La profundidad mínima de los cimientos de hormigón o de albañilería será de 0,60 m, debiendo penetrar éstos, a lo menos, 0,20 m en las capas no removidas del terreno, siempre que éste sea capaz de soportar las tasas previstas.
- Espesor: Ningún cimiento podrá tener un espesor menor que el del muro que soporte, incluso sus salientes estructurales. El espesor mínimo de los cimientos de hormigón será de 0,20 m y el de los de albañilería de 0,30 m. Cabe destacar que el ancho de la pala es de aproximadamente 30 cm.
- Dosis mínima: La dosificación mínima del hormigón simple en cimientos será de 170 kg de cemento por m<sup>3</sup> de hormigón elaborado, sin contar el material desplazador que pueda emplearse.

La misma OGUC indica:

Los cimientos deberán descansar, en general, sobre superficies horizontales.

La excavación para cimientos, excepto en roca, se profundizará hasta un nivel tal que se obtenga una protección segura contra los efectos del agua superficial y de las heladas.

En terrenos húmedos, o en los que existan aguas subterráneas a poca profundidad, se dispondrán capas aislantes a prueba de capilaridad o se construirán drenes, si la Dirección de Obras Municipales lo estimase necesario, para impedir que la humedad ascienda por los muros de los edificios o que el agua subterránea socave las fundaciones.

## B) RECOMENDACIONES DE BUENA PRÁCTICA

### B.1. Dosificación de fundaciones simples.

- Tamaño máximo del árido: 40 mm.
- Si el ancho es mayor a 50 cm usar hasta un 15% de bolón desplazador del volumen de hormigón, siempre que su tamaño se limite a 1/3 del ancho de la fundación.
- Si el contenido de finos de tamaño inferior a 0,150 mm de arena, es menor a 5%, se recomienda emplear una dosis de cemento superior al mínimo de 170 kg/m<sup>3</sup> o considerar la incorporación de aire.

### B.2. Juntas de hormigonado.

- La ubicación de las juntas las debe definir el ingeniero estructural.
- En general se ubican en el centro de tramos de fundación entre pilares y se materializan mediante un molde vertical.
- Ver Capítulo3, punto 3.7.1 Preparación previa a la colocación.

### B.3. Curado.

- Para asegurar el buen curado del hormigón, se recomienda mantener húmedo el terreno adyacente a la fundación durante todo el período de curado.
- Ver Capítulo 3, punto 3.10 Curado.

## 2.2.6 SOBRECIMENTOS

Sus dimensiones, dosificación y refuerzo, si corresponde, deben ser los establecidos en planos y especificaciones.

### A) CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS

La OGUC indica que para terrenos cuya tensión admisible sea menor a 0,2 MPa, los sobrecimientos deben ser armados y emplear las secciones mínimas de armaduras que se presentan en Tabla 2.4.

Por otra parte, el ancho debe ser igual o mayor que el muro que soporta.

**TABLA 2.4**  
SECCIÓN  
MÍNIMA DE  
ARMADURAS

Número de pisos del edificio	Armadura, sección mínima
1 piso	2,8 cm <sup>2</sup>
2 pisos	5,0 cm <sup>2</sup>
3 pisos	7,8 cm <sup>2</sup>
4 pisos	11,0 cm <sup>2</sup>

Fuente: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones

### B) RECOMENDACIONES DE BUENA PRÁCTICA

- Altura: Recomendable mínimo 20 cm sobre el terreno natural
- Dosificación
  - Tamaño máximo: 40 mm
  - Dosis de cemento
    - 70 kg/m<sup>3</sup> si no son armados
    - 240 kg/m<sup>3</sup> si son armados
  - Resistencia: mínimo G17
- Curado. Ver Capítulo 3, punto 3.10 Curado

## 2.2.7 RELLENOS

Los rellenos se deben realizar de acuerdo a planos y especificaciones del proyecto.

### A) CARACTERÍSTICAS GENERALES

- En general se utiliza el mismo suelo de las excavaciones, si éste es apto, libre de materia orgánica y de la plasticidad adecuada y controlada.
- Se realiza en capas de 10 a 30 cm de espesor, humedeciéndolas y compactándolas adecuadamente. El espesor de la capa depende del equipo que se emplee en la compactación (Ver Capítulo 7, Mecánica de suelos).
- Rellenos mayores se hacen de acuerdo a instrucciones de estudios de mecánica de suelos.
- Se debe controlar la compactación de las capas mediante la medición de su densidad. Normalmente se exige una densidad mínima equivalente al 95% de la densidad máxima seca Proctor Modificado (Ver Capítulo 7, Mecánica de suelos). En caso de no cumplir, se debe continuar con la compactación hasta satisfacer la especificación.
- Cuando se trate de explanadas, los rellenos se pueden iniciar cuando están terminados los sobrecimientos. Si para su ejecución se usa compactación mecánica, es recomendable dejar un plazo mínimo de 7 días después de terminados los sobrecimientos. En todo caso, su inicio de ejecución lo establece el profesional a cargo y su materialización será de acuerdo a las especificaciones de la obra. Sobre este relleno va el radier.

### B) DATOS REFERENCIALES DE ESPONJAMIENTO Y ASENTAMIENTO DE LOS SUELOS

En Tabla 2.5 se presenta datos aproximados del esponjamiento que experimentan los suelos en la excavación y de la contracción de volumen que experimentan con la compactación.

**TABLA 2.5**  
ESPONJAMIENTO  
Y ASENTAMIENTO  
DE SUELOS

TIPO DE SUELO	% Esponjamiento sobre suelo natural	% Asentamiento sobre suelo esponjado
Arena y grava limpia y seca	7 a 15	7 a 13
Tierra y grava limpia mojada	9 a 18	8 a 15
Capa vegetal	11 a 20	10 a 16
Tierra común	20	16
Lodo	24 a 35	19 a 26
Arcilla con arena y grava	30 a 45	23 a 31
Arcilla blanda	35 a 55	25 a 26
Arcilla dura	42 a 50	30 a 33
Arcilla dura con piedras y raíces	38	38
Roca blanda	50	33
Roca dura muy partida	58	35
Roca dura partida en grandes trozos	98	50
Caliche	20	8

Fuente: <https://es.slideshare.net/jopacaro/68337371-coeficientesdeesponjamiento>

## 2.2.8 PILARES, COLUMNAS Y MACHONES

Su disposición, dimensiones, refuerzo y dosificación deben ser los establecidos en planos y especificaciones.

### A) CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS

Para edificios de albañilería, no sometidos al cálculo estructural y de hasta dos pisos, la OGUC indica:

- Los pilares de hormigón armado se colocarán en las intersecciones de los muros.
- Si la distancia entre estas intersecciones excede de 1,8 veces la altura del piso o si es mayor de 6 m, se colocarán pilares intermedios.
- Si no se dispone losa superior, las dimensiones de los pilares intermedios se justificarán por el cálculo.
- El hormigón de los pilares, con sus armaduras previamente colocadas, se colocará después de construida la albañilería.
- El menor ancho del pilar tiene que ser mayor o igual al espesor del muro.
- En el sentido del muro, la dimensión mínima del pilar es de 20 cm, excepto en las albañilerías de bloques que puede ser de 15 cm, pero siempre mayor o igual al espesor del muro.
- La dosis mínima de cemento es 255 kg cem/m<sup>3</sup>.
- Las secciones mínimas de los pilares y de las armaduras se indican en Tabla 2.6.
- Los estribos se harán con barras de 6 mm de diámetro, a lo menos, y se colocarán a distancia no superior a 0,20 m uno de otro.

**TABLA 2.6**  
SECCIONES MÍNIMAS DE PILARES

Piso	Sección del pilar	Sección armadura de pilares	
		Aislados	No aislados
1°	400 cm <sup>2</sup>	4,50 cm <sup>2</sup>	3,20 cm <sup>2</sup>
2°	400 cm <sup>2</sup>	6,80 cm <sup>2</sup>	4,50 cm <sup>2</sup>

Fuente: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones

### B) RECOMENDACIONES DE BUENAS PRÁCTICAS

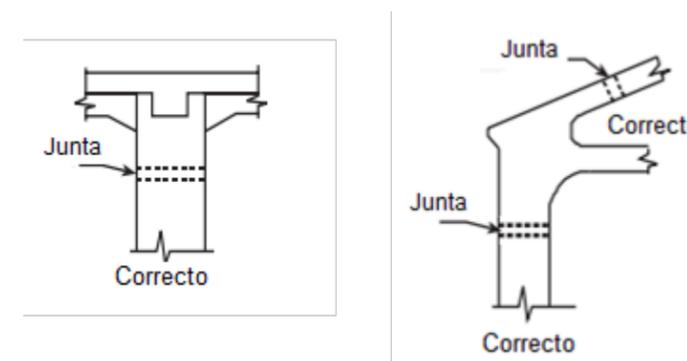
#### B1) Moldajes

- Se debe tomar la precaución de limpiar la superficie antes de colocar los moldajes.
- Estos además deberán permitir una buena limpieza de la junta de hormigonado.

#### B2) Juntas de hormigonado

- Ver Capítulo 3, punto 3.7.1 Preparación previa a la colocación.
- La junta debe ser horizontal.
- La ubicación de las juntas debe definirlas el ingeniero estructural. A manera de ejemplo en Figura 2.2 se muestra una junta típica, ubicada 20 a 30 cm más abajo del nivel inferior de los elementos horizontales o inclinados que se apoyan sobre éstos.
- A nivel inferior, debe quedar al pie del sobrecimiento.

**FIGURA 2.2**  
JUNTAS DE HORMIGONADO EN PILARES



Fuente: NCh170.Of85

#### B3) Compactación, curado y desmolde

Ver los puntos correspondientes en el Capítulo 3.

## 2.2.9 MUROS DE HORMIGÓN ARMADO

Sus dimensiones, dosificación y refuerzo deben ser los establecidos en planos y especificaciones.

### A) CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS

La dosis mínima de cemento es 240 kg cem/m<sup>3</sup>.

La resistencia mínima corresponde a un hormigón G17 (17 MPa medida en probeta cilíndrica).

### B) RECOMENDACIONES DE BUENA PRÁCTICA

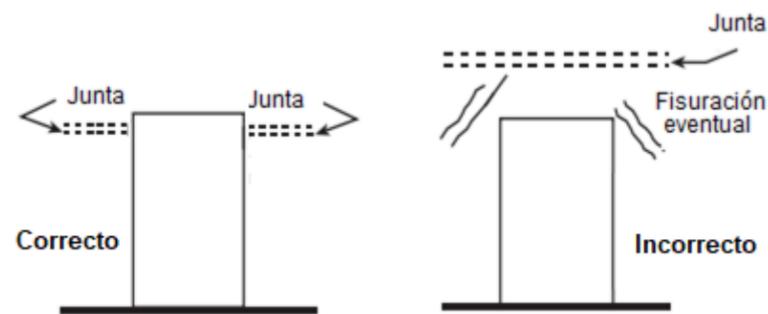
#### B1) Moldajes

Se debe tomar la precaución de dejar limpio antes de colocar los moldajes. Estos además deberán permitir una buena limpieza de la junta de hormigonado.

## B2) Juntas de hormigonado.

- Ver Capítulo 3, punto 3.7.1 Preparación previa a la colocación.
- La junta debe ser horizontal.
- La ubicación de las juntas debe definirlas el ingeniero estructural.
- En general se ubican 20 a 30 cm más abajo del nivel inferior de los elementos horizontales o inclinados que se apoyan sobre éstos. A nivel inferior debe quedar al pie del sobrecimiento. En vanos de muros, debe quedar a un mínimo de 10 cm más abajo del nivel superior del vano, como se muestra en Figura 2.3.

**FIGURA 2.3**  
JUNTAS EN VANOS DE MUROS



Fuente: NCh170.Of85 (reemplazada en 2016)

## B3) Armaduras

Aunque el proyecto no lo indique, es conveniente colocar barras separadoras (trabas,  $\phi$  6 mm) entre las mallas verticales, a razón de 4 trabas por m<sup>2</sup> como mínimo.

## B4) Compactación, curado y desmolde.

Ver los puntos correspondientes en el Capítulo 3.

## 2.2.10 MUROS DE ALBAÑILERÍA

Los tipos de albañilerías (armada o confinada), los requisitos de los materiales (mortero, ladrillos y bloques de hormigón) se detallan en el Capítulo 6.

### A) ESPECIFICACIONES MÍNIMAS

Los espesores mínimos de los muros de ladrillos de confección manual, en albañilería confinada, se muestran en Tabla 2.7.

**TABLA 2.7**  
ESPESORES MÍNIMOS EN ALBAÑILERÍA CONFINADA

Piso	Espesor de los muros para ladrillos hechos a mano
1° (superior)	20 cm (exteriores)
	14 cm (interiores)
2° (inferior)	20 cm (exteriores) con losa de entepiso
	14 cm (interiores)
	20 cm sin losa de entepiso

Fuente: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones

Para ladrillos hechos a máquina, la capacidad resistente y el espesor mínimo deberán ser determinados por un laboratorio de ensaye autorizado. Dicho espesor mínimo no podrá ser inferior a 14 cm.

Los espesores fijados en el número anterior se aumentarán en el ancho de 1/2 ladrillo cuando la altura libre de los pisos exceda de 4 m.

Los vanos no podrán ocupar más del 50% de la longitud del muro si se adoptan los espesores mínimos indicados. Para mayores proporciones de vanos, se aumentará el espesor de los muros en el ancho de medio ladrillo.

En los edificios de albañilería de bloques, sólo se considerarán resistentes a los esfuerzos verticales y horizontales aquellos machones de albañilería cuya longitud sea igual o superior a media altura de piso.

Si la distancia entre vanos es inferior a 1/3 de la altura del piso, los machones intermedios de albañilería de ladrillo tendrán un espesor superior a 1/5 de su altura libre o se reforzarán con pilares de hormigón armado.

## 2.2.11 CADENAS

Sus dimensiones, dosificación y refuerzo deben ser los establecidos en planos y especificaciones.

### A) CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS

Para construcciones de hasta 2 pisos la OGUC indica que las cadenas de hormigón armado constituirán vigas insertadas en la albañilería a la altura de los suelos y de la techumbre y ligadas a los pilares correspondientes. Si no hay losa de hormigón las secciones mínimas de las armaduras son las que se presentan en Tabla 2.8.

**TABLA 2.8**  
SECCIONES  
MÍNIMAS DE  
ARMADURAS  
EN CADENAS

A la altura de:	Sección de armadura
Techumbre, cuando hay alero de hormigón armado	2,8 cm <sup>2</sup>
La techumbre, en los demás casos	3,2 cm <sup>2</sup>
Del suelo del piso superior	4,5 cm <sup>2</sup>
Las barras de armadura de las cadenas deberán empalmarse en sus extremos con un recubrimiento no inferior a 40 diámetros.	

Fuente: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones

El ancho de las cadenas será, a lo menos, igual al de los pilares, y su altura no será inferior a 0,20 m cuando sea necesario emplear acero de 12,7 mm de diámetro (1/2") y a 0,30 m cuando deba emplearse acero de 16 mm de diámetro (5/8") o más.

La distancia vertical entre dos cadenas consecutivas no podrá exceder de 5 m.

La dosis mínima de cemento para cadenas es de 255 kg cem/m<sup>3</sup> de hormigón.

## B) RECOMENDACIONES DE BUENA PRÁCTICA

### B1) Juntas de hormigonado

- Ver Capítulo 3, punto 3.7.1 Preparación previa a la colocación.
- En caso de producirse, debe consultarse al ingeniero estructural.

### B2) Compactación, curado y desmolde

Ver los puntos correspondientes en el Capítulo 3.

## 2.2.12 VIGAS Y DINTELES

Sus dimensiones, dosificación y refuerzo deben ser los establecidos en planos y especificaciones.

### A) CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS

Para los dinteles de viviendas de hasta dos pisos, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones establece:

Los dinteles de las puertas y ventanas en los muros de albañilería se constituirán con la cadena general o con una viga de hormigón armado que debe penetrar en la albañilería, a partir del interior

de la mocheta, en una longitud suficiente para transmitir las cargas sin exceder la fatiga admisible, y en ningún caso inferior a 0,30 m a cada lado del vano.

Las dimensiones y armaduras de los dinteles de más de 2 m de luz, o que estén sometidos a una carga concentrada, deberán justificarse por el cálculo.

La dosis mínima de cemento para dinteles es de 255 kg cem/m<sup>3</sup> de hormigón.

## B) RECOMENDACIONES DE BUENA PRÁCTICA

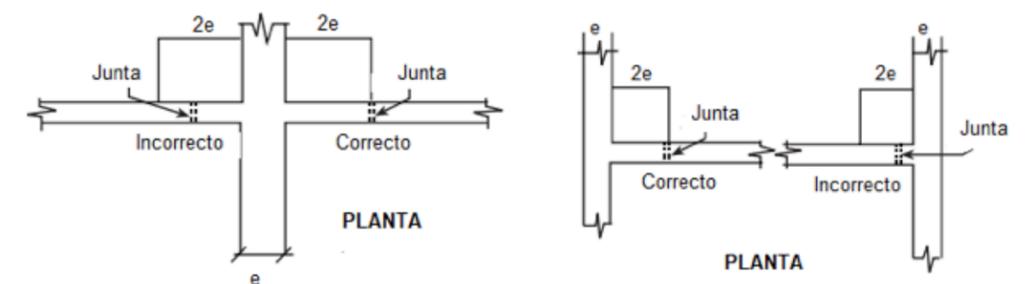
### B1) Moldajes

Los moldajes deben tener una contraflecha de construcción del orden de 1/500 de la luz del elemento. En elementos estructurales de tamaños importantes, es conveniente que el proyectista recomiende la contraflecha a usar (grandes volados, luces sobre 6 m y otros).

### B2) Juntas de hormigonado (Ref. Capítulo 3, pto. 3.5.1 Preparación)

- Ver Capítulo 3, punto 3.7.1 Preparación previa a la colocación.
- La ubicación de las juntas debe definirlas el ingeniero estructural.
- Es recomendable que, en cruces y encuentros de vigas, la junta se ubique en la viga que se hormigonará posteriormente, a una distancia igual al doble del ancho de la viga que se está hormigonando. Ver Figura 2.4

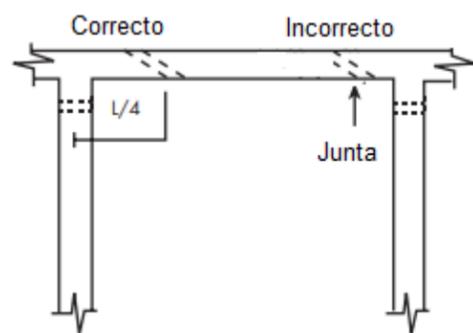
**FIGURA 2.4**  
JUNTAS DE  
HORMIGONADO  
EN VIGAS



Fuente: NCh170.Of85 (reemplazada en 2016)

- En Figura 2.5 se muestra una junta típica en que ella se ubica aproximadamente a una distancia de un cuarto de la luz, pasado el apoyo; con una dirección inclinada en 45°.

**FIGURA 2.5**  
JUNTAS DE  
HORMIGONADO EN  
VIGAS Y LOSAS



Fuente: NCh170.Of85 (reemplazada en 2016)

### B3) Compactación, curado y desmolde

Ver los puntos correspondientes en el Capítulo 3.

## 2.2.13 LOSAS DE HORMIGÓN ARMADO

Sus dimensiones, dosificación y refuerzo deben ser los establecidos en planos y especificaciones.

### A) RECOMENDACIONES DE BUENA PRÁCTICA

#### A1) Moldajes

Los moldajes deben tener una contraflecha de construcción del orden de 1/500 de la menor dimensión de planta. En elementos estructurales de tamaños importantes, es conveniente que el proyectista recomiende la contraflecha a usar (grandes volados, grandes losas y otros).

#### A2) Juntas de hormigonado

- Ver Capítulo 3, punto 3.7.1 Preparación previa a la colocación.
- La ubicación de las juntas debe definir las el ingeniero estructural.
- La recomendación general es que las juntas de hormigonado se ubiquen a aproximadamente una distancia de un cuarto de la luz, pasado el apoyo; con una dirección inclinada en 45°. Ver Figura 2.5

#### A3) Compactación, curado y desmolde

- Ver los puntos correspondientes en el Capítulo 3.
- En el caso de fisuras de retracción plástica por atraso en la aplicación del curado, se recomienda aplicar un platachado final apenas hayan aparecido éstas. Este tipo de fisuras no tiene importancia estructural.

## 2.2.14 RADIERES

El espesor, dosificación, material de la base y cualquier otra característica específica debe estar de acuerdo a planos y especificaciones.

### A) RECOMENDACIONES GENERALES

El radier está formado por 2 capas:

- Una capa de hormigón que constituye la superficie de tránsito y resiste los esfuerzos.
- Una base de material granular, que evita el ascenso de humedad.

A pesar de que no es un elemento estructural debe ser ejecutado correctamente para tener un producto de la calidad deseada.

### B) RECOMENDACIONES SOBRE LOS ELEMENTOS CONSTITUYENTES

En Tabla 2.9 se dan recomendaciones generales acerca de los constituyentes de un radier.

**TABLA 2.9**  
RECOMENDACIONES  
SOBRE LOS  
CONSTITUYENTES DE  
UN RADIER

Elemento	Recomendaciones
Terreno natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Preparación del terreno (Ver Capítulo 3, punto.3.7.1. Preparación previa a la colocación).</li> <li>▪ Eliminar la primera capa de suelo, entre 10 y 30 cm, generalmente compuesta por material orgánico.</li> <li>▪ Si el terreno es de mala calidad, debe reemplazarse por otro adecuado. Este relleno se debe colocar en capas delgadas, de no más de 10 cm de espesor, muy bien compactadas.</li> </ul>
Base	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se recomienda base granular de material grueso, adecuadamente compactado, de 10 cm de espesor.</li> <li>▪ Es recomendable colocar sobre la capa anterior una lámina de polietileno, con traslapes adecuados, mínimo 10 cm, para evitar el ascenso del agua por capilaridad.</li> </ul>
Hormigón	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se recomienda espesor mínimo de 7 cm (idealmente de 10 cm) de hormigón de grado G17.</li> <li>▪ El tamaño máximo del árido debe limitarse a 1/3 del espesor de esta capa, usar tamaño máximo de 3/4" a 1 1/2" a lo sumo, dependiendo del espesor.</li> <li>▪ Se recomienda el uso de aditivos que ayuden a mejorar la compacidad e impermeabilidad del hormigón, tales como plastificantes, hidrófugos u otros.</li> </ul>

## C) RECOMENDACIONES SOBRE LA EJECUCIÓN DE UN RADIER

En Tabla 2.10 se muestran algunas recomendaciones generales.

**TABLA 2.10**  
RECOMENDACIONES  
SOBRE LA  
EJECUCIÓN DE UN  
RADIER.

Proceso	Recomendaciones
Juntas de construcción	<ul style="list-style-type: none"><li>· Capítulo 3, pto. 3.7.1. Preparación previa a la colocación.</li><li>· Deben ser verticales, conformándolas mediante un molde provisorio.</li><li>· Los paños no deben tener más de 4 m en longitud o ancho.</li></ul>
Compactación	<ul style="list-style-type: none"><li>· Es importante que el hormigón sea adecuadamente compactado.</li><li>· Usar de preferencia regla o placa vibradora.</li><li>· En caso contrario usar vibrador de inmersión.</li></ul>
Terminación superficial	<ul style="list-style-type: none"><li>· Ver Capítulo 3, pto. 3.9. Tratamiento de la superficie.</li><li>· Se realiza con reglas avanzando en un movimiento alternativo de aserrado.</li><li>· La terminación local se hace por medio de llanas o platachos.</li></ul>
Curado	<ul style="list-style-type: none"><li>· Ver Capítulo 3, pto. 3.10. Curado.</li><li>· Generalmente mínimo una semana, para cemento corriente.</li></ul>
Puesta en servicio	<ul style="list-style-type: none"><li>· Se recomienda poner al servicio después de 2 días de completado el período de curado, para permitir que el hormigón se seque gradualmente.</li></ul>

## 2.3

### ESTUCOS DE MORTERO DE CEMENTO

*El propósito de este ítem es indicar los antecedentes más relevantes a considerar para la correcta ejecución de los estucos.*

*La clasificación de los morteros de revestimiento, los requisitos que deben cumplir y las especificaciones para los materiales componentes, se detallan en el Capítulo 6, Morteros y Albañilerías.*

#### TEMAS TRATADOS

- 2.3.1 Recomendaciones de colocación
- 2.3.2 Curado
- 2.3.3 Reparación de defectos

#### 2.3.1 RECOMENDACIONES DE COLOCACIÓN

Si la colocación de los estucos y los cuidados a tener no vienen indicados en el proyecto, se sugiere seguir las recomendaciones expuestas más adelante.

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A) Preparación de la superficie
- B) Colocación de las capas
- C) Terminación superficial
- D) Colocación en casos especiales

#### A) PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

La superficie debe estar limpia, sin material suelto ni restos de desmoldantes, con textura rugosa para conseguir adherencia y con humedad de acuerdo al tipo de superficie a recubrir.

Preferentemente se recomienda limpiar con agua a presión.

En Cuadro 2.1, se resume las recomendaciones de preparación de la superficie.

### CUADRO 2.1 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE A ESTUCAR.

Después de tener la superficie de hormigón limpia (lavada), la adherencia se puede conseguir: <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Colocando productos especiales en base a resinas acrílicas, los que dan excelentes resultados.</li><li>▪ Picando el hormigón con aproximadamente 70 a 100 puntos por metro cuadrado, de 3 - 5 mm de profundidad cada uno. Después limpiar con agua o aire a presión.</li><li>▪ Tratamiento de la superficie con un equipo mecánico (ej. escobilla de acero). Después limpiar con agua o aire a presión.</li></ul>
Una buena alternativa para lograr adherencia es emplear polietileno de embalaje, pegado al moldaje, con las burbujas hacia el interior.
Si hay restos de desmoldante, primero se debe aplicar un lavado con detergente.
En albañilerías hay que eliminar el polvo, sacar los puntos sobresalientes del mortero de pega o de los ladrillos y bloques y quitando las partes sueltas de las unidades o del mortero.
Las superficies de albañilería de ladrillo y de hormigón deben estar saturadas pero sin agua acumulada (brillo en la superficie). Conviene humedecerlas unas 12 horas antes.
Las superficies de bloques huecos de hormigón se humedecen superficialmente con pulverización de agua, inmediatamente antes de ser estucadas.

## B) COLOCACIÓN DE LAS CAPAS

En Cuadro 2.2 se dan las recomendaciones generales.

### CUADRO 2.2 COLOCACIÓN DE LAS CAPAS.

Se colocan elementos de referencia para lograr superficies planas y verticales. <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Se ubican tacos de madera por medio de lienzas aplomadas, adheridas al muro con pasta de cemento.</li><li>▪ Entre los tacos se ejecutan fajas o maestras dosificación igual a la primera capa, de aproximadamente 15 cm de ancho y separadas de 1 a 1,5 m.</li><li>▪ Las maestras sirven de guía para estucar. Una vez endurecidas se retiran los tacos.</li></ul>
Se coloca a lo menos 2 capas con un tiempo de espera entre la colocación de las capas de 24 horas. <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Cuando la superficie es muy dispareja, se procede primero a la colocación de una capa de regularización, de espesor máximo aproximado de 3 cm.</li><li>▪ La primera capa tiene un espesor de 1,5 cm. Es una capa de adherencia, debe ser resistente e impermeable. Esta capa se prepara con arena media.</li><li>▪ La segunda capa tiene un espesor de aproximadamente 4 - 8 mm. Es una capa de terminación, esta capa se prepara con arena fina.</li></ul>
La rectificación de la superficie se hace con una regla, la que va apoyada en las maestras. Esta regla se mueve de abajo hacia arriba, con un movimiento de vaivén.

## C) TERMINACIÓN SUPERFICIAL

La superficie se alisa con un platacho de madera, moviéndolo en círculos amplios (terminación a grano grueso).

Si se emplea arena fina y se termina con llana de acero se obtiene una superficie más lisa, la que se conoce como terminación a grano fino o grano perdido.

El afinado se logra agregando cemento a la capa superficial, a veces con pigmentos o tierra de color.

El cemento se espolvorea o se incorpora con la llana.

Para estucos con revestimientos tales como azulejos y cerámicos, se da la terminación con un platacho. Luego se aplica el adhesivo especialmente diseñado para azulejos y cerámicos.

## D) COLOCACIÓN EN CASOS ESPECIALES

Cuando los estucos se aplican sobre superficies de rigidez muy diferente a la del mortero, tales como tabiques o cuando las superficies a estucar se encuentran agrietadas, es conveniente aplicar un refuerzo de una malla metálica tipo "gallinero" o malla de metal desplegado, para evitar que éstos se agrieten.

También es conveniente el empleo de la malla cuando el espesor es muy grande. En particular cuando se estuca la parte inferior de vigas o losas.

Esta malla se fija a la superficie mediante clavos o amarras. Después se procede a la aplicación del estuco. Los estucos con fibras incorporadas reducen notablemente las fisuraciones, son muy usados en paneles de poliestireno expandido.

### 2.3.2 CURADO

El curado tiene gran importancia debido al tamaño de la superficie expuesta en relación al espesor. Una falla típica de un curado deficiente, tardío o defectuoso, es la aparición de fisuras reticuladas de retracción conocidas con el nombre de "craquelé".

## A) PERÍODO DE CURADO

- Ver punto 3.10 Curado.
- Debe iniciarse apenas la superficie lo permita, con lloviznas suaves, prosiguiendo con la aplicación de riegos continuos, o de arpilleras húmedas preferentemente.
- Período mínimo 7 días (idealmente 14 días).

## B) PROTECCIONES

Es necesario proteger los estucos de la acción del sol y del viento, para lo cual se recomienda el uso de cortinas de plástico, cortavientos, arpilleras húmedas u otro.

Especial precaución se debe tomar con los estucos interiores ya que los vanos aumentan la velocidad del viento al que están expuestos los estucos.

En muchos casos es recomendable el empleo de minifibras de polipropileno.

### 2.3.3 REPARACIÓN DE DEFECTOS

Todas las zonas agrietadas y/o aquellas en que existe mala adherencia del estuco deben ser reparadas. Para revisar la adherencia del estuco, se procede a golpear levemente la superficie con un mazo o martillo; si suena hueco, significa que hay falta de adherencia.

Para llevar a cabo la reparación, se recomienda:

- Cortar con herramientas, preferentemente mecánicas, en torno al perímetro defectuoso.
- Retirar el mortero defectuoso.
- Dar tratamiento de la superficie, tal como se explicó en el punto 2.2.1.
- Colocar el mortero de reposición con la misma dosificación que el original.
- Dar el curado adecuado, como se indicó en el punto 2.2.2. que antecede.

## 2.4

### IMPERMEABILIZACIONES

*La filtración de agua o humedad hacia una estructura, proveniente de distintas fuentes, tales como humedad proveniente del suelo, de las aguas lluvias, de los materiales de construcción, humedad producida por la condensación de la humedad ambiente y humedad accidental, como también la salida de agua de una estructura, como es el caso de estanques y depósitos en general, genera daños que afectan la funcionalidad, forma y estructura de los elementos, los que ineludiblemente se transforman en asumir mayores costos.*

#### TEMAS TRATADOS

2.4.1 Proyecto de impermeabilización

2.4.2 Integración entre las distintas partes a impermeabilizar

#### 2.4.1 PROYECTO DE IMPERMEABILIZACIÓN

Para que el sistema de impermeabilización sea efectivo, se debe contar con un proyecto de impermeabilización.

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A) Selección del sistema de impermeabilización (tipo y productos)
- B) Medidas a considerar para la correcta ejecución de los trabajos
- C) Cuidados, pruebas y protecciones posteriores a la colocación

#### A) SELECCIÓN DEL SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN (TIPO Y PRODUCTOS)

1. Se puede optar por una impermeabilización en la masa o superficial.
2. La adopción de ambos sistemas en forma complementaria, permite asegurar la estanqueidad de las estructuras, reduciendo los espesores de aplicación de impermeabilización superficial, redundando en una alternativa eficiente y económica.

3. La selección del tipo de producto de impermeabilización superficial depende de las condiciones particulares de la obra. Para esto es necesario hacer un análisis de:
  - Identificación del elemento a impermeabilizar y su función
  - Solicitaciones a que es sometido
  - Otros, tales como factor estético y facilidad de aplicación
4. Independientemente de lo anterior, la primera medida a adoptar es la ejecución de un hormigón de máxima compacidad, lo que redundará en una disminución notable de la permeabilidad, aumentando de esta forma la durabilidad de los elementos. Para esto se recomienda:
  - Baja razón agua/cemento (A/C)
  - Contenido adecuado de granos finos
  - Contenido adecuado de cemento
  - Empleo de aditivos
  - Adecuado manejo en obra

Lo anterior se resume en Cuadro 2.3

**CUADRO 2.3**  
HORMIGÓN DE MÁXIMA COMPACIDAD

Baja razón agua/cemento (A/C)	Contenido de finos	Adecuado manejo en obra
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Uso de aditivos plastificantes y superplastificantes para obtención de la trabajabilidad adecuada para el uso en obra del hormigón.</li> <li>· Limitar A/C de acuerdo al tipo de elemento y sus condiciones de exposición.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Uso de contenido adecuado de granos finos, incluido los aportados por el cemento, para lograr un buen relleno del esqueleto de los áridos del hormigón.</li> <li>· Cumplir con las dosis mínimas de cemento según las condiciones de exposición (Ver 3.15 Durabilidad del hormigón).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Prevenir segregación.</li> <li>· Adecuada colocación y compactación, evitando poros y nidos.</li> <li>· Buenas prácticas de terminación superficial (evitar fisuras y grietas).</li> <li>· Adecuado curado.</li> <li>· Reducción al mínimo de las juntas de hormigonado y provisión de adecuadas juntas de contracción.</li> <li>· Tratarlas ambas en forma correcta.</li> </ul>

## B) MEDIDAS A CONSIDERAR PARA LA CORRECTA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

Muchos de los trabajos de impermeabilización requieren mano de obra especializada y de contratistas calificados. La primera consideración es decidir si el trabajo se ha de realizar con personal propio o externo.

En Cuadro 2.4 se presentan algunas recomendaciones generales.

**CUADRO 2.4**  
EJECUCIÓN DE TRABAJOS DE IMPERMEABILIZACIÓN

Consideraciones generales
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Programar la actividad de impermeabilización entre las etapas de obra gruesa y terminaciones.</li> <li>· Los productos son colocados de acuerdo a planos y especificaciones técnicas.</li> <li>· Los productos son colocados de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.</li> <li>· Debe existir coordinación entre los distintos subcontratistas involucrados, de tal forma que se lleve a efecto la impermeabilización total de la estructura.</li> <li>· Exista control durante la ejecución de las obras.</li> </ul>
Medidas generales
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Acordonamiento en torno al sector impermeabilizado para evitar tránsito de personas ajenas a la faena.</li> <li>· Instalación de letreros indicando prohibición de transitar.</li> <li>· Colocación de las capas de protección, si corresponde, apenas las condiciones lo permitan (inmediatamente después de las pruebas de estanqueidad).</li> <li>· Tránsito de un mínimo de operarios sobre los sistemas de impermeabilización, instruyéndolos además de los cuidados a tener para no dañar las obras, por ejemplo, no dejar caer objetos pesados o con puntas.</li> <li>· Uso de los operarios de calzado con plantas lisas.</li> </ul>
Medidas particulares
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Calidad de la base, de acuerdo a especificaciones.</li> <li>· Calidad de los materiales. Usar sólo productos de fabricantes reconocidos.</li> <li>· Instalación de acuerdo a recomendaciones y especificaciones (número de capas, secuencia de aplicación entre las distintas capas, condiciones ambientales y otros).</li> <li>· Cuidar que se sellen todos los elementos que se van a impermeabilizar, como retornos, gárgolas y otros.</li> </ul>

## C) CUIDADOS, PRUEBAS Y PROTECCIONES POSTERIORES A LA COLOCACIÓN

1. Una vez realizada la impermeabilización se procede a su prueba. De acuerdo a la buena práctica, se recomienda lo indicado en Cuadro 2.5.
2. Comprobada la efectividad de la impermeabilización se debe cuidar su permanencia en el tiempo de forma que:
  - No se deteriore
  - No transitar sobre la impermeabilización sin protegerla
  - No sobreponer materiales o elementos punzantes (clavos, grava, gravilla u otros)
  - Quede protegida de agentes externos que puedan hacerla perder sus características iniciales o degraden el material (ver recomendaciones del fabricante).

**CUADRO 2.5**  
PRUEBAS A LA  
IMPERMEABILIZACIÓN

Superficie horizontal	Se realiza una prueba de estanqueidad formando una piscina y manteniendo el agua por un mínimo de 24 h, comprobando al final del período que no haya pérdida de agua
Superficie inclinada o vertical	Se mantiene un rocío por unas 12 horas contra la impermeabilización, para luego comprobar por la otra cara del elemento la no existencia de humedad

### 2.4.2 INTEGRACIÓN ENTRE LAS DISTINTAS PARTES A IMPERMEABILIZAR

No obstante que se tomen las medidas correspondientes para cada fuente de humedad, para que la "impermeabilidad" de una estructura o elemento constructivo sea efectiva, se debe considerar a ésta bajo la concepción de un "todo": cabe destacar que las medidas enunciadas no podrán tener la efectividad prevista si no existe un adecuado manejo en obra y una coordinación de las distintas partidas involucradas.

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A) Integración de los distintos elementos a proteger
- B) Impermeabilidad de cada elemento considerado auxiliar o detalle

#### A) INTEGRACIÓN ENTRE LOS DISTINTOS ELEMENTOS A PROTEGER

Debe existir una integración entre los distintos elementos a proteger, de tal forma que cada uno de éstos tenga una adecuada transición con el otro; como: empalmes muro-piso, retornos en general, juntas de dilatación y otros.

Permitir los movimientos estructurales y térmicos de la estructura es de vital importancia y/o que cada elemento se complemente con otro, por ejemplo, uso de drenajes, de pendientes de escurrimiento adecuadas, de aleros en obras de edificación u otros.

#### B) IMPERMEABILIDAD DE CADA ELEMENTO CONSIDERADO "AUXILIAR" O "DETALLE"

Se debe contemplar la impermeabilidad de cada elemento considerado "auxiliar" o "detalle", por ejemplo:

Sellos de pasadas de ductos en general, sello de todo tipo de juntas, sellos de las conexiones de los equipos de aire acondicionado, eléctricos y otros con la estructura.

## 2.5

### INSTALACIONES

*Se da el nombre de instalaciones al conjunto de obras necesarias para dotar de determinados servicios a los inmuebles. En obra, generalmente son efectuadas por subcontratistas. A continuación se tratarán las instalaciones que prestan servicios básicos (Alcantarillado, Agua potable, Electricidad, Gas).*

*Otras como teléfono, aire acondicionado, ventilación, ascensor, no serán tratadas por el alcance de este manual.*

#### TEMAS TRATADOS

- 2.5.1 Instalación de alcantarillado domiciliario
- 2.5.2 Instalación de agua potable
- 2.5.3 Instalación de electricidad
- 2.5.4 Instalación de gas

#### 2.5.1 INSTALACIÓN DE ALCANTARILLADO DOMICILIARIO

Referencia: Reglamento de Instalaciones domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado RIDAA.

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A) Características generales
- B) Requisitos que deben cumplir
- C) Características de las tuberías
- D) Ejecución
- E) Pruebas de la instalación domiciliaria
- F) Sistemas de fosa séptica y pozo absorbente
- G) Conexión a la red pública

## A) CARACTERÍSTICAS GENERALES

Rigen las mismas disposiciones que para la solicitud de empalme provisorio de agua potable; los antecedentes básicos, respecto a la solicitud de la instalación de alcantarillado domiciliario, se indican en la Cuadro 2.6.

**CUADRO 2.6**  
ANTECEDENTES BÁSICOS, RESPECTO A LA SOLICITUD DE LA INSTALACIÓN DE ALCANTARILLADO

Persona que solicita	La solicitud la puede efectuar: <ul style="list-style-type: none"> <li>Profesional de la construcción (Ingenieros civiles, Arquitectos, Ingenieros de ejecución en obras sanitarias, Ingenieros Constructores, Constructores Civiles).</li> <li>Cualquier profesional de la construcción habilitado para ello por disposiciones legales y reglamentarias vigentes.</li> </ul>
Lugar de Solicitud	La solicitud se efectúa en la empresa de agua potable y alcantarillado correspondiente a la zona; también llamados concesionarios sanitarios.
Características	Las obras necesarias para evacuar las aguas servidas domésticas del inmueble, desde los artefactos hasta la última cámara domiciliaria, inclusive, o hasta los sistemas propios de disposición.

Fuente: Propia en base a Reglamento de instalaciones domiciliarias de agua potable y de alcantarillado (RIDAA).

NOTA: Existen dos sistemas de evacuación de aguas servidas, con alcantarillado público y sin éste. Para este último caso referirse al punto F, Sistema de Fosa Séptica y Pozo Absorbente.

## B) REQUISITOS QUE DEBEN CUMPLIR

A continuación, en el Cuadro 2.7, se presentan las características básicas, y las definiciones de los componentes de una red de alcantarillado.

**CUADRO 2.7**  
REQUISITOS

UNIÓN DOMICILIARIA (UD)
<ul style="list-style-type: none"> <li>El tramo de la red pública de recolección comprendido desde su punto de empalme a la tubería de recolección, hasta la última cámara de inspección domiciliaria inclusive.</li> <li>Se coloca frente a cada propiedad, cuando se construye la red de alcantarillado público; por tanto para que exista dicho punto en el proyecto, la zona debe tener la factibilidad correspondiente.</li> <li>Interesa conocer su ubicación y profundidad, ya que con dichas variables, se define el resto de la instalación interior de alcantarillado.</li> <li>En caso de que la cota del recinto sea menor a la cota de la solera, es necesario recurrir a estanques de acumulación, que por medio de bombas, elevan las aguas a una cámara de inspección de altura adecuada para su conexión a la UD.</li> </ul>

### PENDIENTES

- Corresponde a la inclinación de un elemento lineal, natural o constructivo respecto de la horizontal.
- La pendiente de diseño de las tuberías que conduzcan materias fecales o grasosas podrá fluctuar entre un 3% y un 15%.
- La pendiente de la unión domiciliaria podrá estar comprendida entre un 3% y un 33%.
- Se podrá considerar una pendiente mínima de hasta un 1%, en aquellas tuberías ubicadas en losas o en otros casos especiales, debidamente justificados.

### DIÁMETRO DE TUBERÍAS

- Corresponde al tamaño indicado en la NCh1635 "Tubos de policloruro de vinilo (PVC) rígido para instalaciones sanitarias de alcantarillado domiciliario - Requisitos"; los de hormigón se fundamentan en la NCh184/1 "Conductos prefabricados de hormigón para alcantarillado - Parte 1: Tubos circulares de hormigón simple y tubos de base plana de hormigón simple y tubos de base plana de hormigón - Requisitos generales".
- Los diámetros son calculados por especialistas, en función de los requerimientos establecidos por el Reglamento de instalaciones domiciliarias de agua potable y de alcantarillado (RIDAA), los que básicamente se asocian al cumplimiento de descargas por gravedad, requerimientos de ventilaciones, extensión de los ramales y otros.
- En dicho Reglamento, en la sección de anexos, se aprecian los diámetros requeridos mínimos por artefacto, parámetro dependiente del uso que se le da a la instalación y que determina también las unidades de equivalencia hidráulica (UEH).
- De manera referencial, se indican los diámetros mínimos para distintos artefactos:
  - inodoros: 100 mm.
  - lavatorios y urinarios: 38 mm.
  - baños de tina, bidets, lavaplatos: 50 mm.

### IMPERMEABILIDAD

- Las tuberías deberán ser impermeables a los gases y líquidos. Toda boca de admisión tendrá un cierre hidráulico o sifón con carga mínima de 50 mm.

### REVISIÓN Y LIMPIEZA

- Se deben ejecutar cámaras de inspección en una serie de lugares del proyecto tales como:
  - Confluencia de ramales.
  - Puntos donde tuberías cambian de dirección o pendiente.
  - Donde tuberías cambian de diámetro o material.
  - La última cámara, que debe conectarse al colector público, debe ubicarse a una distancia máxima de 20 m; si excede dicha distancia, deberá proyectarse obligatoriamente una cámara adicional en la vía pública, previa autorización y en las condiciones que establezca la respectiva Municipalidad.
- En tuberías a la vista, se instalan registros (con tapas herméticas) en sitios donde se permita revisión y limpieza de cada tramo. Pueden tener forma de codo o tubo.

Fuente: Propia en base a Reglamento de instalaciones domiciliarias de agua potable y de alcantarillado (RIDAA).

## C) CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS

Las tuberías de una instalación de alcantarillado se pueden definir a partir de sus características respecto a su situación (bajo tierra y no enterrados), lo que permite además recomendar materiales y características de cada una de estas tipologías según se aprecia en Cuadro 2.8.

**CUADRO 2.8**  
TIPOS DE  
TUBERÍAS

Tuberías bajo tierra	Materiales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los más usados son de hormigón simple y de PVC.</li> </ul>
	Colocación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se traza en terreno su ubicación y se excavan zanjas (cuidando la profundidad y pendiente) y además considerando que la profundidad máxima a tajo abierto es de 1,5 m.</li> <li>Los tubos son colocados sobre una base adecuada de modo que no sean dañados por irregularidades de ésta (sobre arena, por ejemplo).</li> <li>Los tubos de PVC, luego de ser colocados y tras haber pasado las pruebas de forma exitosa, se recubren nuevamente por una cama de arena o por tierra exenta de piedras, por capas de 0,20 metros de espesor compactadas adecuadamente.</li> <li>Se colocan desde aguas abajo hacia aguas arriba. El extremo del primer tubo se hace coincidir con el paramento interior de la cámara de inspección.</li> </ul>
Conductos no enterrados (descargas verticales y ramales bajo losa)	Materiales	<ul style="list-style-type: none"> <li>El más usado es el PVC.</li> </ul>
	Ventilaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tubería o sistema de tuberías instaladas para proveer un flujo de aire hacia y desde el sistema de alcantarillado o para proporcionar una circulación de aire dentro del sistema a objeto de proteger los cierres hidráulicos de sifonaje.</li> <li>Tuberías generalmente verticales que conectan los puntos más altos de las canalizaciones con el exterior. Se establecerá, a lo menos, una tubería de ventilación principal, de diámetro nominal no inferior a 75 mm.</li> <li>Los tramos de avance horizontal en planta deberán efectuarse siempre en forma ascendente y la ventilación deberá sobresalir 60 cm sobre la techumbre en el punto de salida y 2,5 m en terrazas ubicadas en el último piso del edificio.</li> <li>Otros casos y requisitos vinculados a situaciones particulares se deben respetar en los aspectos indicados por el RIDAA.</li> </ul>

Fuente: Propia en base a Reglamento de instalaciones domiciliarias de agua potable y de alcantarillado (RIDAA).

**D) EJECUCIÓN**

- La red de alcantarillado puede ejecutarse en el momento de construir las fundaciones y sobrecimientos. Si se hace después, es conveniente dejar las pasadas de las canalizaciones. Todas las bocas de las canalizaciones deben permanecer tapadas hasta el final de las terminaciones -en función de disminuir la posibilidad de caída de residuos en la red-, y una vez colocado el pavimento, se instalan los artefactos.
- La ejecución la debe realizar un instalador autorizado o un contratista inscrito en los registros de instaladores de las empresas sanitarias correspondientes.

**E) PRUEBAS DE LA INSTALACIÓN DOMICILIARIA**

El sistema de cañerías de las instalaciones domiciliarias es sometido a un conjunto de pruebas y

verificaciones tendientes a asegurar su total impermeabilidad, buena ejecución y funcionamiento; toda instalación domiciliar de alcantarillado deberá ser absolutamente impermeable a gases y líquidos, y no podrá ponerse en servicio mientras no sea sometida a ellas, las características principales de las pruebas vigentes se presentan en Tabla 2.11.

**TABLA 2.11**  
CARACTERÍSTICAS  
DE LAS PRUEBAS  
ASOCIADAS A  
ALCANTARILLADO

Pruebas	Características
Primera prueba hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Antes de ser cubiertas las tuberías, se efectuará una prueba de presión hidráulica de 1,60 m de presión sobre la boca de admisión más alta durante un periodo mínimo de quince minutos.</li> <li>Las descargas con alturas superiores a dos pisos se fraccionarán por medio de piezas de registro, con el fin de ejecutar las pruebas con una presión no superior a la altura de estos dos pisos.</li> <li>La pérdida por filtración para las tuberías de hormigón simple no podrá ser superior a la indicada en el Anexo Número 9 del RIDAA. En otro tipo de tuberías no se aceptará tolerancia de filtración.</li> <li>Durante esta prueba, deberá efectuarse una revisión de las juntas mediante inspección visual para verificar que no filtren.</li> </ul>
Primera prueba de bola	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizada la prueba anterior, las tuberías de hormigón, horizontales de hasta 150 mm se someterán a una prueba de bola, cuyo objeto es verificar la existencia de costras en las juntas u otro impedimento interior. La bola con que deben efectuarse las pruebas tendrá una tolerancia máxima de 3 mm con respecto al diámetro de la tubería verificada.</li> </ul>
Primera prueba de luz	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para tuberías de hormigón y diámetro superiores a 150 mm, la prueba de bola se sustituirá por la prueba de luz.</li> <li>Esta prueba se efectúa instalando una fuente de iluminación adecuada, en una de las cámaras que delimitan el tramo de tuberías a probar. En la otra cámara, se instala un espejo que deberá recibir el haz de luz proveniente de la primera.</li> <li>Se realizará la prueba moviendo circularmente la fuente de iluminación en la sección inicial de la tubería, debiendo verificarse que la recepción de la imagen interior del tubo reflejada en el espejo sea redonda y no presente interrupciones durante el transcurso de la prueba. De no ser así, deberá rechazarse la prueba.</li> </ul>
Verificación del asentamiento y pendientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Después de practicar la prueba de presión hidráulica se rellenarán los huecos de las excavaciones debajo de las juntas de los tubos. En casos de tuberías de hormigón simple, estas juntas se rellenarán con hormigón pobre que cubra hasta la mitad del tubo.</li> <li>Antes de efectuarse el relleno de la excavación, deberá verificarse el asentamiento de la tubería y la pendiente indicada en el plano. Cuando proceda, también deberá revisarse la protección de hormigón de las tuberías.</li> </ul>
Segunda prueba hidráulica y de bola o de luz	<ul style="list-style-type: none"> <li>Una vez cubiertas las tuberías, deberán someterse nuevamente a una prueba hidráulica y de bola o de luz, en su caso, de la misma manera como se indicó anteriormente, a fin de garantizar el estado del sistema después del relleno de la excavación. En éstas, se incluirán los ramales auxiliares que se consulten en el plano.</li> </ul>

Prueba de humo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Esta prueba tiene por objeto garantizar la estanqueidad de las juntas y el funcionamiento satisfactorio de los cierres hidráulicos y ventilaciones, y debe ejecutarse cuando estén totalmente terminados zócalos y pisos, y estén colocados los artefactos en los ramales respectivos. Podrá admitirse la falta de uno o más artefactos que figuren como futuros en el plano, sin embargo, una vez que sean instalados deberán ser sometidos a la prueba respectiva.</li> <li>Todas las tuberías de descarga, incluso los ramales que recibe se someterán a una prueba de presión de humo, que se introducirá por la parte más alta de la canalización, debiendo colocarse previamente un tapón en la cámara de inspección correspondiente al canal de esa descarga. Si el ramal no tiene ventilación, el humo se introducirá por la boca de comunicación de la cámara. La prueba de humo será satisfactoria si durante cinco minutos no se observa desprendimiento de humo por las juntas, manteniendo una presión suficiente para hacer subir el agua de los sifones en 3 cm.</li> </ul>
Pruebas de cámaras de inspección	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las cámaras de inspección se someterán a una revisión de sus detalles, y en especial, a las sopladuras y otros defectos en sus estucos y afinados interiores.</li> <li>Se someterán, además, a una prueba de presión hidráulica con una presión igual a la profundidad de la misma cámara, debiendo permanecer el nivel de agua constante por un tiempo mínimo de cinco minutos.</li> </ul>

Fuente: Propia en base a Reglamento de instalaciones domiciliarias de agua potable y de alcantarillado (RIDAA).

En toda instalación domiciliar existente en que se introduzcan modificaciones, deberán repetirse las pruebas reglamentadas en las tuberías y cámaras de inspección que reciban los nuevos servicios o que hayan sufrido modificaciones. En estos casos, se podrán efectuar las pruebas sin remover los artefactos instalados.

Para la prueba de presión hidráulica, se utilizará una presión equivalente a la altura del piso; además, en esta prueba se aceptará una tolerancia de filtración hasta en tres veces superior a lo admitido en instalaciones nuevas. Si la filtración fuese mayor, se descubrirán las tuberías afectadas a fin de proceder a su reparación. En este último caso, al repetir la prueba de presión hidráulica, se retirarán los artefactos instalados a fin de efectuar la prueba de bola.

Efectuadas satisfactoriamente las pruebas anteriores, podrán reinstalarse los artefactos, después de lo cual se procederá a realizar la prueba de humo en la forma y condiciones indicadas precedentemente.

## F) SISTEMA DE FOSA SÉPTICA Y POZO ABSORBENTE

En lugares donde no hay red pública, se recurre a un sistema particular de eliminación de aguas, tales como los mencionados. En zonas donde no hay urbanización, el organismo fiscalizador de la disposición final de aguas servidas es el Servicio de salud.

La fosa séptica es una cámara cerrada capaz de retener por un período determinado las aguas servidas (24 horas generalmente). El pozo absorbente se construye para absorber las aguas que salen de la fosa y traspasarlas a capas permeables del terreno. Cada dos años se debe hacer una limpieza de la fosa.

## G) CONEXIÓN A LA RED PÚBLICA

Una vez terminadas las instalaciones, se presenta al servicio correspondiente un original y copia del proyecto definitivamente realizado, con las modificaciones que éste pudiera haber experimentado (si corresponde) y se solicita la conexión a la red pública.

### 2.5.2 INSTALACIÓN DE AGUA POTABLE

Referencia: Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado.

#### FACTORES A CONSIDERAR

- Características generales
- Requisitos que deben cumplir
- Materiales comúnmente usados en las redes de distribución

#### A) CARACTERÍSTICAS GENERALES

Son las obras necesarias para dotar de este servicio a un inmueble desde la salida de la llave de paso colocada a continuación del medidor o de los sistemas propios de abastecimiento de agua potable, hasta los artefactos.

En Cuadro 2.9 se presenta los antecedentes básicos.

**CUADRO 2.9**  
ANTECEDENTES BÁSICOS RESPECTO A LA SOLICITUD DE LA INSTALACIÓN DE AGUA POTABLE

Persona que solicita	La solicitud la puede efectuar: <ul style="list-style-type: none"> <li>Profesional de la construcción (Ingenieros Civiles, Arquitectos, Ingenieros de Ejecución en Obras Sanitarias, Ingenieros Constructores, Constructores Civiles).</li> <li>Cualquier profesional de la construcción habilitado para ello por disposiciones legales y reglamentarias vigentes.</li> </ul>
Lugar de solicitud	La solicitud se efectúa en la empresa de agua potable y alcantarillado correspondiente a la zona; también llamados concesionarios sanitarios.
Características	Son un conjunto de conducciones e instalaciones diseñadas y construidas para abastecer de agua a la propiedad y comprenden el arranque domiciliario, el medidor de agua potable y la instalación interior de la red.

Fuente: Propia en base a Reglamento de instalaciones domiciliarias de agua potable y de alcantarillado (RIDAA).

## B) REQUISITOS QUE DEBEN CUMPLIR

A continuación, en el Cuadro 2.10, se presentan las características básicas, y las definiciones de los componentes de una red de agua potable.

### CUADRO 2.10

REQUISITOS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE ALCANTARILLADO DOMICILIARIO DE LA INSTALACIÓN DE AGUA POTABLE

REQUISITOS GENERALES
<p>La instalación debe garantizar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· La preservación de la potabilidad del agua.</li> <li>· El suministro adecuado a cualquier artefacto, ciñéndose para ello a las normas chilenas, instrucciones de la Superintendencia y las prácticas corrientemente empleadas en ingeniería sanitaria.</li> <li>· Que tanto su diseño como los materiales empleados aseguren el buen funcionamiento y durabilidad de la instalación, durante la vida útil prevista del inmueble al cual va a servir.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>· El diámetro de tuberías lo establece el especialista por medio de métodos definidos en el RIDAA, calculando valores como gastos máximos instalados y probables, además de las pérdidas de cargas por singularidades de la red. Se utiliza la misma metodología para la red de agua potable fría y caliente.</li> <li>· La determinación del diámetro del medidor de agua potable (MAP) es uno de los aspectos más importantes de esta instalación, y se obtiene relacionando el consumo máximo diario y el gasto máximo probable.</li> <li>· El diámetro debe garantizar la menor pérdida de presión, en metros de columna de agua (mca), para que en el artefacto más desfavorable, el caudal máximo probable sea igual o superior a la reglamentaria (4 mca de acuerdo a la NCh 2485), después de considerar las pérdidas de carga. Para esto: <ul style="list-style-type: none"> <li>· Se deben considerar las pérdidas de carga del medidor y de la red.</li> <li>· La red pública entrega una presión mínima de 15 mca, a esta presión se le restan las pérdidas anteriores y el resultado debe ser mayor a 4 mca.</li> <li>· En forma referencial, el diámetro mínimo para una tubería es: <ul style="list-style-type: none"> <li>· Si alimenta un sólo artefacto: 13 mm</li> <li>· Si alimenta 2 o más en forma simultánea: 20 mm</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<p>Arranque domiciliario:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Es ejecutado por subcontratistas de la empresa de agua potable con cargo al propietario o bien por cualquier subcontratista inscrito en dicha empresa que el propietario subcontrate.</li> </ul>
<p>Medidores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Los medidores y remarcadores deben ser instalados de acuerdo con lo estipulado en las Normas Chilenas. Estos deben ser colocados en posición horizontal, salvo aquellos expresamente fabricados para ser colocados en otras posiciones.</li> <li>· Los medidores se instalarán junto a la línea oficial a la entrada del inmueble si es posible y en todo caso, en un lugar de fácil acceso y sin obstáculos para su lectura.</li> </ul>

Fuente: Propia en base a Reglamento de instalaciones domiciliarias de agua potable y de alcantarillado (RIDAA)

## C) MATERIALES COMÚNMENTE USADOS EN LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN

En nuestro país, los materiales utilizados para las redes de agua potable fría y caliente, se presentan en la Tabla 2.12.

### TABLA 2.12

MATERIALES UTILIZADOS EN REDES DOMICILIARIAS DE AGUA POTABLE

MATERIAL	OBSERVACIONES
Cobre	Adecuado para agua fría y caliente. Generalmente se usa tipo "L", es decir la tubería rígida; debido a su alta conductividad térmica, se debe tener en cuenta su protección mediante espuma de polietileno flexible – en cañerías a utilizar en redes de agua caliente.
PVC de alta presión	Normalmente utilizado en exteriores e instalaciones económicas.
Polipropileno	El polipropileno es más usado para el agua caliente. La clasificación de los tubos es en base a la presión nominal; es decir de clase 10, clase 16 y clase 20, expresadas en kg/cm <sup>2</sup> , a una temperatura de 20°C y con vida útil superior a 50 años.

Fuente: Propia en base a información de los proveedores.

### NOTAS:

- Las instalaciones de agua potable frecuentemente son embutidas, debiendo tomarse las precauciones de dejar las pasadas de los tubos en etapas tempranas del desarrollo de la obra.
- Todo edificio deberá cumplir, según su destino, con las normas mínimas de seguridad contra incendio contenidas en la OGUC, considerando protecciones pasivas y activas, donde el proyecto de agua potable deberá considerar un sistema de redes para la provisión de agua, que se denominará red de incendio (red húmeda y red seca). Mientras no exista una norma específica al respecto, estas redes deberán ser proyectadas de acuerdo con las disposiciones mínimas establecidas en el RIDAA.
- Toda instalación domiciliar de agua potable deberá ser absolutamente impermeable y no podrá ponerse en servicio mientras no sea sometida a una prueba de presión hidráulica que deberá cumplir las siguientes características:
  - Presión mínima de 10 kg/cm<sup>2</sup>, en el punto de mayor cota del tramo probado.
  - Las pruebas podrán efectuarse por tramos separados de longitud no inferior a 20 metros, según las características de la instalación, debiendo instalarse la bomba de prueba y el manómetro en el extremo inferior del tramo.
  - La duración de la prueba será de 10 minutos y durante este tiempo no debe producirse variación en el manómetro. Las pruebas correspondientes a equipos elevadores, estanques y accesorios consistirán en la verificación de su correcto funcionamiento por un período no inferior a dos horas.

- La bomba de prueba deberá instalarse siempre en el punto inicial de la alimentación del tramo a probarse.
  - El total de la tubería a probar comprenderá la instalación interior desde la llave de paso después del medidor hasta el extremo de las tuberías, antes de las piezas de unión de los artefactos.
- En caso de instalaciones con estanques superiores de acumulación, las tuberías serán sometidas a prueba desde la salida del estanque hasta el punto de unión con los artefactos de alcantarillado.

### 2.5.3 INSTALACIÓN DE ELECTRICIDAD

Referencia: NCh4 Elec. 4 / 2003: Electricidad: instalaciones de consumo en baja tensión.

#### FACTORES A CONSIDERAR

- Características generales
- Requisitos que debe cumplir
- Canalizaciones
- Ejecución

#### A) CARACTERÍSTICAS GENERALES

Rigen las mismas disposiciones que para la solicitud de empalme provisorio de electricidad, presentación de proyecto a SEC. (Ref. Capítulo 1, pto. 1.4).

Para solicitar el empalme, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- No debe existir deuda radicada en la propiedad donde solicites un nuevo empalme eléctrico.
- Debes contar con la documentación respectiva de la propiedad.
- Una vez entregados los documentos en la concesionaria, incluyendo el Trámite eléctrico 1 (TE1), la empresa realizará un estudio de factibilidad (pagado), para luego hacer cotización asociada a las características del empalme –mientras más obras se requieran, el costo será mayor-.

**CUADRO 2.11**  
ANTECEDENTES BÁSICOS, RESPECTO A LA SOLICITUD DE EMPALME DE ELECTRICIDAD EN BAJA TENSIÓN

Persona que solicita	· Su instalación o modificación puede ser solicitada por personas naturales, jurídicas o instaladores eléctricos autorizados por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.
Lugar de solicitud del empalme	· La solicitud se efectúa en la empresa concesionaria eléctrica correspondiente a la zona; tanto por vía presencial como por vía web.
Características	· La instalación eléctrica es el conjunto de canalizaciones e implementos destinados a la distribución y utilización de la energía eléctrica. · Existen diferentes tarifas asociadas a las características de consumo de los residentes, por lo que se sugiere realizar un estudio de ellos. · Puede ubicarse en el interior de los edificios como a la intemperie. · Se conecta a la red pública a través de un empalme y de su correspondiente medidor, en forma aérea, subterránea o mediante un sistema combinado. · En edificios de envergadura es recomendable contar con circuitos independientes para evitar falla general en caso de fallas locales. Estos son: alumbrado, fuerza y calefacción.

Fuente: Propia en base a Decretos, Leyes y Normas técnicas difundidas por la SEC.

#### B) REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR

A continuación, en Cuadro 2.12, se presentan las características básicas, y las definiciones de los componentes de una red eléctrica en baja tensión domiciliaria.

**CUADRO 2.12**  
REQUISITOS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE ELECTRICIDAD EN BAJA TENSIÓN DOMICILIARIA

Empalme
· Los más frecuentes son los con acometida aérea y subterránea, y en general no debe tener una longitud mayor a 30 m; los conductores –y sus características- que recorren dicha distancia corresponden a la línea general y deben cumplir secciones mínimas referentes a dicha distancia. · El empalme llega al inmueble a una altura aproximada de 3 m del suelo y sus conductores no deben pasar sobre los terrenos de una propiedad vecina.
Medidor
· Los equipos de medida de los empalmes se montarán en la fachada exterior de la edificación si ésta queda dentro del área del semicírculo conformado por el acceso a la propiedad, y 15 metros de radio; en caso contrario, se ubicarán en un punto próximo a la línea de edificación frontal, cumpliendo la exigencia establecida, y se montarán en una estructura instalada con este propósito. · Debe mantenerse una distancia mínima de 50 cm entre los medidores de electricidad, agua y gas. · Todas las características requeridas tanto en el empalme como en el medidor se indican en la NCh Elec. 12/87 "Empalmes aéreos monofásicos".

### Tableros

Existen de distintos tipos de acuerdo con la función y ubicación que tengan:

- Tableros Generales: Son los tableros principales de las instalaciones. En ellos estarán montados los dispositivos de protección y maniobra que protegen los alimentadores y que permiten operar sobre toda la instalación de consumo en forma conjunta o fraccionada.
  - Tableros Generales Auxiliares: Son tableros que son alimentados desde un tablero general y desde ellos se protegen y operan subalimentadores que energizan tableros de distribución.
  - Tableros de Distribución: Son tableros que contienen dispositivos de protección y maniobra que permiten proteger y operar directamente sobre los circuitos en que está dividida una instalación o parte de ella; pueden ser alimentados desde un tablero general, un tablero general auxiliar o directamente desde el empalme.
  - Tableros de Paso: Son tableros que contienen protecciones cuya finalidad es proteger derivaciones que por su capacidad de transporte no pueden ser conectadas directamente a un alimentador, subalimentador o línea de distribución del cual están tomadas.
  - Tableros de Comando: Son tableros que contienen los dispositivos de protección y de maniobra que permiten proteger y operar sobre artefactos individuales o sobre grupos de artefactos pertenecientes a un mismo circuito.
  - Centros de Control: Son tableros que contienen dispositivos de protección y de maniobra o únicamente dispositivos de maniobra y que permiten la operación de grupos de artefactos, en forma individual, en subgrupos, en forma programada o manual.
- Atendiendo a la utilización de la energía eléctrica controlada desde un tablero, éstos se clasificarán en:
- Tableros de Alumbrado.
  - Tableros de Fuerza.
  - Tableros de Calefacción.
  - Tableros de Control.
  - Tableros de Computación.

Observación: Los tableros deben regirse bajo la norma NCh4 Elec. 4 / 2003 en cuanto a forma, material, funcionalidad y otros aspectos.

Fuente: Propia en base a Decretos, Leyes y Normas técnicas difundidas por la SEC.

## C) CANALIZACIONES

Las canalizaciones eléctricas deben cumplir una serie de aspectos que se establecen en la NCh4, asociadas al número de conductores que deben ir en esa canalización y a las condiciones ambientales. Las canalizaciones eléctricas deben colocarse retiradas a no menos de 0,15 m de ductos de calefacción, conductos, ductos de escape de gases o aire caliente. En caso de no poder obtenerse esta distancia, la canalización deberá aislarse térmicamente en todo el recorrido que pueda ser afectada, además las canalizaciones eléctricas no podrán ubicarse en un conducto común con tuberías de gas o combustible, ni a una distancia inferior a 0,60 m en ambientes abiertos; las canalizaciones que se coloquen en entretechos deberán ejecutarse con conductores en tuberías. Ver Cuadro 2.13.

### CUADRO 2.13 CARACTERÍSTICAS Y MATERIALES ASOCIADOS A CANALIZACIÓN

Características	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Las canalizaciones eléctricas, compuestas de los ductos más los conductores, y cuya función es transmitir la energía eléctrica de un punto a otro, pueden ir a la vista, embutidas superficialmente (se alojan en una canal abierta en los muros) o entre las losas o pavimentos (para luego ser tapadas).</li> <li>· Las tuberías embutidas se deben limitar a tramos relativamente cortos, no van a más de 12 m de distancia, con cajas de derivación que permitan inspeccionarlas en caso de ser necesario.</li> <li>· De estas cajas de derivación salen ramales a los centros de las lámparas, enchufes e interruptores, así como proyectar futuras ampliaciones de la instalación.</li> </ul>
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Los materiales más usados son metálicos y plásticos (acero, acero galvanizado y PVC).</li> </ul>

Fuente: Propia en base a Decretos, Leyes y Normas técnicas difundidas por la SEC.

## D) EJECUCIÓN

Las canalizaciones se pueden efectuar durante la obra gruesa o entre ella y las terminaciones, si se efectúan después de construidas las panderetas o muros de ladrillos, debe ponerse especial cuidado, ya que si éstos son picados, se producen graves daños con los golpes; dicho rebaje debe hacerse de preferencia con máquinas eléctricas, considerando los porcentajes máximos y extensiones indicados por el especialista estructural.

Debe cuidarse la mantención de los ductos y de las cajas de distribución, para este efecto, éstos deben permanecer tapados durante el transcurso de la instalación.

En cada punto de alumbrado se dejan amarras de alambre de acero u otro soporte resistente para colgar las luminarias. Estas amarras se apoyan desde vigas o partes firmes y no de los ductos de la canalización eléctrica o la de otro servicio.

El alambrado se realiza generalmente cuando están terminados los estucos.

Después de ejecutado el alambrado, éste es revisado por el solicitante responsable de la instalación ante SEC. Para este efecto, se ejecuta una prueba sin corriente, de carácter provisoria, o con corriente.

SEC tiene la facultad de revisar la instalación eléctrica en todo el territorio nacional y durante cualquier etapa de su construcción.

### 2.5.4 INSTALACIÓN DE GAS

Referencias:

Decreto N° 66: "Aprueba reglamento de instalaciones interiores y medidores de gas".

Decreto N° 20: "Modifica reglamento de instalaciones interiores y medidores de gas".

## FACTORES A CONSIDERAR

- A) Características generales
- B) Gas de cañería
- C) Gas licuado

### A) CARACTERÍSTICAS GENERALES

El gas puede obtenerse, para la alimentación de una vivienda, de tres maneras:

- Desde una red pública: gas de cañería (gas de ciudad) y gas natural.
- Gas envasado: gas licuado.

En Cuadro 2.14 se presenta los requisitos para hacer la solicitud de instalación.

**CUADRO 2.14**  
ANTECEDENTES  
BÁSICOS, RESPECTO  
A LA SOLICITUD DE  
LA INSTALACIÓN DE  
GAS

Persona que solicita	Para los tres tipos de gas antes mencionados rige lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> <li>· Puede ser instalador autorizado por SEC (Superintendencia de Electricidad y Combustibles) o profesional del rubro autorizado.</li> </ul>
Lugar de solicitud	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Empresa de combustibles correspondiente a la zona.</li> </ul>
Solicitud y trámites	<ul style="list-style-type: none"> <li>· El instalador realiza un proyecto, acorde con las características del proyecto, los requerimientos del mandante, del trazado de planos y otros aspectos relevantes como la caída de presión permisible, longitud de la tubería y cantidad de accesorios, propiedades físicas del gas y factor de simultaneidad.</li> <li>· En el caso de construcción de casas, realiza la instalación correspondiente y luego se dirige a SEC, donde efectúa la declaración de los trabajos, en formularios de este organismo –para un proyecto habitacional pequeño, la base de dicho trámite está asociado al TC6 (Declaración de instalaciones interiores de gas)-. SEC por su parte realiza revisiones selectivas de los proyectos tramitados.</li> <li>· En el caso de construcción de edificios, previo a la ejecución de los trabajos, debe dirigirse a SEC y entregar un informe junto con un plano del proyecto. SEC por su parte efectúa revisión de todos estos proyectos.</li> </ul>

Fuente: Propia en base a Decretos 20 y 66.

## B) GAS DE CAÑERÍA

Es el que llega al proyecto por medio de cañerías subterráneas; las características se presentan en Cuadro 2.15.

**CUADRO 2.15**  
CARACTERÍSTICAS  
BÁSICAS DEL GAS DE  
CAÑERÍA

CARACTERÍSTICAS	
Matrices de distribución	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Van enterradas a una profundidad aproximada de 1,4 m. De ellas nace el empalme que entrega el gas hasta el medidor.</li> </ul>
Medidor	Su tamaño depende de: <ul style="list-style-type: none"> <li>· Consumo previsto para la instalación interior en m<sup>3</sup>/hr</li> <li>· Del número de artefactos</li> <li>· De la ubicación geográfica de la obra</li> <li>· Debe ir en un nicho ventilado</li> </ul>
CANALIZACIONES	
Canalizaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Las tuberías, sus uniones y llaves deben ser perfectamente estancas.</li> <li>· Las uniones de este tipo de tubos deberán ser del tipo roscadas, bridadas o soldadas. Las uniones soldadas de los tubos de cobre o acero deberán ser realizadas mediante soldadura fuerte, la que en el caso del acero no deberá contener más de 0,05 (%) de fósforo.</li> <li>· La soldadura deberá ser realizada con equipos apropiados, entre otros, oxipropano, oxiacetileno u otro similar, que permitan alcanzar la temperatura adecuada para obtener una soldadura fuerte y de la calidad requerida y por soldadores calificados por organismos competentes que para tal efecto establezca la SEC.</li> </ul>
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Los comúnmente usados son:</li> <li>· acero tipo B negro</li> <li>· acero galvanizado</li> <li>· cobre tipo "K" o normalmente "L"</li> </ul>
Ejecución	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Las tuberías de gas que se encuentren en contacto con tierra u otros materiales que pudieran corroerlas, deberán ser protegidas de algún modo apropiado contra la corrosión, revistiéndolas o envolviéndolas en un material inerte apropiado para tales aplicaciones.</li> <li>· En caso de instalarse tuberías bajo terreno natural, es decir, tierra sin pavimento, pasando a través de jardineras, arbustos, cultivos o áreas similares, deberán ser protegidas del daño físico, en su parte superior, por medio de ladrillos o mezcla de cemento pobre con una proporción mínima de 1:6 -una parte de cemento por seis de arena- según se detalla en la Figura 15 del Decreto 66.</li> <li>· Cuando hay cañerías conducidas por tierra en el exterior, se ubican a una profundidad mínima de 60 cm, sobre terreno compactado, para luego ser tapadas con ladrillos u hormigón pobre y, finalmente, material de excavación.</li> <li>· Las tuberías interiores van embutidas o a la vista.</li> <li>· Los artefactos se alimentan por arriba, ya sea a nivel de la losa o de los artefactos.</li> <li>· La instalación lleva una llave de paso general y otra antes de cada artefacto. Las tuberías verticales llevan una prolongación hacia abajo, de unos 20 cm (sifón) que permite acumular condensaciones y suciedades.</li> </ul>
Pruebas	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Terminadas las canalizaciones, se someten a una prueba de presión entre 15 y 60 minutos, con aire o gas inerte, hasta una presión máxima de 6 bar.</li> </ul>

Fuente: Propia en base a información de la SEC, Decretos 20 y 66.

## C) GAS LICUADO

### CUADRO 2.16

CARACTERÍSTICAS  
BÁSICAS DEL GAS  
LICUADO

CARACTERÍSTICAS
El suministro es por medio de balones de gas, los que pueden ser a granel superficiales o enterrados, o bien cilindros.
CANALIZACIONES
<ul style="list-style-type: none"><li>· De las mismas características al gas de cañería, con la salvedad que alimentan a los artefactos desde abajo.</li><li>· No llevan sifones.</li></ul> Se colocan llaves de paso a la salida de los cilindros y antes de cada artefacto.

Fuente: Propia en base a información de la SEC, Decretos 20 y 66.

## 2.6

### PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

*El propósito de este ítem es indicar los antecedentes más relevantes a considerar para la correcta ejecución de los pavimentos habitacionales y los pisos industriales.*

#### TEMAS TRATADOS

- 2.6.1 Pavimentos habitacionales
- 2.6.2 Pisos industriales

#### 2.6.1 Pavimentos habitacionales

Los pavimentos habitacionales deben realizarse de acuerdo a lo indicado en planos y/o especificaciones del proyecto.

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A) Pavimentos hechos in situ
- B) Pavimentos de elementos prefabricados

#### A) PAVIMENTOS HECHOS IN SITU

##### A.1 Procedimiento constructivo

Para la elaboración del hormigón referirse al Capítulo 3.

Una vez confeccionado el hormigón se vacía directamente a la cancha preparada, de preferencia, en el lugar donde quedará en forma definitiva, evitando la segregación. La cancha deber estar nivelada, limpia y humedecida, sin pozas de agua.

Al esparcir el hormigón se debe mantener un espesor uniforme con una pequeña sobrecarga de, aproximadamente, 2 cm delante de la cercha vibradora. La velocidad de avance de la cercha deberá regularse para asegurar una compactación adecuada y uniforme. Muchas veces es conveniente

complementar la compactación de la cercha con vibradores de inmersión en la zona cercana a los moldes.

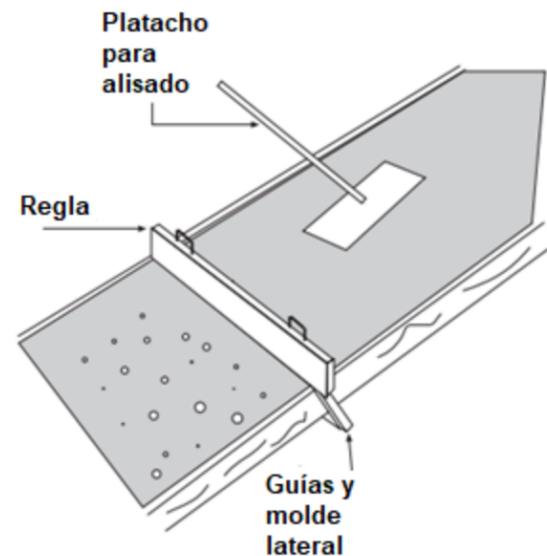
Si la compactación se realiza con vibradores de inmersión, la botella debe quedar completamente sumergida.

En obras pequeñas, comúnmente se utilizan reglas apoyadas en guías laterales, las que se hacen avanzar sobre el hormigón en un movimiento alternativo de aserrado. Dan la terminación, al mismo tiempo que rellenan huecos o puntos bajos.

## A.2 Terminación superficial

Después de pasar la cercha y/o la regla, se completa el alisado mediante platacho. Cada pasada de platacho se debe traslapar unos 5 cm respecto a la pasada previa. Ver Figura 2.6.

**FIGURA 2.6**  
PAVIMENTO  
CONFECCIONADO  
IN SITU



Fuente: Propia

Las operaciones de terminación "iniciales" deben realizarse lo antes posible, cuando exista poca agua de exudación. Éstas deben efectuarse con la mínima manipulación del hormigón, para evitar una película débil en la superficie producto de excesos de finos y agua que se acumulen sobre ella.

Las operaciones de terminación final deben postergarse, preferentemente, hasta que termine de exudar el pavimento para evitar que se produzcan fisuras plásticas, las cuales se pueden prevenir evitando corrientes de aire que produzcan evaporaciones rápidas y manteniendo la humedad, por ejemplo, mediante nebulización.

No es conveniente proceder a las operaciones de terminación si hay agua en la superficie. Si se produce un exceso de agua de exudación en la superficie, puede pasarse una arpillera, o similar,

para removerla. Bajo ninguna circunstancia se puede secar la superficie usando cemento o mezcla de cemento y arena.

Después de obtenida la regularidad superficial, o lisura necesaria, puede darse una terminación o textura mediante escobillas y/o arpilleras.

No debe permitirse la aplicación de agua en la superficie para facilitar la terminación.

Luego de terminado el pavimento se debe proceder con algún sistema de curado, para asegurar un adecuado endurecimiento y evitar posibles fisuraciones.

Los pavimentos deben llevar juntas para evitar la formación de grietas incontroladas, éstas se deben ejecutar oportunamente y pueden materializarse tanto en el hormigón fresco como en el endurecido. Las juntas de contracción son parte del diseño del pavimento.

Salvo en carreteras y pisos industriales, lo más común es hacer las juntas cuando el hormigón está fresco. Para ello, las grandes superficies se dividen en pequeñas losas en lo posible cuadradas. Se recomienda realizar juntas cada 3 metros.

Se marca la ubicación de las juntas en los moldajes de los bordes y con lienza se dibuja en el hormigón. En la marca de la junta, se comienza utilizando un acanalador angosto, para terminar con uno más ancho. Entonces se inserta una tablilla de fibrocemento de 5 a 6 mm de espesor, aceitada por ambos lados para que no se adhiera. El ancho de la tablilla debe ser, al menos, de un cuarto del espesor del pavimento; posteriormente se forma una grieta, bajo el canal formado, que cubre todo el espesor. Ver Figura 2.7.

**FIGURA 2.7**  
JUNTAS EN  
PAVIMENTO

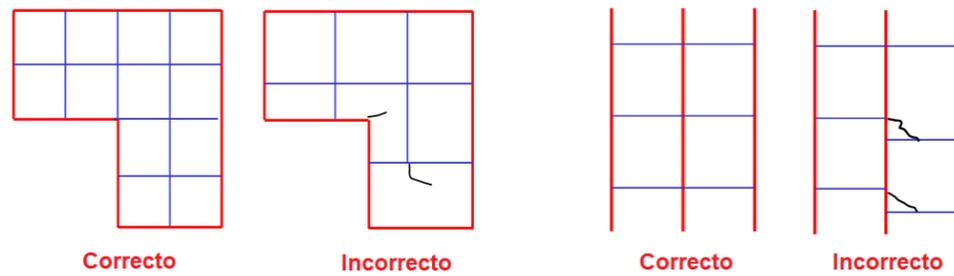


Fuente: Propia

En el trazado de las juntas, hay que evitar las esquinas entrantes y ángulos agudos; de lo contrario es muy posible la formación de grietas, como se ve en Figura 2.8.

Si se hace una segunda faja, las juntas de ésta deben coincidir con la primera. Ver Figura 2.8.

**FIGURA 2.8**  
TRAZADO DE  
LAS JUNTAS



Posteriormente, las tablillas se retiran, la junta se limpia y se sella. Normalmente el sello es de material asfáltico; también se emplea silicona.

En caso de veredas, la OGUC indica que el pavimento estará constituido por una carpeta, colocada sobre una base granular o de otro material de superior calidad. Dicha carpeta podrá ser ejecutada en alguna de las siguientes soluciones:

- Baldosas confinadas por solerillas o soleras.
- Hormigón de cemento vibrado de no menos de 0,07 m de espesor, ni de grado inferior a H-20 (G17, aproximadamente).
- Concreto asfáltico en caliente de 0,03 m de espesor mínimo, entre solerillas prefabricadas de hormigón o similares.
- Adoquines trabados de hormigón compactado o vibrado de no menos de 0,06 m de espesor, con solerillas como restricción de borde.

En las secciones en que las veredas tengan que soportar el paso de vehículos, el pavimento deberá reforzarse por el propietario del predio respectivo en forma que asegure su duración y buena conservación.

### A.3 RECOMENDACIONES

En cuanto a espesores, en Tabla 2.13 se hace algunas recomendaciones.

**TABLA 2.13**  
ESPESORES DE  
PAVIMENTOS

Tipo	Características
Uso peatonal	Radieres (Ref. Cap. 2, ítem 2.1.14)
Uso vehicular (garage)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Losa hormigón: <math>e &gt; 10</math> cm</li> <li><math>e = 12</math> cm para pasajes, vehículos livianos.</li> <li>· Subbase granular: <math>e &gt; 10</math> cm</li> <li><math>e = 15</math> cm para pasajes, vehículos livianos.</li> </ul>

### B) PAVIMENTOS DE ELEMENTOS PREFABRICADOS

Los elementos prefabricados considerados son los pastelones, los adoquines de hormigón y las baldosas.

#### B1) Condiciones generales

Los elementos, pastelones, adoquines y baldosas deben cumplir con las exigencias establecidas en las normas chilenas o, en su defecto, por lo especificado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

El terreno se prepara de manera de obtener una superficie de soporte pareja y homogénea, libre de material suelto o de origen orgánico, el que, si existe, se remueve y reemplaza por material que cumpla los requerimientos de soporte establecidos en las especificaciones técnicas. Las excavaciones se realizan hasta el nivel indicado en el proyecto para luego compactar la capa superior, de acuerdo con las especificaciones técnicas.

Si se emplea subbase granular, esta debe estar compuesta por material estabilizado, homogéneamente mezclado, desprovisto de materias orgánicas, grumos de arcilla, escombros, basura, u otro que perjudique su estabilidad. El límite líquido debe ser  $\leq 25\%$  y el índice de plasticidad debe ser  $\leq 6\%$ .

En caso de requerir mortero de pega para la instalación de los elementos prefabricados, este deberá tener una relación mínima de cemento: arena = 1:3 en volumen. La arena debe tener un tamaño máximo de 5 mm y cumplir con las especificaciones de NCh163. También se puede emplear mortero predosificados o morteros premezclados.

La consistencia del mortero deberá ser plástica para que el material pueda ser esparcido con facilidad, cumpliendo los niveles altimétricos definidos para el proyecto. Deberá ser pastosa, y asegurar el correcto pegado de los elementos sobre los que se aplica.

El espesor de la capa de mortero no deberá ser inferior a 40 mm.

El mortero de pega se debe preparar a medida que avance el trabajo y utilizar inmediatamente después de su amasado.

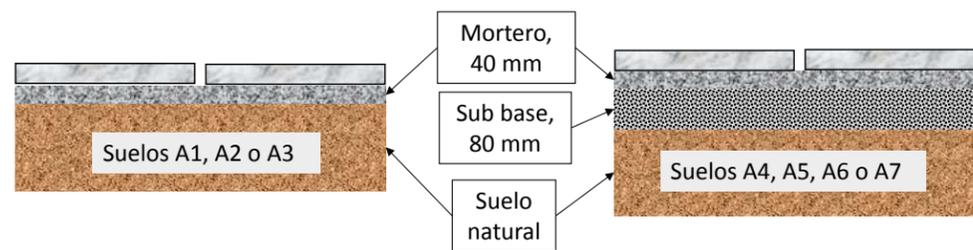
#### B2) Pastelones de cemento

Son muchos los tipos de pastelones, tanto en dimensiones como en forma, textura y colores. Los más comunes son cuadrados de 40 por 40 cm y de 50 por 50 cm. Los espesores más corrientes son 4 y 5 cm.

Para la subrasante, de ser necesario, se puede colocar sobre los sectores disperejos una capa de arena para nivelar y sellar la superficie, para luego proceder a compactarla.

Las capas del pavimento de pastelones dependen del tipo de suelo natural. Directamente sobre él si es de buena calidad y, en caso contrario, se debe colocar una subbase granular compactada de unos 80 mm, con tamaño máximo de 25 mm. Ver Figura 2.9. La clasificación de suelos se detalla en el Capítulo 7.

**FIGURA 2.9**  
COLOCACIÓN DE PASTELONES



Fuente: Propia

El mortero debe cumplir lo indicado en B1, con un espesor de  $40 \pm 5$  mm.

Al momento de su colocación, los pastelones deben estar preferentemente secos o en su estado de humedad natural; en todo caso, la superficie de contacto con el mortero debe estar seca. Los pastelones deben colocarse de forma manual sobre el mortero fresco, asentándolos firmemente con golpes suaves de un mazo de madera, hasta que alcancen el nivel que corresponda. Es importante que se logre un completo contacto entre la cara inferior del pastelón y el mortero, con el objeto de obtener una buena adherencia. También es importante controlar los niveles y pendientes.

Los pastelones se colocan uno junto al otro, dejando una pequeña separación entre ellos de aproximadamente 5 mm. En casos especiales, se pueden dejar juntas más anchas, según lo establezca el proyecto. Las juntas entre pastelones se rellenan completamente, mediante un barrido de arena fina de tamaño máximo 1 mm, o con una mezcla seca de cemento y arena fina. El material sobrante se retira de la superficie.

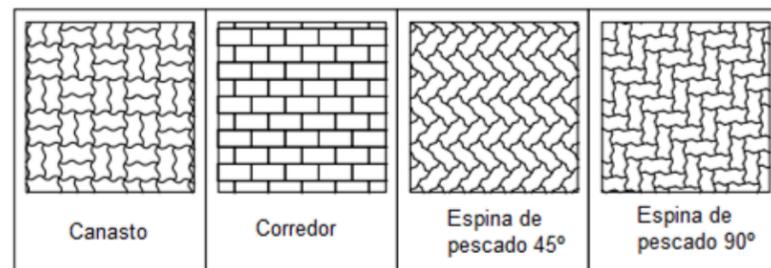
Se debe verificar que:

- Se riegue periódicamente la superficie de los pastelones, para mantenerla húmeda por lo menos 5 días, especialmente en tiempo caluroso.
- La puesta en servicio de vías peatonales no se efectúa antes de 5 días después de terminada la instalación de los pastelones. Si el pavimento soportará cargas vehiculares, la puesta en servicio no puede hacerse antes de 14 días.

### B3) Adoquines

Es muy amplia la variedad de formas, texturas y colores en los que se fabrican los adoquines. Los aparejos más comunes son los que se muestran en la Figura 2.10.

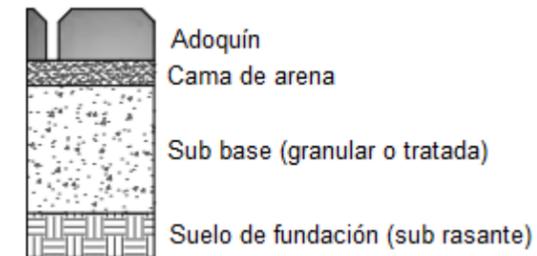
**FIGURA 2.10**  
APAREJOS DE COLOCACIÓN DE ADOQUINES



Fuente: MINVU. Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación, 2018.

La restricción de borde (confinamiento) es de primordial importancia para mantener la trabazón de los elementos del pavimento de adoquín y prevenir el desplazamiento lateral y la apertura de las juntas, con la consiguiente pérdida de trabazón. Esta restricción se materializa con la instalación de soleras rectas, soleras con zarpa o solerillas. La estructura general de un pavimento de adoquines se muestra en Figura 2.11.

**FIGURA 2.11**  
ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO DE ADOQUINES



Fuente: MINVU. Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación, 2018.

La elección de la forma, del espesor, del aparejo de colocación y de la resistencia mecánica de los adoquines, estará condicionada por la sollicitación que soporta el pavimento. En Tabla 2.14 se presenta las recomendaciones del MINVU con respecto al espesor del adoquín, su cama de arena y la subbase, según el tipo de vía y la calidad del suelo de la subrasante.

**TABLA 2.14**  
ESPESORES PARA DISEÑO CON ADOQUINES DE HORMIGÓN

Tipo de vía	Capa	Espesores (mm)				
		CBR de la subrasante, %				
		≤ 3	4-7	8-12	13-19	≥ 20
Servicio	Adoquín	80	80	80	80	80
	Cama de arena	40	40	40	40	40
	Subbase CBR ≥ 40%	400	300	250	150	150
Local	Adoquín	60	60	60	60	60
	Cama de arena	40	40	40	40	40
	Subbase CBR ≥ 40%	350	300	220	150	150
Pasaje	Adoquín	60	60	60	60	60
	Cama de arena	40	40	40	40	40
	Subbase CBR ≥ 40%	300	250	180	130	130
Peatonal / Ciclovía	Adoquín	60	60	60	60	60
	Cama de arena	40	40	40	40	40
	Subbase CBR ≥ 40%	200	150	130	130	130

Fuente: MINVU. Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación, 2018.

Para la materialización del pavimento de adoquines, la subrasante debe estar de acuerdo a lo indicado en B1). La subbase debe tener un CBR de al menos 40%, con material con 50 mm de tamaño máximo. La compactación se realiza con medios mecánicos. En zonas donde no se pueda compactar es recomendable el uso de hormigón pobre.

Una vez compactada la subbase se colocan los elementos de restricción de borde (soleras o solerillas).

Sobre la subbase compactada se coloca una capa de arena de tamaño máximo 5 mm, con humedad cercana a la óptima (6 a 8%). El espesor de la capa de arena suelta es de aproximadamente 50 mm, de manera que después de la compactación quede en 40 mm.

Los adoquines se colocan directamente sobre la capa de arena nivelada, según el aparejo especificado por proyecto y teniendo cuidado de no pisar la capa de arena durante el proceso. Los adoquines se colocan lo más ajustado posible entre sí, de manera que existan, entre las caras laterales, juntas de un espesor no mayor a 5 mm.

Para lograr un calce ajustado, al rematar los costados o bordes de contacto con elementos existentes, puede ser necesario utilizar adoquines cortados. En todo caso, se sugiere evitar la colocación de trozos de adoquines con menos de un cuarto (1/4) de su tamaño original o con menos de 40 mm en su lado menor.

En lugares donde no sea posible usar adoquines cortados, los huecos deben ser rellenados con hormigón G25, según clasificación de NCh170 con tamaño máximo del árido igual a 10 mm, o con mortero de cemento y arena gruesa en proporción 1:3 en volumen.

Colocados los adoquines, se compacta con placa compactadora. Para lograr una buena compactación, se recomienda aplicar 2 a 3 pasadas de la placa vibradora en diferentes direcciones.

Una vez concluida la compactación de la capa de adoquines, se distribuye arena fina (tamaño máximo 1 mm) seca (humedad menor a 2%) sobre la superficie para finalizar el relleno de las juntas. Para este efecto, se realiza un barrido de la arena con escobillones de fibras de acero.

Una vez esparcida la arena, el área pavimentada se vibra nuevamente, a fin de asegurar la penetración de la arena en las juntas.

Un par de semanas después de haber terminado el pavimento, se debe hacer un nuevo barrido con arena para rellenar los espacios que se hayan abierto por la acomodación de la arena dentro de las juntas.

#### **B4) Baldosas**

Las baldosas se pueden clasificar como lisas o estriadas. Las primeras tienen mayor variedad de colores y diseños. Las baldosas estriadas permiten una mejor evacuación del agua por lo que se pueden considerar como antideslizantes.

Las baldosas son cuadradas y las aristas más comunes son 20, 30, 40 y 50 cm. Los espesores varían de 2,5 a 5,0 cm.

Según el MINVU la estructura del pavimento de baldosas depende del uso:

- **Veredas Peatonales:** En el caso de que el proyecto contemple baldosas como superficie peatonal, se sugiere respetar la siguiente estructuración: una subbase espesor 8 cm (CBR mínimo 60%), mortero de pega de espesor 4 cm y baldosas microvibradas de espesor mínimo 3,6 cm.
- **Veredas Reforzadas:** Este tipo de veredas se construyen adyacentes a un acceso vehicular (1 m longitud mínima) o bien puede corresponder al acceso mismo en el caso de viviendas unifamiliares. Se sugiere respetar la siguiente estructuración: una subbase espesor 8 cm (CBR mín. 60%), una vereda de hormigón espesor 7 cm, mortero de pega espesor 4 cm y baldosas microvibradas de espesor mínimo 3,6 cm.
- **Veredas Acceso:** En el caso de accesos vehiculares, las baldosas, con un espesor mínimo de 3,6 cm, van adheridas al hormigón del pavimento mediante mortero de pega de espesor 4 cm.

Con esto las baldosas van adheridas al suelo natural, una subbase o sobre hormigón.

La dosificación del mortero de pega que se recomienda es 1:1/4:3 (cemento : cal : arena) en volumen. La cal se emplea para aumentar la retentividad.

Al momento de la colocación de las baldosas sobre el mortero de pega, estas deben estar en estado de equilibrio con el ambiente y presentar un aspecto seco. Su superficie de contacto con el mortero deberá haber sido humedecida, pero, en ningún caso, debe existir agua superficial en ella.

Las baldosas se colocan a mano, adosándolas con sus vecinas y asentándolas sobre el mortero fresco con golpes suaves de un mazo de madera, hasta que alcancen el nivel correspondiente. Es importante que se logre un completo contacto entre la cara de la baldosa y el mortero, con el objeto de obtener una buena adherencia y un apoyo estable y uniforme.

La colocación se realizará estrictamente respetando los niveles y pendientes del proyecto, considerando las tolerancias permitidas. Para ello es conveniente el uso de lienzas y estacas delgadas de madera, afianzadas en el sustrato de apoyo, para que queden debidamente niveladas. Es conveniente que el avance se haga por hileras transversales a la mayor longitud a cubrir.

Al día siguiente de colocadas las baldosas, se deben rellenar las juntas, esparciendo sobre la superficie una lechada dosificada de 1 kg de cemento por cada 4 litros de agua y pigmentos o tierra de color, cuando corresponda. Pasadas 3 o 4 horas se procede a lavar y escobillar la superficie para eliminar los restos de lechada.

Una vez terminado el proceso de colocación, se debe cubrir la superficie con polietileno o arena húmeda para asegurar un fraguado normal del mortero y de la lechada. El ambiente húmedo de la superficie debiera mantenerse por 5 días como mínimo. Esto es especialmente importante en tiempo caluroso y seco.

Para la puesta en servicio, deben estar completadas las operaciones de pegado y sellado de juntas. Para vías peatonales, la puesta en servicio no se efectúa antes de 5 días después de terminada la colocación. Cuando el pavimento soporte cargas vehiculares, la puesta en servicio se hace a los 14 días.

## 2.6.2 PISOS INDUSTRIALES

Los pisos industriales son un tipo especial de pavimentos pues las solicitaciones a los que están expuestos son especiales.

### FACTORES A CONSIDERAR

- A) Solicitaciones generales
- B) Tipos de losas
- C) Planeidad y nivelación
- D) Construcción
- E) Juntas

### A) SOLICITACIONES GENERALES

Entre los requisitos que normalmente se les hace a los pisos industriales están:

- Resistir las cargas vehiculares: el daño más importante lo provocan las grúas horquilla pues tienen ruedas de pequeño diámetro, muchas veces metálicas o duras, por lo que someten al pavimento a esfuerzos concentrados que lo desgastan en cualquier desnivel. El daño es mayor en las juntas.
- Resistir cargas concentradas: constituidas por corridas de estanterías (racks). Para facilitar las operaciones y no disminuir la capacidad de almacenamiento, estos estantes tienen apoyos pequeños y son cada vez más altos, lo que crea alta concentración de los esfuerzos.
- En algunos casos de industria alimenticia, las losas deben estar en condiciones de resistir muy bajas temperaturas.
- Resistir adecuadamente el ataque químico propio de las operaciones de la industria (productos lácteos, procesamiento de frutas, faenadores de carne, industria del vino y otras).
- En algunos casos es importante que el piso tenga características sanitarias o estériles.
- Aumentar la distancia entre juntas para mejorar la funcionalidad del pavimento, facilitar el movimiento de las grúas horquilla sin peligros de que se caigan cargas altas, y aumentar la durabilidad.
- Facilidad de limpieza y mantención.
- Las exigencias de horizontalidad y planeidad son muy superiores a las de los pavimentos normales. Esto favorece un desplazamiento rápido y seguro de grúas horquillas y equipos robotizados, aumenta la resistencia al desgaste y facilita la limpieza.

### B) TIPOS DE LOSAS

Las juntas constituyen una zona débil y que dificulta la operación. Los tipos de losas, que se muestran en Tabla 2.15, se diferencian principalmente en el espaciamiento entre juntas.

**TABLA 2.15**  
TIPOS DE  
LOSAS DE PISOS  
INDUSTRIALES

Tipo de losa	Características
Losa de hormigón simple	Requiere juntas de contracción, normalmente el espaciamiento es de 20 cm por cada cm de espesor de la losa.
Losa reforzada con armadura para retracción	La distancia entre juntas se determina por cálculo, considerando la retracción térmica e hidráulica de la losa y el roce de ésta con la base. Normalmente la distancia entre juntas es mayor que en las losas de hormigón simple.
Losa de hormigón simple con retracción compensada	En estas losas se emplea un cemento expansivo que se mezcla con cemento normal, generalmente Portland. Este cemento especial no está disponible, pero se ha importado y empleado en el país. Las juntas se disminuyen en 90% y se pueden obtener paños de hasta 1700 m <sup>2</sup> sin cortes.
Losa postensada para compensar la retracción hidráulica	El hormigón es sometido a un postensado parcial que tiende a compensar las tracciones que genera la retracción hidráulica. Ello permite distanciar significativamente las juntas; este espaciamiento queda establecido por cálculo.
Losa con postensado activo	Se aplica un postensado que permite evitar la fisuración de la losa y se puede llegar a suprimir las juntas.
Losa de hormigón armado	En esta losa se controla parcialmente la fisuración, lo cual conduce a mayor distanciamiento entre juntas.

Fuente: H. Zabaleta. "Tecnología de la construcción en hormigón".

### C) PLANEIDAD Y NIVELACIÓN

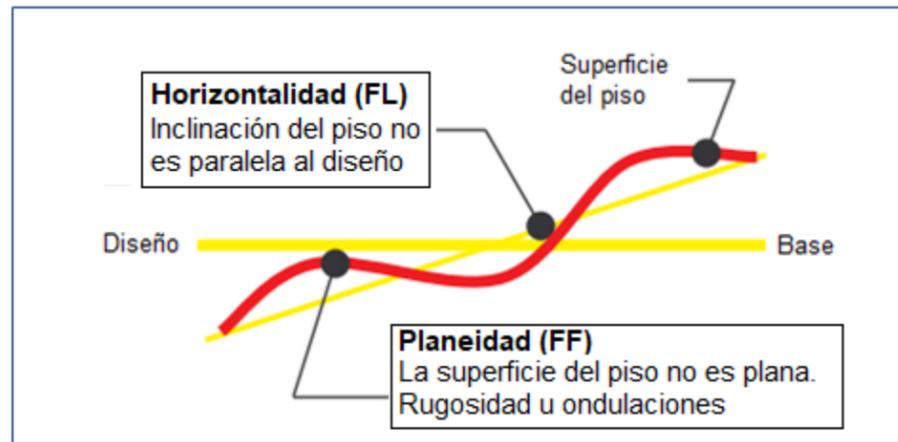
Los requisitos de planeidad y nivelación de los pisos industriales son mucho más exigentes que lo especificado para otro tipo de pavimentos. Ello ha llevado al desarrollo de un sistema designado como el de los números F, el que incluye dos índices:

- FF : índice de planeidad (flatness)
- FL : índice de nivelación u horizontalidad (levelness)

Para la determinación de los índices se utiliza un perfilómetro con el que se recorre el piso. El índice de planeidad (FF) se determina en base a mediciones cada 30 cm y el índice de horizontalidad en base a mediciones cada 3 metros.

En Figura 2.12 se muestra una representación de los índices FF y FL.

FIGURA 2.12  
NÚMEROS F



Fuente: Díaz, Ebensperger, Videla. "Experiencia chilena en construcción de grandes pisos superplanos postensados".

Mientras más plana y nivelada esté la superficie, mayores serán los números F respectivos. Una clasificación se muestra en Tabla 2.16.

Tipo de piso	Mínimo Global		Mínimo local	
	Planeidad FF	Nivelación FL	Planeidad FF	Nivelación FL
Convencional platacho	15	13	13	10
Convencional regla	20	15	15	10
Plano	30	20	15	10
Muy plano	50	30	25	15
Superplano	100	50	--	--

Fuente: H. Zabaleta. "Tecnología de la construcción en hormigón".

## D) CONSTRUCCIÓN

En general los pisos industriales tienen resistencias altas, como mínimo se emplean hormigones G25 (H30 aproximadamente). El tamaño máximo habitual es 20 mm y el asentamiento es de 10 a 12 cm.

Las fibras metálicas o de polipropileno se agregan para aumentar la resistencia a tracción y al impacto y para disminuir la fisuración. Tienen el inconveniente de que dificultan las faenas de terminación.

Dado que el desgaste superficial es uno de los requisitos más importantes, es frecuente el empleo de endurecedores superficiales, los que también sirven para dar color al pavimento.

La colocación se efectúa en fajas de no más de 4 m de ancho para facilitar la terminación.

Los moldes laterales preferentemente deben ser de madera para facilitar los ajustes.

La compactación se realiza con cercha vibradora, vibradores de inmersión o ambos.

Para la terminación, primero se utiliza una regla recta que es operada desde ambos extremos para enrasar la superficie luego del paso de la cercha.

A continuación, se emplea el platacho de mango largo (bull float); se recomienda no emplear los equipos de magnesio pues tiende a sellar la superficie, no dejando que el agua de exudación ascienda a la superficie.

Terminada la operación anterior, se espera que termine la exudación del hormigón. Una vez terminada se colocan los endurecedores superficiales, si corresponde.

Cuando el hormigón tiene la resistencia suficiente se aplica el platachado mecánico (helicóptero) primero con tapa y luego con las aspas normales.

Paralelamente a la terminación de la superficie se procede a dar una terminación redondeada a los bordes. Para ello se utiliza una herramienta metálica ad hoc para lograr una mejor terminación en el sector donde posteriormente se ubicarán las juntas.

## E) JUNTAS

Debido a la retracción hidráulica que experimenta el hormigón se generan tensiones de tracción que producen grietas transversales ubicadas al azar. Para controlar este fenómeno, lo que se hace es debilitar la sección del pavimento de manera que la grieta se ubique en posiciones determinadas, definidas previamente, obteniendo una abertura recta, de buen aspecto, fácil de sellar y de mantener. Esas son las juntas de contracción.

En pisos industriales se realiza un corte con sierra, de sólo una fracción del espesor de la losa. El corte puede ser de dos tipos:

- Corte en el hormigón endurecido: La profundidad del corte es de 1/4 a 1/3 del espesor de la losa. No hay un momento definido para realizar el corte, pues depende del hormigón, del uso de aditivos y, principalmente, de las condiciones ambientales. Si el corte se realiza muy luego, el corte desgrana los bordes de la junta; si es tardío se puede producir la grieta al azar antes del corte.
- Corte en el hormigón fresco (soft-cut): La profundidad se puede limitar a 2 a 3 cm. El corte se realiza apenas la máquina no deje huellas en el hormigón. La máquina ejerce presión sobre los bordes del corte, evitando que la junta se desgrane.

Posteriormente, bajo el corte se forma una grieta que cubre todo el espesor de la losa, como se ve en Figura 2.13.

El pavimento debe aislarse de las singularidades, por ejemplo, pilares, ya que se mueven o deforman de manera diferente, lo que tiende a agrietar el pavimento.

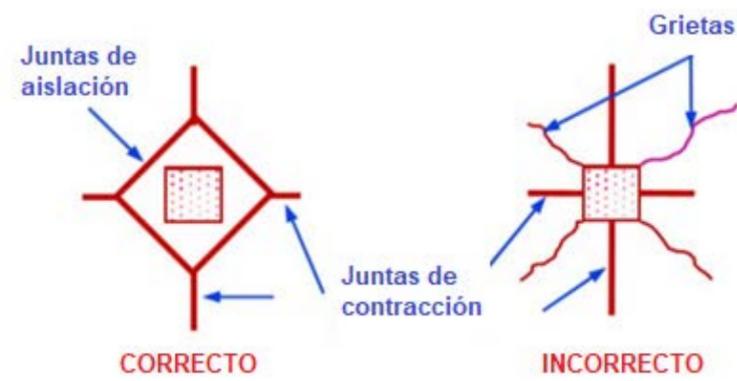
Son las juntas de aislación, como se muestra en Figura 2.14.

**FIGURA 2.13**  
GRIETA BAJO  
EL CORTE



Fuente: Holcim. Diagnóstico de problemas en el hormigón.

**FIGURA 2.14**  
JUNTAS DE  
AISLACIÓN



Fuente: Propia

# 3.

## EL HORMIGÓN

---

- 3.1. Introducción
  - 3.2. Materiales para el hormigón
  - 3.3. Clasificación y designación del hormigón
  - 3.4. Diseño de la mezcla
  - 3.5. Fabricación del hormigón
  - 3.6. Transporte
  - 3.7. Hormigonado
  - 3.8. Compactación
  - 3.9. Tratamiento de la superficie
  - 3.10. Curado
  - 3.11. Desmolde y descimbre
  - 3.12. Control de calidad del hormigón
  - 3.13. Hormigón premezclado
  - 3.14. Hormigonado en climas especiales
  - 3.15. Durabilidad del hormigón
  - 3.16. Hormigones especiales
  - 3.17. Reparación de estructuras de hormigón
- 



## 3.1

### INTRODUCCIÓN

*El hormigón es un material que está constituido básicamente por materiales pétreos (grava – arena), un aglomerante, agua y a veces otros componentes, los que al mezclarse entre sí forman una masa plástica trabajable, que permite ser moldeada en la forma que se desee, la que posteriormente endurece obteniendo como resultado una piedra artificial.*

Como material tiene miles de años de uso y hasta 200 años atrás el aglomerante fue la cal.

La primera gran transformación, en el siglo II AC, es el descubrimiento por parte de los romanos de una ceniza volcánica, la puzolana. Mezclada con cal, el material le daba a los hormigones y morteros mayor resistencia, mayor durabilidad y endurecía bajo agua. Ver Figura 3.1.

**FIGURA 3.1**  
HORMIGÓN ROMANO



Fuente: Propia

El segundo descubrimiento revolucionario se produjo en 1824. Fabricando cal hidráulica, se elevó considerablemente la temperatura en el horno y se obtuvo un nuevo producto: el cemento Portland. Pronto, sus mucho mejores características desplazaron casi totalmente a la cal.

El tercer desarrollo significativo es el de los aditivos químicos. Si bien son muy antiguos, en el país hace 50 años casi no se empleaban y hoy, en la práctica, no existe el hormigón sin aditivos.

El cemento es el aglomerante del hormigón, que reaccionando químicamente con el agua comienza a endurecer, sirviendo de puente de adherencia a las partículas de los pétreos.

Entre las características generales del hormigón se destaca:

- Debido a su plasticidad puede dársele cualquier forma. (Figura 3.2).
- A diferencia de otros materiales, se moldea a temperatura ambiente.
- El hormigón endurece y adquiere resistencia en la medida que el tiempo pasa.
- Tiene buena durabilidad, resiste bien a distintas condiciones ambientales.
- Es resistente al fuego.
- Los materiales que se emplean en su fabricación existen en todas partes de nuestro planeta, son fáciles de encontrar y relativamente económicos.

**FIGURA 3.2**  
VERSATILIDAD DEL HORMIGÓN



Fuente: Federico Assler.

Las características señaladas han convertido al hormigón en el principal material de construcción en todo el mundo.

Los requisitos generales que se le piden al hormigón son:

- Facilidad de colocación.
- Resistencia mecánica.
- Durabilidad.

El objetivo de este capítulo es ayudar a cumplir esos requisitos de manera eficiente.

## 3.2

# MATERIALES PARA EL HORMIGÓN

TEMAS TRATADOS	3.2.1	Cemento
	3.2.2	Agua de amasado
	3.2.3	Áridos
	3.2.4	Aditivos y adiciones

### 3.2.1 CEMENTO

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A Generalidades.
- B Clasificación de los cementos.
- C Efecto en el hormigón de las características del cemento.
- D Almacenamiento.
- E Control de calidad en obra.

#### A) GENERALIDADES

El clínker es el producto resultante de la sinterización (fusión incipiente) en un horno rotatorio, de una mezcla de materiales calcáreos y arcillosos finamente dividida y químicamente controlada. Está compuesto principalmente por dos silicatos de calcio cristalizados, silicato tricálcico ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  - C3S) y silicato dicálcico ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  - C2S); y dos aluminatos de calcio cristalizados, aluminato tricálcico ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  - C3A) y ferroaluminato tetracálcico ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  - C4AF). Ver Figura 3.3.

**FIGURA 3.3**  
INTERIOR  
DE HORNO  
CEMENTERO



Fuente: Holcim "Course of cement applications".

El cemento Portland es un producto formado por la molienda de una mezcla de clínker y yeso que se agrega para regular el fraguado. Reacciona con el agua, formando nuevos compuestos capaces de endurecer, aglomerando otros materiales. La reacción con el agua, hidratación, es un fenómeno exotérmico.

En Chile, prácticamente no se produce cemento Portland para hormigón. Además de clínker y yeso, los cementos nacionales tienen adiciones. Internacionalmente, estas adiciones pueden ser de dos tipos:

- Materiales puzolánicos, reaccionan con la cal que se genera en la hidratación del clínker. Los materiales puzolánicos pueden ser puzolanas naturales o artificiales como las cenizas volantes provenientes de las plantas termoeléctricas (fly ash). Ver Figura 3.4.
- Escoria granulada de alto horno, reacciona por sí sola con el agua, en forma lenta. Proviene de la industria siderúrgica. Ver Figura 3.4.

**FIGURA 3.4**  
ADICIONES



Fuentes: Civilgeeks.com

CEDEX. Min. de Fomento. España

En el país también se emplea el Agregado Tipo A, que es un material sílico-calcáreo, regulado por la norma NCh160.

Son muchas las ventajas que trae el empleo de adiciones; entre ellas están:

- Calores de hidratación más bajos.
- Durabilidad mayor que la del cemento Portland.
- Se inhibe la reacción álcali árido.
- Menores emisiones de  $\text{CO}_2$  y otros gases.
- Menor costo.

## B) CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS

De acuerdo a la norma NCh148, los cementos se clasifican según su composición y resistencia. Está en estudio una nueva norma NCh148 que establece los siguientes tipos de cemento:

- Cemento Portland.
- Cemento siderúrgico: tiene hasta 75% de escoria granulada de alto horno.
- Cemento con Agregado Tipo A: con hasta 75% del agregado.
- Cemento puzolánico: con hasta 75% de puzolana natural.
- Cemento con cenizas volantes: con hasta 75% de cenizas volantes.
- Cemento compuesto: puede tener dos o tres de las adiciones señaladas.

Según su resistencia, la norma NCh148 en estudio clasifica los cementos en tres grados:

- Cemento corriente.
- Cemento de alta resistencia.
- Cemento de alta resistencia inicial.

En Tabla 3.1 se presenta los requisitos químicos que deben satisfacer los cementos, en Tabla 3.2 las exigencias de resistencia y en Tabla 3.3 los requisitos de tiempo de fraguado.

**TABLA 3.1**  
REQUISITOS QUÍMICOS

Característica	Portland	Puzolánico	Siderúrgico	Agregado Tipo A	Cenizas Volantes	Compuesto
Pérdida por calcinación, máximo, %	3,0	5,0	5,0	9,0	6,0	5,0
Residuo insoluble máximo, %	2,0	60,0	4,0	35,0	60,0	55,0
Contenido de SO <sub>3</sub> máximo, %	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Contenido de MgO máximo, %	5,0					
Contenido de Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> máximo, %			2,0			

Fuente: Proyecto de norma NCh148:2019.

**TABLA 3.2**  
REQUISITOS MECÁNICOS

Grado de resistencia	Resistencia a compresión mínima, MPa		
	3 días	7 días	28 días
Corriente	--	15	25
Alta	--	25	35
Alta inicial	30	--	35

Fuente: Proyecto de norma NCh148:2019.

**TABLA 3.3**  
REQUISITOS DE TIEMPOS DE FRAGUADO

Tiempos de fraguado	Grado de resistencia del cemento		
	Corriente	Alta	Alta inicial
Inicio de fraguado, minutos, mínimo	60	45	45
Fin de fraguado, horas, máximo	12	10	10

Fuente: Proyecto de norma NCh148:2019.

## C) EFECTO EN EL HORMIGÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO

En Tabla 3.4 se muestra como las características del cemento influyen en las características y usos del hormigón.

**TABLA 3.4**  
EFECTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO EN EL HORMIGÓN

Característica	Efecto
Calor de hidratación	Cementos alta resistencia tienen alto calor de hidratación. No son recomendables para elementos masivos al dosificar con iguales cantidades de cemento respecto a un cemento normal y sin considerar aspectos de diseño estructural y las debidas protecciones térmicas durante los primeros días.
Finura	Los cementos más finos desarrollan más calor de hidratación y tienen mayor resistencia a corto plazo.
Química del clínker	Con alto contenido de C3S se tiene mayor resistencia a corto plazo y mayor calor de hidratación. Con alto contenido de C2S se tiene mayor resistencia a largo plazo y poco calor de hidratación. Con alto contenido de C3A se tiene mayor resistencia a muy corto plazo y el hormigón es muy afectado por ataque de sulfatos. Se desprende mucho calor y hay mayor retracción. Con alto contenido de C4AF hay menor resistencia, menor calor de hidratación. El cemento es más oscuro.
Resistencia a corto plazo	Para hormigones con alta resistencia a temprana edad.
Resistencias	La influencia del cemento alta resistencia sobre resistencia a la compresión de un hormigón deja de ser significativa para los tiempos mayores a 6 meses.

## D) ALMACENAMIENTO

Al ser un material tan fino, el cemento es material muy higroscópico, tiende a captar humedad muy fácilmente. El cemento reacciona con la humedad captada y va perdiendo resistencia y retardando las reacciones.

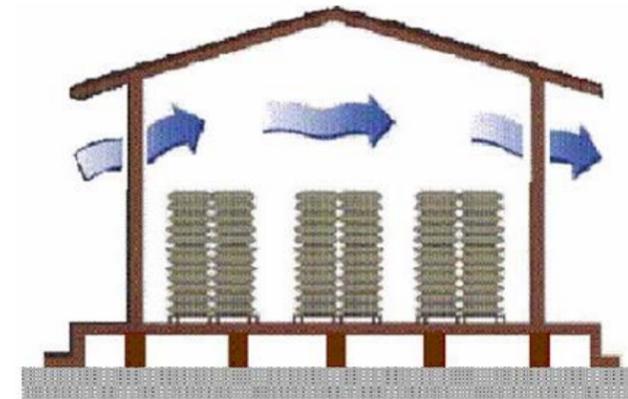
Por tal razón es muy importante un manejo cuidadoso de los sacos para evitar que se rompan y, en todo momento, proteger al cemento de la humedad.

En Tabla 3.5 se da algunas recomendaciones de almacenamiento del cemento.

**TABLA 3.5**  
ALMACENAMIENTO  
DEL CEMENTO

Cemento en bolsas	Recepción del cemento	Al recibir cemento revise que éste sea de fabricación reciente (la fecha de ensacado va en el costado del saco) y rechace sacos rotos o con señas de humedad como leyendas desteñidas, puntas endurecidas u otras.
	Características de las bodegas	Bodegas cerradas, protegidas de la intemperie, y cubiertas con pendiente para escurrimiento de agua, con aleros. Con buena ventilación. Con vías de circulación para entrada y salida de los materiales. Piso elevado con respecto al terreno, entre 15 - 20 cm. Preferible piso entablonado que radier. Ver Figura 3.5
	Forma de almacenamiento	Para sacos sueltos: se recomienda pilas de máximo 12 sacos de altura separadas entre ellas y con separación de las paredes, de al menos 15 cm para circulación de aire. Para pallets: se recomienda hasta 2 pallets de altura. Ver figura 3.5
	Tiempo de almacenamiento	La recomendación general es consumir el cemento antes de dos meses de ensacado. Debe haber un buen control de bodega de manera de emplear el cemento cronológicamente por orden de llegada (el primero que llega debe ser el primero a usar).
Cemento a granel	Características	En silos Silos sin aberturas o roturas para impedir la penetración de la humedad. Deben tener dispositivos que permitan flujo uniforme y sistema de parada. Deben vaciarse periódicamente (preferentemente cada mes) para prevenir grumos. En Big - Bags de 1.000 o 1.500 kg. Almacenarlos bajo techo. Controlar periódicamente estado de la bolsa exterior de polipropileno. Controlar periódicamente la amarra superior.

**FIGURA 3.5**  
BODEGA DE  
CEMENTO



Fuente: Propia

## E) CONTROL DE CALIDAD EN OBRA

Si un cemento es almacenado inadecuadamente, sin protección contra la humedad y por un período prolongado de tiempo, puede perder sus cualidades.

En Tabla 3.6 se entrega algunos parámetros a controlar frente a la presencia de grumos en el cemento.

Una alternativa es comparar el tiempo de fraguado de la pasta de cemento con la de uno en que no se observen los grumos. Puede asociarse un mayor retardo con una mayor cantidad en grumos en el cemento.

También se puede determinar la pérdida por calcinación del cemento cuestionado. Puede dar una indicación del grado de hidratación del cemento.

**TABLA 3.6**  
GRUMOS EN  
EL CEMENTO.  
RECOMENDACIONES

Tipo de Elemento	Hormigón no estructural Grado <G17	Sólo podrán utilizarse cementos en que los grumos puedan deshacerse con la presión de los dedos. Utilizar el cemento después de tamizarlo por malla de abertura 0,5 mm y sobredosificación del cemento en, al menos, 10%.
	Grado G17 a G20	Utilización bajo condiciones del proyectista, previa verificación de resistencias mecánicas a 7 días.
	Grado G25 o mayor	No deben utilizarse.

### 3.2.2 AGUA DE AMASADO

En lo posible se debe usar agua potable. El agua de la red, que no se contamine antes de su empleo, puede usarse sin restricciones.

## FACTORES A CONSIDERAR

- A) Generalidades
- B) Aguas no recomendables
- C) Requisitos
- D) Almacenamiento

### A) GENERALIDADES

El agua tiene varios efectos en el hormigón fresco como en el endurecido.

En el hormigón fresco:

- Provee movilidad a la masa de hormigón.
- Imparte cierta cohesión a la masa.
- En exceso provoca falta de cohesión y favorece la segregación de los componentes.
- Debido al asentamiento de los sólidos una delgada capa de agua exudada se deposita sobre la superficie protegiéndola de un secado no deseado.
- Un exceso de exudación siempre va en contra de la calidad.

En el hormigón endurecido:

- Una parte de ella (alrededor del 23% de la masa del cemento) reacciona con el cemento, permitiendo que el hormigón fragüe y se endurezca.
- El agua en exceso, que genere una razón a/c mayor o igual a 0,35 produce capilaridad que afecta la resistencia y la durabilidad del hormigón.
- A edades tempranas, la presencia de agua en los poros es beneficiosa debido a la continua hidratación y estabilidad volumétrica; es un curado interno.
- A mayor edad y en ambientes agresivos, el agua es perjudicial pues sirve de vehículo para la mayoría de las reacciones peligrosas.

### B) AGUAS NO RECOMENDABLES.

Entre las aguas que no es conveniente emplear en la confección de hormigones o morteros se encuentran:

- De desagües y alcantarillas.
- De relaves de minas.
- Aguas residuales de industrias.
- Con gusto salobre o azucarado.

- Cualquier agua que tenga olor o sabor desagradable.
- Provenientes de canales o pozos contaminados por uso animal o humano.

### C) REQUISITOS

Los requisitos para el agua de amasado están establecidos en la norma NCh1498 y el muestreo se realiza según lo indicado en la norma NCh1443.

#### C.1. Requisitos básicos.

Todas aquellas aguas que no provienen de la red pública deben cumplir con los requisitos establecidos en Tabla 3.7.

**TABLA 3.7**  
REQUISITOS  
BÁSICOS DEL  
AGUA.

Requisito	Valor límite	Ensayo
pH (1)	$\geq 5$	NCh413
Sólidos en suspensión, mg/L	$\leq 2000$	NCh416
Sólidos disueltos, mg/L	$\leq 15000$	NCh416
Materia orgánica, mg/L	$\leq 5$	(2)

(1) Se recomienda determinar el pH en el mismo lugar de muestreo o lo más pronto posible después de tomada la muestra.  
(2) El contenido de materia orgánica se determina como oxígeno consumido.

Fuente: NCh1498-2012

En el caso que no se cumpla con alguno de los requisitos de la Tabla 3.7, o en aguas que presenten trazas de aceite, grasas o detergentes o para determinar la aptitud de otras aguas se deben realizar ensayos de comportamiento de tiempo de fraguado y resistencia mecánica.

Para el tiempo de fraguado se hace un ensayo comparativo utilizando el agua en estudio y agua desionizada o destilada. No debe haber una diferencia superior al 25% en el inicio y fin de fraguado.

Para la resistencia a compresión, se prepara un mortero normal con el agua que se analiza y otro con agua desionizada o destilada. La resistencia a 7 días debe ser al menos el 90% de la resistencia del mortero patrón.

#### C.2. Otros requisitos

La norma NCh1498 establece también los requisitos que se presentan en Tabla 3.8.

**TABLA 3.8**  
CONTENIDO  
MÁXIMO DE  
SALES.

Sal	Contenido máximo
Cloruros, como Cl <sup>-</sup> (1)	
Hormigón pretensado o grout, mg/lit	500
Hormigón armado o con insertos metálicos, mg/lit	1 000
Hormigón sin armaduras ni insertos metálicos, mg/lit	4 500
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ), g/lit	2 000
Álcalis, sodio equivalente, mg/lit (2)	1 500

(1) El contenido puede ser excedido si se cumple con el contenido total de NCh170.  
(2) Si no se cumple con el requisito hay que realizar ensayos de comportamiento.

Fuente: NCh1498-2012

En cuanto a los requisitos indicados en Tabla 3.7 y Tabla 3.8 hay que considerar que un pH bajo implica un ataque ácido al hormigón. La materia orgánica y los azúcares retardan el fraguado y los cloruros lo aceleran. Las aguas de desagües, alcantarillas y con sólidos en suspensión disminuyen la resistencia. Los álcalis, cloruros y sulfatos pueden afectar significativamente la durabilidad del hormigón.

#### D) Almacenamiento

Cualquier depósito destinado a contener o almacenar agua, no debe ser contaminante y debe protegerse para no contaminarla, además debe limpiarse periódicamente (mínimo 1 vez por semana).

Se debe proteger de las condiciones extremas de clima.

### 3.2.3 ÁRIDOS

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A) Generalidades
- B) Clasificación
- C) Requisitos generales
- D) Ensayos prácticos para detectar algunas características
- E) Control de calidad

#### A) GENERALIDADES.

Los áridos son materiales pétreos de diferentes tamaños. Son partículas duras, de forma y tamaño estables. Aunque hay algunas excepciones, se les dio ese nombre, áridos, porque no reaccionan químicamente con los otros componentes del hormigón.

Forman la estructura resistente y estable del hormigón. Aproximadamente representan el 80% de la masa y el 70% del volumen del hormigón.

Los áridos cumplen varias funciones en el hormigón.

Eliminan o mitigan ciertas características negativas de la pasta de cemento como:

- Cambios de volumen por humidificación o secado.
- Calor de hidratación.
- Vulnerabilidad a agentes agresivos.
- Fragilidad.
- Costo.

En el hormigón fresco, los áridos:

- Proporcionan un relleno económico y por tanto favorece la economía.
- Para lograr dicho efecto, la forma y granulometría de las partículas deben dejar un bajo contenido de huecos.
- Las partículas de arena proporcionan cohesión a la mezcla. Es decir, se requiere una cantidad mínima de arena para lograr hormigones cohesivos y estables.
- Sin embargo, una cantidad excesiva de arena u otros materiales finos requieren mucha pasta para cubrirlos, lo que lleva a mayores costos y muchas veces a hormigones no satisfactorios.

En el hormigón endurecido los áridos:

- Proporcionan estabilidad de volumen al hormigón.
- Reducción de la contracción debido al efecto de relleno (pasta que se contrae menos) y al efecto de restricción de la pasta.
- Menor generación de calor debido al efecto de llenado.
- Los agregados gruesos mejoran la adherencia con el acero.
- Los áridos son más estables que la pasta de cemento por lo que incrementan la durabilidad del hormigón.
- Los agregados de peso normal aumentan la densidad, el módulo de elasticidad y la tenacidad del hormigón.

## B) CLASIFICACIÓN

Los áridos se pueden clasificar de diferentes maneras.

### B1) Clasificación normalizada.

Según el proceso de fabricación del árido, la norma NCh163 entrega la designación que se indica en Tabla 3.9.

**TABLA 3.9**  
DESIGNACIÓN  
DEL ÁRIDO  
SEGÚN PROCESO  
DE FABRICACIÓN

Producción de los áridos	Designación, P
Natural	N
Triturado	T
Mezcla	M
El árido natural procede de un yacimiento pétreo natural y no ha sido sometido a proceso de trituración	
El árido triturado ha sido sometido a proceso de trituración	

Fuente: NCh163:2013

La designación general de la norma tiene la forma (D-d) Chxx% P.

D es el tamaño máximo nominal, d es la abertura del menor tamiz por el que pasa menos de 10% del árido, Chxx% es el porcentaje de partículas chancadas y P es la designación indicada en Tabla 3.9.

Con esto, por ejemplo, un árido (40-10) Ch80% T, designa un material cuya fracción granulométrica es  $D = 40$  mm y  $d = 10$  mm, con un 80% de partículas chancadas y que ha sido sometido a proceso mecánico de trituración. (NCh163)

### B2) Clasificación por tamaño.

En Tabla 3.10 se presenta los tamaños que sirven para clasificar los áridos.

**TABLA 3.10**  
CLASIFICACIÓN  
DE LOS ÁRIDOS  
POR TAMAÑO

Áridos	Tamaños, mm
Árido fino (arena)	< 5
Árido grueso	
Gravilla	$5 \leq g < 20$
Grava cortada	$20 \leq G < 40$
Grava	$5 \leq G < 40$
La arena comercial, normalmente tiene partículas sobre 5 mm	

Para un tamaño máximo de 40 mm, lo normal en obra es emplear dos áridos: arena y grava. En el hormigón premezclado se emplea, al menos, arena, gravilla y grava cortada.

### B3) Clasificación por densidad real.

Otra forma de clasificar los áridos es según su densidad real, como se muestra en Tabla 3.11.

**TABLA 3.11**  
CLASIFICACIÓN  
POR DENSIDAD  
REAL

Designación	Densidad real, kg/m <sup>3</sup>
Árido liviano	Menor a 2000
Árido normal	2000 a 3000
Árido pesado	Mayor a 3000

Los áridos de uso normal en Chile tienen una densidad real que normalmente está entre 2550 y 2750 kg/m<sup>3</sup>.

### B4) Clasificación por tipo de yacimiento.

El origen del árido puede influir notoriamente en sus características. En Tabla 3.12 se presenta los tipos de yacimientos y las características principales de los áridos.

**TABLA 3.12**  
CLASIFICACIÓN  
POR TIPO DE  
YACIMIENTO

Tipo de yacimiento	Características principales
Canteras (explotación minera). Ver Figura 3.6	Áridos angulosos, de textura rugosa, en general de mala forma
Fluviales (ríos y pozos formados por aluviones). Ver Figura 3.7	Áridos redondeados, de textura lisa, en general de buena forma
Eólicos (arrastrados por el viento, dunas). Ver Figura 3.8	Son muy finos, en general de buena forma
Marinos (playas)	Están contaminados con sales (cloruros y sulfatos)
Glaciares (cordilleranos)	En general están afectados por ciclos de congelación y deshielo

En Chile mayoritariamente se emplea áridos fluviales.

En general los ríos nacen en la cordillera y desembocan en el mar; dada la geografía del país eso implica una gran pendiente. La granulometría de los áridos de un mismo río puede variar mucho dependiendo del lugar de donde se extraigan (cerca o lejos del origen o de la desembocadura) y de la cantidad de agua que traiga el río.

### B5) Otras clasificaciones.

Además de las clasificaciones indicadas, los áridos se pueden dividir en áridos naturales y áridos artificiales.

Según sea el origen de la roca, los áridos pueden ser ígneos, sedimentarios o metamórficos.

**FIGURA 3.6**  
EXPLOTACIÓN  
DE UNA  
CANTERA DE  
ÁRIDOS



Fuente: Construcciones Delheal S.A.C.

**FIGURA 3.7**  
EXPLOTACIÓN  
DE ÁRIDO  
FLUVIAL



Fuente: Áridos Río Maipo

**FIGURA 3.8**  
ÁRIDO EÓLICO



Fuente: [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/geografia/geomorfologia](http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/geomorfologia)

### C) REQUISITOS GENERALES

Los requisitos generales de los áridos para morteros y hormigones se especifican en la norma NCh163.

Los requisitos físicos que establece la norma se presentan en Tabla 3.13 y los requisitos químicos que deben cumplir los áridos aparecen en Tabla 3.14.

En cuanto a requerimientos de granulometría, en Tabla 3.15 se muestra los requerimientos para áridos gruesos y en Tabla 3.16 las especificaciones para el árido fino.

**TABLA 3.13**  
REQUISITOS  
FÍSICOS

Requisito Grueso	Valores límites		
	Fino		
1. Granulometría	Tabla 3.15	Tabla 3.16	
2. Material fino menor que 0,075 mm (A)			
Áridos naturales	% máx.	1,0	5,0
Áridos triturados	% máx.	1,0	7,0
3. Equivalente de arena (A)	% mín.		75
4. Absorción de agua (porosidad)	% máx.	2,0	3,0
5. Resistencia desgaste máquina Los Ángeles	% máx.	35	
6. Coeficiente de forma	% mín.	80	
7. Partículas desmenuzables	% máx.	5,0	3,0
8. Resistencia a la desintegración por sulfatos (B)			
Con sulfato de sodio	% máx.	10	10
Con sulfato de magnesio	% máx.	15	15
9. Índice de trituración (C)			
Hormigón sometido a desgaste	% máx.	20,0	4,0
Otros hormigones	% máx.	30,0	5,0
10. Partículas chancadas			
Hormigón sometido a flexotracción	% mín.	50	
Otros hormigones		--	--
11. Carbón y lignito			
Hormigón a la vista	% máx.	0,5	0,5
Otros hormigones	% máx.	1,0	1,0

A) En caso de que contenido de finos sea mayor al indicado en tabla y/o el equivalente de arena sea menor que 75%, realizar el ensayo de azul de metileno (UEN-EN 933-9).

B) El ensayo es optativo con cualquiera de las sales.

C) Complementa o sustituye el ensayo de desgaste Los Ángeles.

D) En el caso que no se cumpla con alguno de los requisitos se deben realizar mezclas de prueba según NCh1018 (hormigón) o NCh2260 (mortero).

Fuente: NCh163:2013

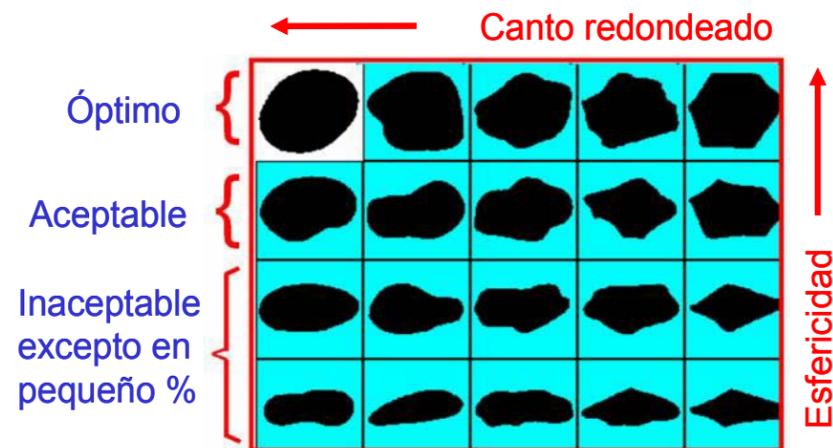
Las partículas muy finas son perjudiciales pues disminuyen la adherencia, favorecen los cambios volumétricos y aumentan la demanda de agua. Por otra parte, por tener menor densidad tienden a subir a la superficie dejándola más débil. Es muy probable que sean finos arcillosos.

La absorción de agua es una característica negativa y está relacionada con la porosidad del árido, lo que es síntoma de debilidad. Con mucha absorción, el árido es más vulnerable a tener problemas si hay exposición a ciclos de congelación y deshielo.

La resistencia a la abrasión por desgaste en la máquina de Los Ángeles es una medida indirecta de la resistencia del árido.

En cuanto a la forma, una partícula defectuosa es aquella en que el espesor es menor que un tercio del largo. Estas partículas son perjudiciales pues dejan muchos vacíos, desmejoran considerablemente la trabajabilidad. Lo ideal es tener partículas similares a esferas en áridos redondeados y similares a cubos en áridos triturados, como se muestra en Figura 3.9. El aspecto de áridos gruesos angulares de textura rugosa y áridos gruesos redondeados de textura lisa se muestra en Figura 3.10.

**FIGURA 3.9**  
FORMA DE  
LOS ÁRIDOS



Fuente: Holcim "Course of cement applications"

**FIGURA 3.10**  
ÁRIDOS  
ANGULARES  
Y ÁRIDOS  
REDONDEADOS



Fuente: Grupo Santa Laura

Las partículas desmenuzables son partículas muy débiles, que se desmenuzan con la presión de los dedos. Son muy poco comunes en los áridos del país.

La resistencia a la desintegración por sulfatos es un indicador de la resistencia de los áridos a los ciclos de congelación y deshielo.

El índice de trituración es un indicador que puede reemplazar o complementar el ensayo de desgaste de la máquina de Los Ángeles. Básicamente se mide los cambios granulométricos al someter a los áridos gruesos a un esfuerzo de compresión y a impacto los áridos finos.

La Dirección de Vialidad y la norma NCh163 define que una partícula es chancada cuando tiene dos o más caras fracturadas, es decir tiene al menos una arista viva. El ensayo es visual.

El carbón y lignito, muy poco presentes en los áridos del país, son partículas muy oscuras y débiles. Por densidad ascienden a la superficie.

**TABLA 3.14**  
REQUISITOS  
QUÍMICOS

Requisito Grueso	Valores límites	
	Fino	
1. Impurezas orgánicas (A) Solución patrón	máx.	3
Vidrios de color patrón	máx.	
2. Cloruros como Cl- referido al peso total (B)	% máx.	0,05
3. Sulfatos solubles referidos al peso seco (C)	% máx.	0,3
4. Reacción álcali-árido, método químico (D) Rc > 70 el árido es potencialmente reactivo si:		Sc > Rc
Rc < 70 el árido es potencialmente reactivo si:		Sc > 35 ± 0,5 Rc
(A) El color límite está fijado por un color patrón.		
(B) Hormigones pretensados y aplicaciones especiales pueden requerir otros requisitos establecidos en las normativas respectivas. El árido que no cumpla esta especificación podrá ser utilizado si cumple lo indicado en NCh170 respecto a la suma de Cl- aportados en las mezclas.		
(C) En el caso que no se cumpla con alguno de los requisitos se deben realizar mezclas de prueba según NCh1018 (hormigón) o NCh2260 (mortero).		
(D) En el caso que los áridos no cumplan los requisitos indicados, se podrán realizar ensayos complementarios como métodos de los prismas de mortero ASTM C 227, expansión a 3 y 6 meses ASTM C 1260, método petrográfico ASTM C 295, solicitar información complementaria respecto de sus niveles de peligrosidad sobre mezclas de prueba considerando lo establecido en NCh170.		

Fuente: NCh163:2013

Las impurezas orgánicas disminuyen la resistencia y retardan el fraguado.

Para determinar la importancia del contenido de cloruros, sulfatos y reacción álcali-árido referirse a 3.15 Durabilidad.

**TABLA 3.15**  
BANDAS  
GRANULOMÉTRICAS  
PARA ÁRIDO GRUESO

Tamices, mm	% acumulado que pasa para los siguientes grados (definidos por tamaños límites en mm)								
	63-37,5	50-25	50-4,75	37,5-19	37,5-4,75	25-4,75	19-4,75	12,5-4,75	9,5-2,36
75	100								
63	90 - 100	100	100						
50	35 - 70	90 - 100	90 - 100	100	100				
37,5	0 - 15	35 - 70	--	90 - 100	90 - 100	100			
25	--	0 - 15	35 - 70	20 - 55	--	90 - 100	100		
19	0 - 5	--	--	0 - 15	35 - 70	--	90 - 100	100	
12,5		0 - 5	10 - 30	--	--	25 - 60	--	90 - 100	100
9,5			--	0 - 5	10 - 30	--	20 - 55	40 - 70	90 - 100
4,75			0 - 5		0 - 5	0 - 10	0 - 10	0 - 15	10 - 30
2,36						0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 10
1,18									0 - 5

Fuente: NCh163:2013

**TABLA 3.16**  
BANDAS  
GRANULOMÉTRICAS  
PARA ÁRIDO FINO

Abertura tamiz (mm)	Tamaño máximo, Dn, mm		
	Hormigón y mortero	Mortero	
	4,75	2,36	1,18
9,5	100	--	--
4,75	95 - 100	100	--
2,36	80 - 100	95 - 100	100
1,18	50 - 85	70 - 100	95 - 100
0,600	25 - 60	40 - 75	50 - 100
0,300	5 - 30	10 - 35	15 - 40
0,150	0 - 10	2 - 15	2 - 20
Módulo de finura	3,45 - 2,15	2,83 - 1,75	2,38 - 1,40
% Retenido entre 0,315 y 0,160	--	< 25	< 25
% Retenido en dos mallas sucesivas	--	< 45	

Fuente: NCh163:2013

La granulometría es muy importante tanto en el hormigón fresco como en el hormigón endurecido.

Por una parte, afecta significativamente la trabajabilidad y esta, a su vez determina los requerimientos de agua; afecta la velocidad y cantidad de agua de exudación y la segregación de los materiales y también tiene influencia en la colocación y acabado del hormigón. Estas características del hormigón fresco también afectan las características del hormigón endurecido: resistencia, retracción y durabilidad.

Por otra parte, la granulometría es fundamental en el diseño de mezclas; con la mezcla de áridos lo que se busca es lograr la máxima compacidad: que los huecos que dejan las partículas mayores sean llenados por otras menores y así hasta que los vacíos más pequeños sean llenados por la pasta de cemento.

El tamaño máximo absoluto de un árido es la abertura del menor tamiz por el que pasa el 100% del material. El tamaño máximo nominal es el menor tamiz por el que pasa al menos el 90% del árido. En la práctica lo que se emplea es el tamaño máximo nominal.

El tamaño máximo nominal a utilizar depende de la estructura que se va a hormigonar. La norma NCh170 establece que este tamaño debe ser menor o igual que el menor de estos valores:

- 1/5 de la menor distancia entre las paredes interiores del moldaje.
- 3/4 de la menor distancia libre entre armaduras.
- 1/3 del espesor de losas armadas.

Los tamaños máximos indicados se pueden modificar si se verifica que la docilidad y los métodos de compactación son tales que el hormigón se puede colocar de forma satisfactoria.

La norma NCh163 define filler como un árido cuya mayor parte pasa por el tamiz de 0,075 mm y que se puede añadir a morteros y hormigones para obtener ciertas propiedades. Los requisitos son los que se muestran en Tabla 3.17, además el equivalente de arena debe ser mayor o igual a 75%.

**TABLA 3.17**  
GRANULOMETRÍA  
FILLER DEL  
ÁRIDO

Tamaño tamiz, mm	% acumulado que pasa
2	100
0,125	85 - 100
0,075	70 - 100

Fuente: NCh163:2013

## D. ENSAYOS PRÁCTICOS PARA DETECTAR ALGUNAS CARACTERÍSTICAS

### D.1 Densidades

La densidad aparente se utiliza para traspasar las masas a volumen. Las dosificaciones se estudian en masa, por lo que es un dato fundamental pues en obra, normalmente, los áridos se miden en volumen.

Para determinarla se seca el material hasta masa constante. Si es densidad apisonada se llena el recipiente en tres capas iguales, compactando cada capa con 25 golpes de una varilla; si es densidad suelta, el recipiente se llena dejando caer el árido lo más suelto posible. Luego se enrasa la superficie y se determina el peso del árido. La densidad está dada por

$$DA = \frac{\text{(Peso del árido)}}{\text{(Volumen del recipiente)}}$$

También se puede determinar la densidad húmeda. En ese caso se sigue el mismo procedimiento, sin secar el árido.

La densidad real se determina en laboratorio, normalmente junto con la absorción de agua. Es una característica imprescindible en el estudio de una dosificación. El árido se satura y luego se seca superficialmente, estado saturado con superficie seca (sss), y se determina la masa. Se calcula el volumen real de las partículas mediante desplazamiento de agua: se sumerge la muestra y se determina la masa sumergida, el volumen (Principio de Arquímedes) está dado por la diferencia entre la masa al aire y la masa sumergida. Con esto se tiene

$$DR_{sss} = \frac{\text{(Masa al aire sss)}}{\text{(Masa al aire sss - Masa sumergida)}}$$

Algunos ejemplos de densidades se muestran en Tabla 3.18

MATERIAL	DAS	DR SSS
Grava	1,55 - 1,65	2,65 - 2,70
Gravilla	1,65 - 1,70	2,60 - 2,65
Arena	1,70 - 1,80	2,55 - 2,65

**TABLA 3.18**  
VALORES TÍPICOS  
APROXIMADOS  
DE DENSIDADES  
DE ÁRIDOS

Fuente: ICH. Manual Básico de Construcción

## D.2. Volumen neto de bolón desplazador

- Llenar un tambor de capacidad conocida (ej. 250 L) con bolón hasta rasarlo.
- Vaciar agua medida hasta la misma altura.
- Diferencia entre capacidad del tambor y volumen de agua es el volumen neto de bolón.

## D.3. Dureza

- En gravas

Al golpearlas no deben quebrarse con facilidad. (La forma del árido también influye en su mayor o menor fragilidad, por ejemplo, las piedras en forma de lajas son más frágiles).

- En arena

Al frotarlas cerca del oído o apretarlas con los dedos contra una superficie dura (o bien entre las manos), si crujen, entonces son resistentes.

## D.4. Materias orgánicas

- En gravas y arenas

- Existencia de ramas, pasto y raicillas, etc.
- Olor característico a humedad fuerte o descomposición.
- Color oscuro (en arenas).

- En arenas

Preparar solución al 3% de soda cáustica, usando la proporción de 30 g de soda cáustica por litro de agua. (Es preferible usar agua destilada).

- Colocar 4 a 5 cm de arena en un frasco de vidrio transparente.
- Agregar la solución (hasta 3 cm sobre el nivel de la arena) y agitar.
- Dejar reposar unas 24 horas.
- Observar el color del líquido:

Incoloro o amarillo pálido → aceptable.

Más oscuro → exceso de materia orgánica (rechazar la arena o lavarla).

## D.5. Contenido de arcilla o limo en la arena

- Colocar una cantidad de arena en un frasco transparente. Agregar agua, agitar y dejar reposar.

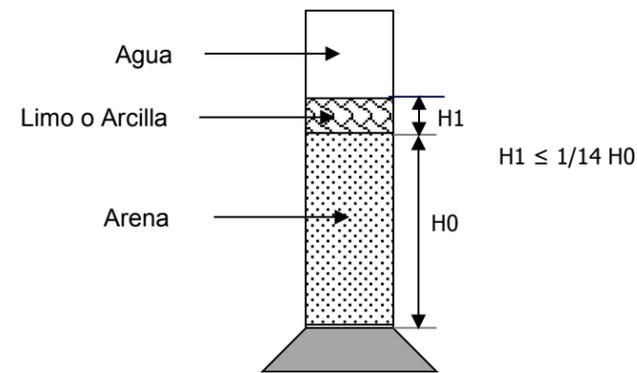
La arcilla o el limo queda en la parte superior como capa de color café claro. Se acepta si capa de Arcilla o Limo es menor a 1/14 de la altura de arena (ver Figura 3.11).

- Observando la suciedad que queda en las manos después de restregarse arena húmeda.

## D.6. Esponjamiento de la arena

- Vaciar arena sin compactar en una probeta graduada de capacidad 1 - 2 L (V1).
- Verter agua hasta inundar la arena.
- Agitar para eliminar burbujas y medir nuevo volumen (V2).
- Si se emplea una probeta o cilindro recto, en vez de volúmenes se puede medir las alturas.

**FIGURA 3.11**  
CONTENIDO DE  
ARCILLA



Fuente: Propia

### D.7. Contenido de humedad

- Pesar 2 kg de arena o 5 kg de grava, en estado natural (P1).
- Extender sobre una palangana metálica y secar a fuego lento hasta peso constante (P2).

## E. CONTROL DE CALIDAD

Se deben tomar las precauciones y medidas necesarias para que las características de los áridos considerados en la dosificación se mantengan inalteradas. Para este efecto se debe realizar un adecuado manejo y almacenamiento de ellos.

Cabe destacar que debido a las proporciones que ocupan en el hormigón (65 - 75% del volumen del hormigón) y a las variaciones intrínsecas de sus propiedades (principalmente granulometrías y contenido de humedad), es necesario controlar frecuentemente sus propiedades como también es recomendable no variar su procedencia durante la ejecución de la obra, para minimizar o eliminar fuentes de variación en la dosificación, con el fin de tener un hormigón que satisfaga la relación calidad/costo deseada.

### E.1. Manejo y almacenamiento de los áridos

En Cuadro 3.1 se presenta algunas recomendaciones.

**CUADRO 3.1**  
MANEJO Y  
ALMACENAMIENTO  
DE ÁRIDOS

Para evitar segregación y fragmentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Separación en 2 fracciones como mínimo (grava y arena).</li> <li>· En obras de gran volumen y/o cuando la cantidad de hormigones Grado G20 o superiores sea importante, es recomendable separar en mínimo 3 fracciones (arena, gravilla, grava).</li> <li>· Es recomendable acopios con taludes máximo 3H:1V.</li> <li>· Es recomendable mover o empujar los materiales en acopios con cargador frontal. Bulldozer y motoniveladora se aceptan siempre y cuando no fracturen el material.</li> <li>· No circulación de vehículos sobre acopios (produce fragmentación y contaminación).</li> <li>· Acopios lo más cerca de la planta de hormigón (evitar transporte excesivo).</li> <li>· Limitar caída vertical desde alturas (produce segregación y posible fragmentación).</li> <li>· Al vaciar el camión evitar la formación de un cono de árido, ya que el material más grueso rueda por la ladera, es decir se segrega.</li> <li>· Al acopiar arena seca, se debe proteger del viento (para evitar segregación). De preferencia debe mantenerse húmeda.</li> <li>· Si ha ocurrido degradación del agregado grueso (exceso de finos en el agregado grueso), debe hacerse un retamizado final antes de transferir el material a la betonera.</li> </ul>
Para evitar contaminación	<ul style="list-style-type: none"> <li>· En lo posible debe haber una separación física entre los acopios de áridos de diferente tamaño.</li> <li>· Vehículos para transporte de áridos, limpios y herméticos.</li> <li>· No acopiar áridos directamente sobre el terreno natural.</li> <li>· Eliminar toda capa vegetal y material suelto. El acopio se debe colocar sobre una capa debidamente compactada del mismo material o sobre un emplantillado de hormigón pobre de 10 cm aproximadamente.</li> <li>· Regar continuamente caminos próximos a acopios, para evitar que se levante polvo (arcilla) que pueda depositarse sobre los áridos.</li> <li>· Ubicación del acopio, respecto al viento predominante, de tal forma que se evite la contaminación.</li> </ul>
Para evitar variación en el contenido de humedad	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Mantener estable el contenido de humedad, principalmente en la arena, manteniendo drenaje adecuado. Agregado bien graduado, puede alcanzar contenido de humedad estable en 12 horas.</li> </ul>
Para evitar pérdida de trabajabilidad y disminuir la temperatura del hormigón	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Mantener los áridos saturados mediante nebulización de agua permanente en áridos gruesos. Esto produce contaminación de capas inferiores por concentración de finos procedentes de capas superiores. Se debe retirar la capa inferior cada cierto tiempo, cuando se observe el problema.</li> <li>· Orientar la zona de extracción de áridos para preparar hormigón hacia el Sur, para disminuir temperatura de los áridos.</li> </ul>

## E.2. Control de las propiedades

### A) Muestreo

En Tabla 3.19 se muestra las especificaciones de la norma NCh164 de muestreo de áridos.

**TABLA 3.19**  
MUESTREO DE  
LOS ÁRIDOS Y  
FRECUENCIAS

Toma de muestras en obra (desde acopios)	Extraer al menos tres porciones de áridos desde la mayor profundidad posible sin que se incluya material de superficie, ni de los primeros y últimos 30 cm de altura del acopio. Las porciones deben mezclarse, para obtener una muestra representativa.
Cantidades	30 kg para árido fino 2D (kg); D: tamaño en mm para árido grueso En forma práctica: Arena = 30 kg Gravilla = 45 kg Grava = 80 kg
Frecuencia de muestreo	Extraer una muestra cada 500 m <sup>3</sup> por tipo de árido, mínimo una muestra mensual y cada vez que haya cambio de proveedor.

Fuente: NCh164-2009

### B) Ensayos

Dependiendo del objetivo, la norma NCh163 establece los ensayos mínimos a realizar que se indican en Tabla 3.20.

**TABLA 3.20**  
ENSAYOS  
MÍNIMOS

Ensayos	Características
De caracterización	Son los destinados a determinar la aptitud de un árido para el uso en la elaboración de morteros y hormigones. En general, deben considerar todos los requisitos de las Tablas 3.13 y 3.14.
De control de recepción	Al menos: granulometría, finos bajo 0,075 mm, absorción de agua. Otros que se indiquen expresamente en la especificación particular de la obra con el fin de controlar: Propiedades críticas de un árido determinadas por factores locales (por ejemplo: sales solubles, impurezas orgánicas, % chancado, entre otros). Propiedades requeridas para obtener morteros y hormigones de características especiales (por ejemplo: resistencia al desgaste para hormigones de pavimentos, entre otros).

Fuente: NCh163:2013

## 3.2.4 ADITIVOS Y ADICIONES

El cuarto componente del hormigón, aditivos y/o adiciones, permite modificar los procesos físicoquímicos que experimenta el hormigón, contribuyendo a hacer más versátil el material, flexibilizando o modificando algunas de sus propiedades, para su mejor adaptación técnica a los requisitos de la obra y/o estructura particular.

### FACTORES A CONSIDERAR

- A) Uso de aditivos y adiciones
- B) Tipos de aditivos y adiciones
- C) Almacenamiento
- D) Manejo en obra

### A) USO DE ADITIVOS Y ADICIONES

Los aditivos y adiciones se seleccionan para que la mezcla de hormigón (o mortero) cumpla con los requisitos especificados, se adapte a la técnica de construcción empleada y sea económicamente óptima.

En la etapa de diseño de la mezcla (dosificación), se deben evaluar las diferentes variables involucradas, para seleccionar el tipo de aditivo o adición más adecuado, que permita a la mezcla cumplir con los requisitos impuestos, considerando los efectos negativos que puedan tener.

Los aditivos son compuestos químicos que se agregan al hormigón en pequeñas cantidades; con ellos se pueden modificar las características del hormigón fresco o del hormigón endurecido o de ambos. Los aditivos están regidos por la norma NCh2182.

Las adiciones son materiales que se agregan en proporciones mayores. Internacionalmente las adiciones más usadas son la escoria granulada de alto horno y los materiales puzolánicos, especialmente la ceniza volante. Como en Chile esos materiales ya están incorporados en los cementos, es inusual el empleo de adiciones.

## B) TIPOS DE ADITIVOS Y ADICIONES

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<p align="center"><b>PLASTIFICANTE REDUCTOR DE AGUA</b></p> <p>Dosis: especificada por los fabricantes. Generalmente varía entre 0,4 y 0,6 % respecto al peso del cemento.</p>
EFEECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
<p><b>Plastificante:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor docilidad con agua constante.</li> <li>- Facilita colocación y compactación.</li> </ul> <p><b>Reductor de agua:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor cantidad de agua para docilidad constante (reduce exudación).</li> <li>- Mayor resistencia al reducir razón A/C (igual o mayor a 10%).</li> <li>- Aumenta la impermeabilidad y la resistencia a ambientes agresivos al controlar la razón A/C.</li> </ul>
APLICACIONES RECOMENDADAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hormigones en general, para todo tipo de estructuras.</li> <li>- Hormigones de elementos estrechos o prefabricados.</li> <li>- Hormigones bombeados o premezclados.</li> </ul>
OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dependiendo de la dosis empleada, puede lograrse retardo en el inicio y término del fraguado.</li> </ul>

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<p align="center"><b>SUPERPLASTIFICANTE (O FLUIDIFICANTE)</b></p> <p>Dosis: especificada por los fabricantes. Generalmente varía entre 0,8 y 2 % respecto al peso del cemento.</p>
EFEECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumentan sensiblemente la docilidad conservando el agua constante sin perder cohesión</li> <li>- Fuerte reducción de agua conservando la docilidad.</li> </ul>
APLICACIONES RECOMENDADAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hormigones de alta resistencia.</li> <li>- Hormigones bajo agua.</li> <li>- Hormigones de piezas estrechas y difícilmente accesibles.</li> <li>- Hormigones bombeados.</li> <li>- Hormigones en tiempo caluroso.</li> <li>- Hormigones prefabricados.</li> <li>- Hormigones, mortero o lechada, fluidos sin segregación o decantación.</li> <li>- Reparaciones.</li> </ul>
OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La acción de estos compuestos es de tiempo limitado (30 - 60 minutos). Por esto se recomienda incorporar el aditivo antes de vaciar el hormigón en el lugar de colocación.</li> <li>- Dependiendo de la dosis empleada, puede obtenerse un significativo retardo en el inicio y término del fraguado.</li> </ul>

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<p align="center"><b>ACELERADORES DE FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO</b></p> <p>Dosis: especificada por los fabricantes. Generalmente varía entre 1 y 5 % respecto al peso del cemento.</p>
EFEECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incrementan el desarrollo de resistencia a temprana edad y disminuyen el tiempo inicial de fraguado.</li> </ul>
APLICACIONES RECOMENDADAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hormigonado en tiempo frío.</li> <li>- Hormigón proyectado.</li> <li>- Hormigones para prefabricados.</li> <li>- Reducción del plazo de desmolde.</li> <li>- Reparaciones.</li> </ul>
OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deben extremarse las precauciones para hormigón armado o pretensado, con productos que tengan cloruros u otros compuestos que puedan favorecer la corrosión.</li> <li>- Aumentan las contracciones durante el secado.</li> <li>- En comparación a mezclas sin aditivos se han observado resistencias finales menores.</li> </ul>

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<p align="center"><b>RETARDADORES DE FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO</b></p> <p>Dosis: especificada por los fabricantes. Generalmente varía entre 0,3 y 0,7 % respecto al peso del cemento.</p>
EFEECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Su principal característica es la de retrasar el inicio del fraguado, prolongando la docilidad por más tiempo.</li> </ul>
APLICACIONES RECOMENDADAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hormigonado en tiempo caluroso.</li> <li>- Hormigón en masa.</li> <li>- Transporte a grandes distancias.</li> <li>- Evitar las juntas frías al hormigonar por capas.</li> <li>- Hormigón bombeado.</li> </ul>
OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Una sobredosificación puede originar retardo excesivo.</li> <li>- Se deben acentuar las precauciones del curado (a causa de la duración del fraguado).</li> </ul>

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<p><b>INCORPORADORES DE AIRE</b></p> <p>Dosis: especificada por los fabricantes. Generalmente varía entre 0,05 y 0,20% respecto al peso del cemento.</p>
EFEECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Su principal función es dar resistencia al hormigón a la acción de ciclos hielo-deshielo</li> <li>- Otras propiedades como: <ul style="list-style-type: none"> <li>· Mayor docilidad (disminuye cantidad de agua requerida).</li> <li>· Menor capilaridad.</li> <li>· Menor exudación.</li> <li>· Reducción de la segregación.</li> </ul> </li> </ul>
APLICACIONES RECOMENDADAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hormigones expuestos a ciclo-deshielo.</li> <li>- Pavimentos.</li> <li>- Mezclas pobres (ásperas, poco cohesivas por falta de finos, difíciles de manejar).</li> </ul>
OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La acción de los incorporadores de aire puede conducir a significativas menores resistencias mecánicas.</li> </ul>

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<p><b>ADITIVOS COMBINADOS</b></p> <p>Combinan los efectos de dos o más aditivos, entre otros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Plastificadores retardadores.</li> <li>· Plastificadores aceleradores.</li> <li>· Plastificadores incorporadores de aire.</li> </ul> <p>Dosis: la de los plastificantes.</p>
EFEECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
<p>Actúan simultáneamente sobre distintas propiedades del hormigón, sin recurrir al uso de dos aditivos</p>
APLICACIONES RECOMENDADAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hormigones y morteros en los que se requiere actuar sobre distintas propiedades en forma simultánea con efectos moderados.</li> </ul>
OBSERVACIONES
<p>Limitación: en casos que se requiera mayor efecto de uno de los aditivos componentes, no es posible actuar independientemente sobre él.</p>

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<p><b>EXPANSORES - ESTABILIZADORES</b></p> <p>Dosis: especificada por los fabricantes. Generalmente varía entre 1 y 2% respecto al peso del cemento.</p>
EFEECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Producen ligera expansión del hormigón o mortero.</li> <li>- Mejoran el contacto con las paredes del lugar de colocación, lo que permite un mejor relleno.</li> </ul>
APLICACIONES RECOMENDADAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relleno de cavidades o grietas.</li> <li>- Anclaje de pernos y estructuras.</li> <li>- Grouting.</li> <li>- Relleno de vainas en hormigones postensados.</li> <li>- Reparaciones en hormigones confinados.</li> </ul>
OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es probable obtener menos resistencia mecánica.</li> <li>- Funcionan mejor en mortero que en hormigones.</li> </ul>

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<p><b>IMPERMEABILIZANTES - HIDRÓFUGOS</b></p> <p>Dosis: especificada por los fabricantes. Generalmente varía entre 1,0 y 4% respecto al peso del cemento.</p>
EFEECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Obstruyen poros y capilares, impidiendo la penetración del agua.</li> <li>- Efectos secundarios como disminución de la exudación.</li> </ul>
APLICACIONES RECOMENDADAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hormigones subterráneos.</li> <li>- Losas expuestas a la intemperie o humedad.</li> <li>- Estanques de hormigón.</li> <li>- Estucos exteriores.</li> <li>- Cimientos y sobrecimientos.</li> <li>- Estructuras de puentes y marítimas.</li> </ul>
OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es probable obtener menos resistencia mecánica.</li> <li>- La acción de estos productos en hormigones defectuosos, con un gran volumen de huecos, poros o nidos de piedra, es limitada.</li> <li>- Funcionan mejor en morteros que en hormigones.</li> </ul>

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<b>AGENTES FORMADORES DE ESPUMA</b>
EFEECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
- Su principal característica es la de obtener mezclas de baja densidad (hormigones celulares).
APLICACIONES RECOMENDADAS
- Hormigones celulares en general. - Morteros de terminación en plancha de cielo falso. - Recubrimiento de paneles y otros.
OBSERVACIONES
Producen los siguientes efectos: - Disminución considerable de las resistencias mecánicas. (Según la dosis de aditivo y de la densidad aparente). - Disminución de la conductividad térmica y acústica del hormigón.

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<b>MICROSÍLICA (ADICIÓN)</b>
Dosis: especificada por los fabricantes. Generalmente varía entre 4 % y 15 % respecto al peso del cemento.
EFEECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
- Incrementa las resistencias mecánicas y a la abrasión. - Reduce la permeabilidad. - Aumenta la resistencia a los ataques químicos. - Incrementa la cohesión. - Reduce la exudación. - Mayor durabilidad.
APLICACIONES RECOMENDADAS
- Hormigón de alta resistencia mecánica y a la abrasión. - Hormigón de pavimentos, carreteras y minería. - Construcción de alta impermeabilidad y otros.
OBSERVACIONES
- Su extrema finura incrementa la demanda de agua para obtener trabajabilidad, por lo tanto, se debe usar con aditivo plastificante o superplastificante. - Se debe ajustar la dosis óptima en cada caso específico. - Es de color gris oscuro a negro por lo que tiende a oscurecer al hormigón. - Su manejo debe ser cuidadoso. Por su extrema finura es un material respirable.

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<b>NANOSÍLICE (ADITIVO)</b>
Dosis: especificada por los fabricantes. Generalmente varía entre 1 % a 3 % respecto al peso del cemento.
EFEECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
- Los efectos son los mismos que los de la microsílíce.
APLICACIONES RECOMENDADAS
- Igual que la microsílíce.
OBSERVACIONES
- Se distribuye en forma líquida, disuelta en un superplastificante. - Se basa en sílice sintética, es mucho más fina y de mayor pureza que la microsílíce. - Se alcanza mayor resistencia a 1 día que con microsílíce.

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<b>ANTICONGELANTES</b>
EFEECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
- Rebajan la temperatura de congelación del agua del hormigón.
APLICACIONES RECOMENDADAS
- Hormigonado en tiempo frío (trabajo a temperatura hasta -10 °C).

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<b>RETARDADORES SUPERFICIALES</b>
EFEECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
Retardan superficialmente el fraguado.
APLICACIONES RECOMENDADAS
- Tratamiento de juntas de hormigonado. - Obtención de texturas rugosas.

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<b>PIGMENTOS</b>
Dosis: dependen del color que se busque, del cemento y de los áridos.
EFFECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
- Dar color al hormigón o mortero.
APLICACIONES RECOMENDADAS
- Prefabricados de colores (bloques, pastelones y otros). - Hormigones o morteros coloreados.
OBSERVACIONES
- Son óxidos metálicos: óxidos de hierro (rojo y amarillo), óxido de cromo (verde), óxido de cobalto (azul), óxido de titanio (blanco). Este último se utiliza para aclarar el hormigón, no reemplaza al cemento blanco. - Son extremadamente finos por lo que pueden requerir más agua, lo que se traduce en menores resistencias. Logrado el color se recomienda confeccionar hormigones de prueba para determinar el efecto en la trabajabilidad y en la resistencia. - Algunos, en particular el azul, son sensibles a la luz ultravioleta y tienden a degradarse con la luz solar.

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<b>HIPERPLASTIFICANTES</b>
Dosis: depende del objetivo por el que se aplica. Normalmente varía entre 0,2 y 1,2 % del peso del cemento.
EFFECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
- Reduce el agua de amasado hasta 40%. - Mejora la terminación superficial.
APLICACIONES RECOMENDADAS
- Hormigones autocompactantes. - Hormigones de alta fluidez. - Hormigonado bajo agua. - Hormigones de alta resistencia temprana y final.
OBSERVACIONES
- El diseño de la mezcla debe ser cuidadosamente estudiado para que pueda lograrse alta fluidez sin segregación. - Un exceso de aditivo provoca fuerte segregación.

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<b>VISCOSANTE</b>
Dosis: especificada por los fabricantes. Generalmente varía entre 0,15 % a 0,7 % respecto al peso del cemento.
EFFECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
- Aumenta la viscosidad. - La mezcla es más estable. - Disminuye la tendencia a la segregación.
APLICACIONES RECOMENDADAS
- Hormigones autocompactantes. - Hormigón con agregados que presentan granulometrías discontinuas. - Hormigones permeables.
OBSERVACIONES
- Para hormigones autocompactantes hay aditivos que combinan un hiperplastificante con un viscosante. - En general disminuyen la cantidad de aire incorporado.

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<b>INHIBIDOR DE CORROSIÓN.</b>
Dosis: normalmente se emplea en dosis de 5 litros por metros cúbicos de hormigón.
EFFECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
- Inhibe la corrosión en sus puntos más críticos. - Reduce el índice de penetración de los cloruros y la humedad en el hormigón.
APLICACIONES RECOMENDADAS
- Hormigones bajo agua. - Estructuras en zonas costeras.
OBSERVACIONES
- Es de esperar una disminución de las resistencias. - En general disminuyen la cantidad de aire incorporado.

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<b>ANTILAVADO</b>
Dosis: especificada por los fabricantes. Generalmente varía entre 0,3 % a 1,5 % respecto al peso del cemento.
EFFECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hace el hormigón más cohesivo disminuyendo el efecto de lavado de los finos, en particular del cemento, que provoca el agua.</li> <li>- Mejora la terminación superficial.</li> </ul>
APLICACIONES RECOMENDADAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hormigones bajo agua.</li> </ul>
OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Debe adicionarse al final de la confección del hormigón, cuando todos los componentes, incluso los otros aditivos, ya están incorporados.</li> </ul>

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<b>ENDURECEDOR SUPERFICIAL</b>
Dosis: especificada por los fabricantes. Generalmente varía entre 5 a 15 kg por metro cuadrado.
EFFECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumenta la resistencia a la abrasión.</li> <li>- Aumenta la resistencia al impacto.</li> <li>- Útil en reparación de losas de pavimentos en mal estado.</li> </ul>
APLICACIONES RECOMENDADAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pisos industriales.</li> <li>- Pavimentos de alto tráfico.</li> <li>- Pavimentos con circulación de equipos con ruedas de acero.</li> <li>- Reparaciones de pavimentos.</li> </ul>
OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se espolvorea manual o mecánicamente sobre la superficie del hormigón aún fresco. El acabado es mecánico (helicóptero).</li> <li>- En reparaciones se aplica puente de adherencia a la superficie y el endurecedor se mezcla con agua.</li> </ul>

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<b>MEMBRANA DE CURADO</b>
Dosis: especificada por los fabricantes. Para las membranas en base a agua el consumo es del orden de 5 lt/m <sup>2</sup> . Para membranas en base a resina el consumo es de aproximadamente 0,2 lt/m <sup>2</sup> .
EFFECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forman una película protectora en la superficie donde se ha aplicado, evitando la pérdida de agua y dando cierta aislación térmica.</li> </ul>
APLICACIONES RECOMENDADAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Curado de pavimentos.</li> </ul>
OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son más efectivas las membranas a base de resinas.</li> <li>- La formación de la película protectora es mucho más rápida en las membranas a base de resinas.</li> </ul>

TIPO DE ADITIVO O ADICIÓN
<b>IMPERMEABILIZANTES POR CRISTALIZACIÓN</b>
Dosis: especificada por los fabricantes. Normalmente 1% de la masa de cemento.
EFFECTO EN EL HORMIGÓN O MORTERO
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduce la penetración de agua bajo presión.</li> <li>- Reduce la absorción de agua.</li> </ul>
APLICACIONES RECOMENDADAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructuras donde se requiera impermeabilidad.</li> </ul>
OBSERVACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se puede afectar el tiempo de fraguado.</li> </ul>

### C) ALMACENAMIENTO

Se deben seguir las instrucciones entregadas por el fabricante. En general se deben conservar los envases cerrados, en un lugar fresco y seco. Cuando se requiera realizar el traslado del producto a estanques para dosificar, se deben eliminar los residuos de aditivos preexistentes antes de vaciar el nuevo. Los aditivos deben usarse cronológicamente según el orden de llegada, verificando además su vigencia.

Estos aditivos tienen una duración variable según especificaciones del fabricante. Normalmente va de 6 a 12 meses.

## D) MANEJO EN OBRA

Hay que evitar decantación, para este efecto, en obras en donde su uso es importante se colocan agitadores en los tambores. En caso contrario, se deben agitar los envases antes de su uso.

Los aditivos líquidos se deben adicionar directamente al equipo mezclador cuando ya se han incorporado todos los otros componentes y sólo queda parte de agua de mezclado. No es recomendable diluirlos en el agua de amasado.

Se recomienda usar equipos de medición que permitan una precisión del 1% (en peso o volumen), a lo menos, de la cantidad medida.

## 3.3

# CLASIFICACIÓN Y DESIGNACIÓN DEL HORMIGÓN

### 3.3.1 CLASIFICACIÓN DEL HORMIGÓN.

La norma NCh170 clasifica al hormigón en grados según sea la resistencia a compresión o a tracción por flexión.

La clasificación por resistencia a compresión se basa en la resistencia especificada,  $f'c$ , a 28 días, medida en probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura (NCh1017 y NCh1037).

La clasificación por resistencia a compresión se indica en Tabla 3.21.

**TABLA 3.21**  
CLASIFICACIÓN  
DE LOS  
HORMIGONES  
POR RESISTENCIA  
A COMPRESIÓN

Grado	Resistencia especificada, $f'c$ , MPa
G05	5
G10	10
G15	15
G20	29
G25	25
G30	30
G35	35
G40	40
G45	45
G50	50
G55	55
G60	60
Pueden existir grados mayores a los indicados.	
En casos excepcionales, el proyectista puede autorizar el empleo de probetas cúbicas, indicando el factor de conversión.	

Fuente: NCh170:2016

En cuanto a la resistencia a tracción por flexión, se basa en la resistencia especificada,  $f't$ , a 28 días medida en probetas prismáticas de sección 15x15 cm, ensayada con carga en los tercios de la luz. (NCh1017 y NCh1038).

Esta clasificación se muestra en Tabla 3.22.

**TABLA 3.22**  
CLASIFICACIÓN  
DE LOS  
HORMIGONES  
POR RESISTENCIA  
A TRACCIÓN POR  
FLEXIÓN

Grado	Resistencia especificada, f't, MPa
HF3,0	3,0
HF3,5	3,5
HF4,0	4,0
HF4,5	4,5
HF5,0	5,0
HF5,5	5,5
HF6,0	6,0
Pueden existir grados mayores a los indicados.	

Fuente: NCh170:2016

### 3.3.2 DESIGNACIÓN DEL HORMIGÓN.

La designación del hormigón debe considerar a lo menos lo siguiente:

- Grado de resistencia mecánica especificada.
- Fracción defectuosa.
- Tamaño máximo nominal del árido.
- Asentamiento de cono.

Con esto se tiene, por ejemplo

G30(10)20/8

Es un hormigón con resistencia especificada a 28 días de 30 MPa (en probeta cilíndrica), 10% de fracción defectuosa, árido de tamaño máximo nominal de 20 mm, y asentamiento de cono de Abrams de 8 cm.

Además de lo indicado, la designación se puede complementar con otras características.

Se sigue empleando con frecuencia la designación "H". H30 implica una resistencia especificada a 28 días de 30 MPa medida en probeta cúbica de 20 cm de arista.

Es común el empleo del carácter "B" para designar a los hormigones bombeables. Así un hormigón GB30 es un hormigón Grado 30 que tiene las características que lo hacen apto para el bombeo.

Se emplea la misma designación para los hormigones a edades tempranas (1, 3, 7 o 14 días) agregando una identificación de la edad. Por ejemplo, G25(10)40/10 R7, se trata de un hormigón que debe satisfacer el Grado 25 a los 7 días de edad.

Además de lo anterior, la industria del premezclado emplea diferentes caracteres para identificar hormigones autocompactantes, con fibras, con aditivos adicionales, con dosis de cemento exigida u otros.

## 3.4

### DISEÑO DE MEZCLA

TEMAS  
TRATADOS

- Introducción
- Información requerida previo a la dosificación
- Disposiciones mínimas según NCh170
- Proceso de dosificación
- Recomendaciones para corregir dosificaciones

#### 3.4.1 INTRODUCCIÓN.

En general, los requerimientos del hormigón endurecido (resistencia y durabilidad) son establecidos por el diseñador de la estructura; las propiedades del hormigón fresco quedan definidas por el tipo de construcción y por las técnicas de colocación y compactación.

Estos dos grupos de requerimientos son la base para el diseño de la mezcla, teniendo en cuenta el grado de control que se ejerza en la obra.

Con esto se puede definir que la dosificación es el proceso de elección de los materiales adecuados y la determinación de sus cantidades relativas con el objeto de obtener un producto lo más económico posible y que cumpla los requerimientos de consistencia, resistencia y durabilidad.

Además, puede haber casos con otros requerimientos, como apariencia, calor de hidratación, retracción, densidad u otros.

Cualquiera que sea el método utilizado, las proporciones calculadas siempre deben ser revisadas por medio de hormigones de prueba. Estos hormigones de prueba pueden ser confeccionados en laboratorio o, preferentemente, en obra a escala normal, no en las pequeñas cantidades que se emplean en laboratorio.

Según NCh170, para la elección de la docilidad, al menos se debe considerar:

- Geometría del elemento a hormigonar.
- Cuantía, diámetro y disposición de los refuerzos.
- Métodos y equipos de transporte hasta el sitio de descarga.
- Métodos y equipos de transporte y colocación en obra.
- Terminación superficial.

A lo anterior debe agregarse el sistema y equipos de compactación en obra.

La dosis de cemento debe ser la mayor que resulte de los requisitos de durabilidad (Ver 3.15) o de resistencia estructural.

Para la dosis de áridos hay que considerar sus características (granulometría, densidades, absorción, tipo, forma, textura, entre otras) de manera de obtener un árido combinado que proporcione al hormigón la compacidad y docilidad adecuada.

Para los aditivos hay que seguir las recomendaciones de los fabricantes y considerar los efectos secundarios que pueden ser adversos. Es recomendable realizar hormigones de prueba para determinar el efecto real del aditivo y la dosis usada.

### 3.4.2 INFORMACIÓN REQUERIDA PREVIO A LA DOSIFICACIÓN

Para que la dosificación efectuada sea compatible a la obra en particular, es necesario conocer ciertos antecedentes mínimos, tales como los que se presentan en Tabla 3.23.

Tabla 3.23

Información requerida para dosificar

ANTECEDENTES	ASPECTOS MÁS RELEVANTES
Resistencia especificada (del proyecto) y fracción defectuosa aceptada	<ul style="list-style-type: none"> <li>La resistencia especificada a la compresión, <math>f'c</math>, (ft si se trata de resistencia a la tracción por flexión), a una edad determinada, debe venir indicada en el proyecto. A menos que se indique lo contrario, la fracción defectuosa es 10%.</li> </ul>
Condiciones ambientales y tipo exposiciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es determinante en la selección del tipo de cemento y su dosis mínima y la selección de aditivos y adiciones.</li> </ul>
Características de los materiales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Características del cemento.</li> <li>Tipo.</li> <li>Características de los áridos.</li> <li>Granulometría.</li> <li>Densidad real <math>s_s</math> y absorción.</li> <li>Densidad aparente seca en caso de dosificación en volumen.</li> <li>Otros según el caso (forma, textura).</li> </ul>
Características de los elementos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las características que influyen son:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Dimensiones.</li> <li>Forma.</li> <li>Espaciamiento del refuerzo.</li> </ul> </li> </ul>
Características de la obra	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nivel de control previsto en la obra tal como:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Laboratorio en obra.</li> <li>Personal especializado.</li> <li>Tipo de dosificación (peso o volumen).</li> <li>Otros.</li> </ul> </li> </ul>

### 3.4.3 DISPOSICIONES MÍNIMAS SEGÚN NCH170.

La norma NCh170 establece para el hormigón reforzado y expuesto a condiciones no agresivas, la dosis mínima de cemento es de 240 kg por metro cúbico.

Cuando el hormigón está expuesto a ciclos de congelación y deshielo, y dependiendo del grado de exposición, hay Grados de resistencia y contenidos de aire incorporado mínimos (Ver 3.15 Durabilidad).

Si hay ataque de cloruros o sulfatos la norma especifica Grados de resistencia mínima y dosis de cemento mínima (Ver 3.15 Durabilidad).

El mínimo para hormigones en ambiente seco o protegidos es G17.

### 3.4.4 PROCESO DE DOSIFICACIÓN

La norma NCh170 sugiere el proceso de dosificación que se describe a continuación.

El estudio de una dosificación se realiza para obtener 1 m<sup>3</sup> de hormigón, es decir 1000 litros.

Con esto, la fórmula básica de una dosificación es:

$$C + W + u + G + A + F + Ad = 1000 \text{ lt (1 m}^3\text{)}$$

en que cada término corresponde al volumen real de los componentes del hormigón: C es cemento, W es agua libre, o volumen total de aire, G corresponde a las gravas, A es la arena, F las adiciones y Ad los aditivos.

Se recuerda que el volumen real es la razón entre la masa y la densidad real.

Dada la variabilidad de los resultados de resistencia que se obtiene en el hormigón, es necesario alcanzar una resistencia promedio superior a la especificada. Normalmente, la resistencia media requerida está dada por:

$$f_{cr} = f'c + t \cdot s$$

en que:

$f_{cr}$  = resistencia media requerida, MPa

$f'c$  = resistencia especificada, MPa

t = parámetro estadístico que depende de la fracción defectuosa (1,282 para fracción defectuosa de 10%)

s = desviación normal que se espera de las resistencias, MPa. La desviación normal es propia del proceso de fabricación y control. En ella influye notoriamente, por ejemplo, la medición de los materiales; será más baja si se miden en masa en equipos calibrados, será mayor si se emplea medición en volumen controlado y corrección por esponjamiento y la desviación normal será mucho mayor si la medición se hace en volumen sin mayor control

Para el cálculo de la dosificación los áridos se consideran en estado saturado superficialmente seco. Hecho el cálculo, los resultados se pueden expresar en estado seco haciendo las correcciones por absorción de los áridos.

Para estimar la cantidad de agua necesaria para obtener el asentamiento de cono que se persigue, hay que tener en cuenta el tamaño máximo del árido, su forma y textura, así como también el

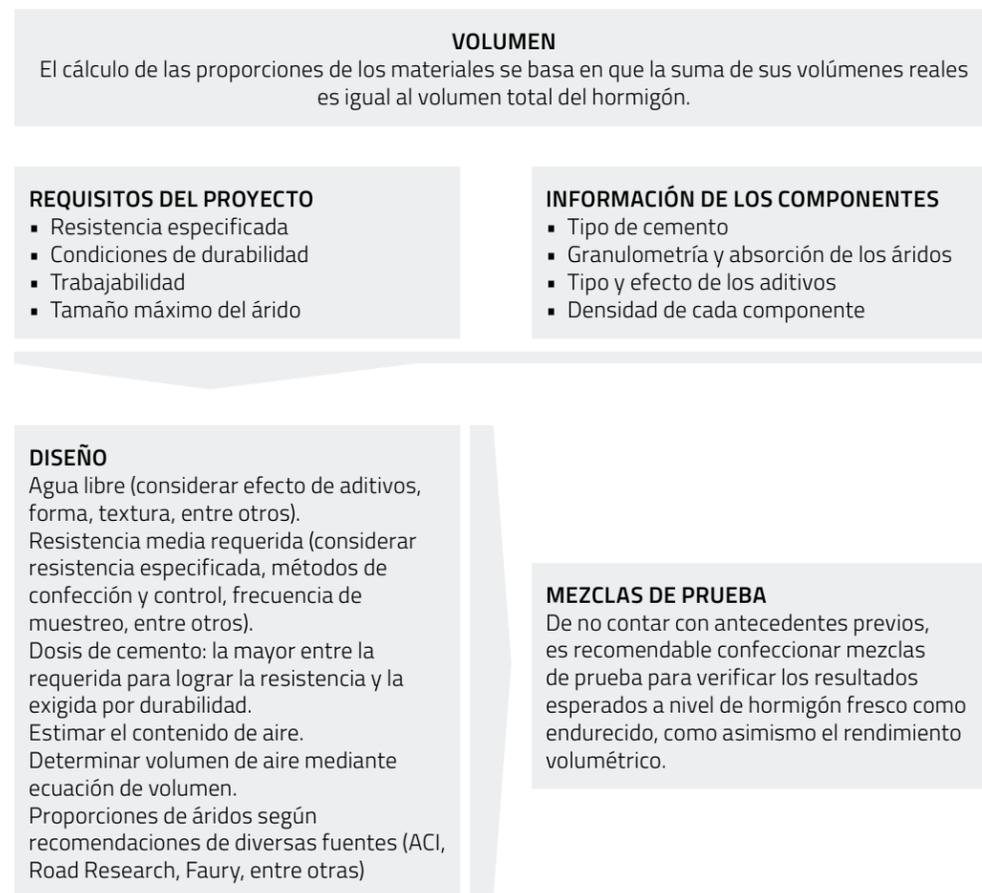
efecto que pueden provocar los aditivos y adiciones, entre otros. La estimación del agua se puede basar en experiencias anteriores o en hormigones de prueba de laboratorio.

La dosis de cemento es la mayor entre la requerida para obtener la resistencia media requerida y la exigida por condiciones de durabilidad.

El volumen de áridos es la diferencia entre 1000 litros y el volumen real de los otros componentes. Para determinar las proporciones de cada uno de los áridos es posible utilizar diversas recomendaciones, como ACI, Road Research, Faury u otras.

En Figura 3.12 se presenta un resumen del proceso de dosificación propuesto por NCh170.

**FIGURA 3.12**  
RESUMEN DEL PROCESO DE DOSIFICACIÓN



Fuente: NCh170:2016

### 3.4.5. RECOMENDACIONES PARA CORREGIR DOSIFICACIONES

Las dosificaciones realizadas teóricamente se deben readecuar a las condiciones de obra.

### A) CONTENIDO DE GRAVA EN LA ARENA

Si el contenido de grava en la arena está variando durante la construcción, o el aspecto es arenoso o pedregoso, es conveniente ajustar la dosificación en la forma que se señala en Cuadro 3.2.

**CUADRO 3.2**  
CORRECCIÓN DEL CONTENIDO DE GRAVA

Método de corrección
<p>Se sugiere el siguiente procedimiento práctico.</p> <p>a) Secar hasta masa constante a 100 °C en estufa o anafre, una cantidad de arena mayor a 1 kg registrando su peso seco (ma).</p> <p>b) Tamizar esta muestra por tamiz de 4,75 mm registrando las masas del material retenido (g) y del que pasa dicha malla (a).</p> <p>c) La masa total es: g + a.</p> <p>d) El porcentaje de grava contenido en la arena seca está dado por:  <math display="block">\%G = g/ma * 100.</math></p> <p>e) Este porcentaje debe compararse con el determinado o previsto en la dosificación inicial.</p> <p>f) Si el porcentaje real de grava es mayor, o menor, al previsto inicialmente en la dosificación, se deberá aumentar la arena y disminuir la grava, o viceversa, en forma tal de rectificar el desvío.</p> <p><b>OBSERVACIÓN:</b>                      Este método de corrección es suficiente para pequeñas proporciones de grava en la arena (por ejemplo, máximo un 20%). Se debe velar que las correcciones se realicen de tal forma que el porcentaje total de áridos bajo 5 mm sea la misma que la considerada en la dosificación original.</p>
Características
<p>Frecuentemente en Chile se suministra arena que contiene ciertas proporciones de grava en la arena. Si la dosificación se ha realizado mediante un método empírico (ACI), o bien se han usado proporciones preestablecidas y no se modifica la razón arena/grava, se estarían agregando mayores cantidades de grava, lo que conduciría, entre otras cosas, a hormigones de trabajabilidad inadecuada.</p>

Fuente: ICH. Manual del Hormigón

### B) CONTENIDO DE HUMEDAD

Cuando se realiza una dosificación, se basa en que el estado de los áridos es saturado superficialmente seco (S.S.S.) y la dosificación se entrega considerando los áridos en estado seco. En obra, los áridos se encuentran normalmente con cierto grado de humedad, lo que hace necesario corregir la dosificación original para no alterar los valores calculados.

Para evitar variaciones de trabajabilidad en el hormigón producidas por absorción de los áridos, se recomienda que éstos tengan una humedad igual o superior a la absorción en el momento de su empleo.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Se determina para cada árido la humedad respecto al árido seco.
- Se corrige la cantidad de cada árido, aumentándola en la misma cantidad en peso que el agua aportada por la humedad.
- Se corrige la cantidad de agua de amasado, disminuyéndola en la misma cantidad en peso que el agua libre aportada por los áridos, de modo de mantener invariable la razón agua/cemento.

En Tabla 3.24 se muestra un ejemplo de corrección.

**TABLA 3.24**  
CORRECCIÓN  
POR HUMEDAD

Árido	Humedad total determinada, (%)	Proporciones de áridos en estado seco, (kg/m <sup>3</sup> )
Grava	1,5	800
Arena	5,0	500
Agua de amasado, lt/m <sup>3</sup>		180
Cálculos		
Agua que aporta la Grava, lt	1,5% de 800 kg =	12
Agua que aporta la Arena, lt	5,0% de 500 kg =	25
Grava corregida, kg/m <sup>3</sup>	800 + 12	812
Arena corregida, kg/m <sup>3</sup>	500 + 25	825
Agua corregida, lt/m <sup>3</sup>	180 - 12 - 25	143

### C) CORRECCIÓN POR ESPONJAMIENTO PARA DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN

Es la corrección más importante cuando los áridos se miden en volumen dado los altos valores que puede alcanzar el esponjamiento, lo que no está considerado en el estudio de dosificación.

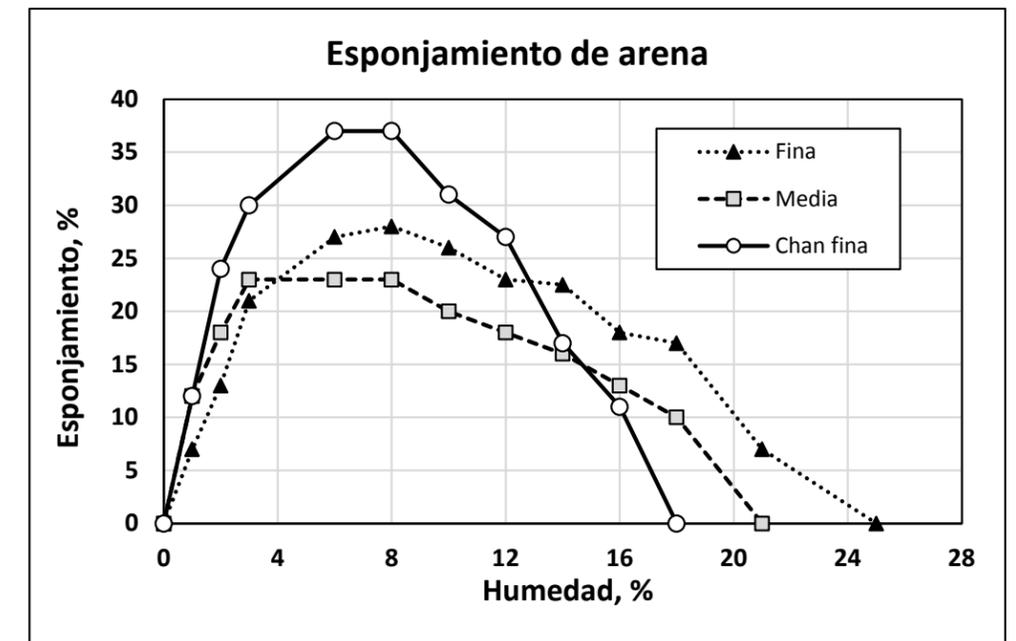
El esponjamiento es un aumento aparente del volumen de los áridos finos cuando están húmedos. Depende de la humedad, de la finura del árido y de su textura, como se muestra en Figura 3.13.

El no corregir por esponjamiento se traduce en hormigones pedregosos, que facilitan la segregación y la exudación, y que son difíciles de colocar. Por otra parte, el rendimiento es menor, no se alcanza al metro cúbico.

Para determinar el esponjamiento se emplea una probeta graduada o un cilindro recto. Se agrega arena húmeda y se mide el volumen (o la altura). Luego se agrega un exceso de agua, se agita la probeta y se deja en reposo, la arena se compacta y ocupa un volumen menor (o altura menor), como se muestra en Figura 3.14.

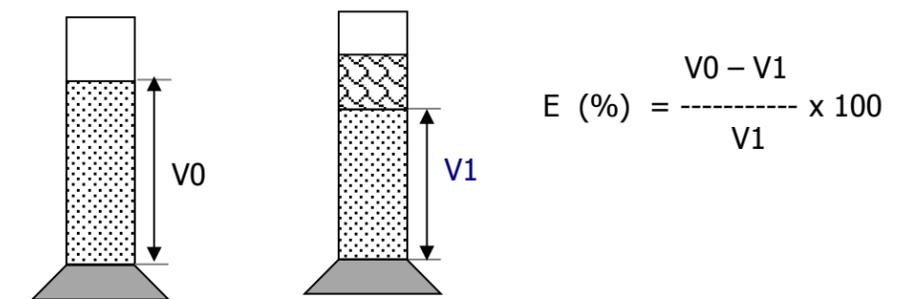
Dado que varía con la humedad, lo recomendable es determinar el esponjamiento al menos dos veces al día: temprano en la mañana y después de almuerzo.

**FIGURA 3.13**  
ESPONJAMIENTO



Fuente: Holcim. "Course of Cement Applications"

**FIGURA 3.14**  
DETERMINACIÓN DEL  
ESPONJAMIENTO



Fuente: Propia

Ejemplo: Si la cantidad de arena dosificada es de 500 lt en estado seco, y ésta tiene un esponjamiento de un 20%, en obra se debe ocupar un volumen mayor.

Esponjamiento arena = 20% de 500 lt = 100 lt

∴ el volumen necesario es: (500 + 100) = 600 lt

## 3.5

# FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN

*Comprende todas las actividades relacionadas con la preparación de hormigones en obra, e incluye: medición de materiales, carguío y amasado en la hormigonera y descarga del hormigón.*

TEMAS TRATADOS	3.5.1	Medición de los materiales
	3.5.2	Mezclado
	3.5.3	Determinación de la uniformidad
	3.5.4	Recomendaciones

### 3.5.1. MEDICIÓN DE LOS MATERIALES

Los objetivos básicos de una adecuada medición de los materiales son respetar la dosificación estudiada para el hormigón y lograr uniformidad de las amasadas.

#### A) MEDICIÓN EN VOLUMEN

La medición en volumen es la más empleada para confeccionar hormigones en obra; sin embargo, la imprecisión de los volúmenes acarrea una fuerte variabilidad.

Según la norma NCh170, la medición en volumen de amasadas individuales se puede emplear sólo en hormigones G17 o inferiores (aproximadamente H20 o inferiores) siempre que:

- El cemento sea medido en sacos completos o medios sacos. En caso de emplear medios sacos, lo recomendable es estimar el primer medio saco y usar el resto de ese saco en la amasada siguiente.
- Se disponga de equipos que midan con una tolerancia de  $\pm 5\%$  el volumen equivalente a la masa especificada en la dosificación.
- Se haya determinado la equivalencia a la dosificación en masa.
- Se corrija por esponjamiento el volumen de los áridos.
- La dosificación, el método de fabricación y control del hormigón se encuentren estipulados en las especificaciones del proyecto.

#### B) MEDICIÓN EN PESO

Los materiales se deben medir en masa, salvo el agua y los aditivos que se pueden medir en volumen.

Los equipos de medición deben calibrarse periódicamente.

Las tolerancias en la medición son las que se indican en Tabla 3.25.

**TABLA 3.25**  
TOLERANCIAS PARA LA MEDICIÓN DE LOS MATERIALES.

Material	Tolerancia, %	OBSERVACIONES
Cemento	$\pm 1$	Si se emplea sacos, el cemento puede ser medido en sacos completos.
Agua de amasado	$\pm 1$	Esta tolerancia aplica sólo a la parte del agua de amasado que se agrega en el carguío inicial.
Áridos	$\pm 3$	Para los áridos, la tolerancia aplica a cada fracción de éstos.
Aditivos	$\pm 3$	Según recomendaciones del fabricante.
Adiciones	$\pm 3$	Según recomendaciones del fabricante.

Fuente: NCh170:2016

### 3.5.2 MEZCLADO

#### A) TIPOS DE BETONERAS.

Según la posición del eje en torno al cual giran, las betoneras pueden ser:

- de eje horizontal
- de eje inclinado
- de eje vertical

Las hormigoneras de eje horizontal se cargan por detrás y la descarga se realiza por cambio del sentido de giro.

Las betoneras de eje inclinado se cargan por la boca. Las más chicas descargan inclinando el equipo; las más grandes descargan por cambio del sentido de giro.

Las betoneras de eje vertical se emplean en la confección de hormigones muy secos, comunes en muchos elementos prefabricados, ya que las otras no son capaces de conseguir una mezcla homogénea. Se cargan por la zona superior y la descarga se realiza por la apertura de una compuerta en la zona inferior.

La velocidad de giro ideal depende de las dimensiones y del sentido del eje.

Para las betoneras de eje horizontal o inclinado se tiene que  $DN2 = 350 - 450$  y para las betoneras

de eje vertical  $DN2 = 200 - 250$ . En esas relaciones,  $D$  es el diámetro del tambor en metros y  $N$  es la velocidad en rpm.

Ver Figuras 3.15 y 3.16

**FIGURA 3.15**  
BETONERAS EJE  
HORIZONTAL Y EJE  
INCLINADO



Fuente: Catálogo Lemaco

**FIGURA 3.16**  
BETONERA DE  
EJE VERTICAL



Fuente: Catálogo Liebherr

## B) ORDEN DE CARGUÍO Y TIEMPO DE MEZCLADO.

En general, el mejor mezclado se logra agregando los materiales en el siguiente orden:

- 3/4 partes del agua a emplear
- Todo el árido grueso (grava y/o gravilla)
- Toda la arena
- Todo el cemento
- Los aditivos
- El resto del agua necesaria para lograr el asentamiento de consigna

Se permite el ajuste de la docilidad mediante la adición de agua o aditivos. El ajuste con agua se puede realizar una sola vez, en el momento previo al inicio de la descarga. En el caso de ajustar mediante aditivos, el diseñador de la dosificación debe indicar el tipo, dosis y modo de empleo del producto.

El tiempo de mezclado debe ser tal que asegure la homogeneidad del hormigón.

Un tiempo de mezclado insuficiente afecta negativamente todas las propiedades. Puede quedar cemento que no participa de la mezcla. Si hubiera aditivos, estos necesitan tiempo para dispersarse en la masa del hormigón, en particular si se considera el pequeño volumen en que se emplean.

Un tiempo de mezclado excesivo produce segregación ya que el mortero del hormigón se empieza a adherir a las paredes del tambor o a las espas. También puede aumentar la temperatura del hormigón y cambiar la granulometría de los áridos especialmente si estos son livianos.

### 3.5.3 DETERMINACIÓN DE LA UNIFORMIDAD

Cualquiera que sea el equipo empleado en el mezclado, es esencial que se produzca un suficiente intercambio de los materiales dentro de las diferentes partes de la cámara de mezclado de manera de producir un hormigón uniforme.

La eficiencia del mezclado puede ser medida mediante la variabilidad que presentan distintas fracciones de la mezcla.

La norma NCh170 indica que, en general, la efectividad del equipo mezclador se debe verificar determinando la uniformidad según NCh1789.

El ensayo se debe realizar al menos:

- Al instalar un equipo de producción de hormigón
- Cuando se modifiquen los procedimientos de mezclado
- Cuando se aprecie visualmente una uniformidad deficiente durante la descarga
- Una vez al año para cada equipo de mezclado

Para esta determinación se toman muestras del primer y tercer tercio de la amasada, cada una con un volumen mayor a 60 litros. Cada muestra se somete a 6 ensayos. Estos ensayos y las diferencias máximas de ambos se muestran en Tabla 3.26.

El hormigón de una misma amasada debe cumplir a lo menos con cuatro de los cinco primeros requisitos que se indican en la tabla que antecede.

El hormigón con aire incorporado debe cumplir, además, con el requisito 6.

**TABLA 3.26**  
REQUISITOS DE UNIFORMIDAD DEL HORMIGÓN FRESCO DE UNA AMASADA

Requisito	Diferencia máxima	Norma de ensayo
1) Densidad aparente del hormigón	15 kg/m <sup>3</sup>	NCh1564
2) Docilidad (trabajabilidad)		
a) para asentamiento de cono promedio < 10 cm	2,5 cm	NCh1019
b) para asentamiento de cono promedio ≥ 10 cm	4,0 cm	
3) Resistencia a compresión a 7 días, diferencia con respecto al promedio	7,5 %	NCh1037
4) Porcentaje de grava	6,0 %	NCh1789
5) Densidad del mortero	1,6 %	NCh1789
6) Contenido de aire incorporado	1,0 %	NCh1564

Fuente: NCh1789.Of86

El porcentaje de grava presente en las muestras se determina por tamizado bajo agua a presión.

La densidad del mortero del hormigón que se analiza es función de la densidad aparente del hormigón fresco, del porcentaje de grava, de la densidad real de la grava saturada superficie seca y del contenido de aire.

### 3.5.4 RECOMENDACIONES

La meta de todos los procedimientos de medición y amasado es producir un hormigón uniforme que posea las características requeridas.

#### A) EQUIPOS

En particular las betoneras de eje horizontal y de eje vertical deben funcionar debidamente niveladas por lo que deben tener buenas fundaciones.

Se deben ubicar en lugares y posiciones adecuadas para que el hormigón no se contamine. (Por ejemplo, contra el viento dominante).

La betonera debe limpiarse cada vez que haya una detención de funcionamiento de aproximadamente 1 hora y, al menos, diariamente. Para ello basta colocar árido grueso y exceso de agua y hacer funcionar la betonera y luego de un tiempo vaciar el contenido. Repetir el proceso hasta que el agua salga limpia.

Las betoneras deben tener un programa de mantenimiento mecánica (revisión de paletas u otras piezas sometidas a desgaste). No se debe aceptar desgaste de piezas mayor a un 10% de la medida original.

También debe verificarse que los implementos eléctricos están en perfecto estado. Esto es particularmente importante si se considera que se trabaja en ambiente húmedo.

Los equipos de pesaje deben ser de buena calidad, sometidos a revisión y calibración periódica. Es recomendable calibrar los equipos volumétricos, aun cuando sean nuevos.

#### B) MATERIALES

No acopiar un exceso de sacos de cemento cerca de la betonera.

Si se emplea tambores para el agua, vaciarlos periódicamente, al menos una vez a la semana.

Evitar la segregación de los áridos en el momento de introducirlos a la hormigonera y no contaminarlos con polvo.

Mantener los envases de aditivos cerrados.

#### C) DEL PROCESO

No se debe exceder la capacidad de carga de la hormigonera.

El pesaje debe ser preciso con las proporciones requeridas.

Si la medición de los áridos es en carretillas, hay que considerar que 90 litros de grava pesan aproximadamente 150 kg para no exigir sobreesfuerzos a los operarios.

Se debe seguir una secuencia apropiada de carguío a la betonera.

El tiempo de amasado y la velocidad de giro deben ser los adecuados.

La descarga debe ser sin restricciones de flujo y con dirección de caída vertical (para evitar segregación).

## 3.6

### TRANSPORTE

*Incluye las operaciones necesarias para llevar el hormigón desde la mezcla del agua con el cemento hasta la descarga en el punto de colocación.*

TEMAS TRATADOS	3.6.1. Selección del medio de transporte
	3.6.2. Tiempo máximo de transporte
	3.6.3. Tipos de equipos
	3.6.4. Recomendaciones

#### 3.6.1. SELECCIÓN DEL MEDIO DE TRANSPORTE

Cualquiera que sea el medio de transporte este debe asegurar la homogeneidad del hormigón.

Los medios de transporte deben asegurar la calidad del hormigón, conservando la uniformidad, docilidad, razón A/C y otras características.

No puede haber pérdidas de material, evaporación, segregación o contaminaciones.

Para su selección debe considerarse principalmente:

- Protección de las condiciones climáticas
- Distancia al punto de colocación
- Capacidad de entrega
- Accesibilidad al punto de colocación
- Características de la mezcla (docilidad o trabajabilidad y tamaño máximo)

#### 3.6.2. TIEMPO MÁXIMO DE TRANSPORTE

En el caso que el transporte se efectúe por medio de camiones mezcladores o agitadores, el tiempo de transporte y entrega, contado desde la hora de carga hasta el fin de la descarga, no debe ser mayor que dos horas. Este plazo se puede aumentar si en el diseño de la mezcla se han tomado medidas técnicas que lo permitan.

En obra, cualquiera que sea el equipo de transporte, el volumen de hormigón se debe colocar en un plazo no mayor que 30 minutos desde que sale del equipo mezclador o agitador. Este plazo se

puede aumentar si en el diseño de la mezcla se han tomado medidas técnicas que lo permitan.

#### 3.6.3 TIPOS DE EQUIPOS

##### A) CARRETILLAS

Las carretillas siguen siendo un medio muy empleado, especialmente en obras en extensión.

La capacidad habitual es de 90 litros, sin embargo, es muy difícil transportar ese volumen ya que la masa es superior a 200 kg.

Algunas observaciones respecto a las carretillas:

- Es recomendable emplearlas en distancias no superiores a 7 m
- En distancias mayores se favorece la segregación
- Terrenos con pendiente inferior a 15%
- Uso en general en obras menores y de poca altura
- Si la superficie es irregular, se les debe hacer circular sobre tablonos
- El rendimiento aproximado es de 0,5 m<sup>3</sup>/h

##### B) CAPACHOS

El transporte con capachos es uno de los métodos más empleados en la construcción en altura.

Hay una gran variedad de tamaños desde 0,2 a 6 m<sup>3</sup>, sin embargo, los más empleados van de 0,5 a 1,0 m<sup>3</sup>.

Los más comunes tienen descarga vertical, pero también hay capachos con descarga lateral.

Observaciones:

- Se emplean generalmente accionados por grúas. En obras en extensión se emplean montados sobre carros. Ver Figura 3.17
- Útil en sitios elevados y de difícil acceso
- La boca de descarga debe tener una abertura mínima de 5 veces el tamaño máximo del árido
- Las pendientes laterales no deben ser inferiores a 60° (medidas desde la horizontal)
- Es muy difícil la descarga de hormigones de bajo asentamiento ( $\leq 4$  cm)
- La descarga debe hacerse con el capacho detenido
- El rendimiento es muy variable, de 5 a 50 m<sup>3</sup>/h, dependiendo de la capacidad del capacho, del asentamiento del hormigón, de la grúa y de la distancia

- La descarga debe ser lo más cercana posible al lugar de colocación. Para elementos altos, como muros o pilares, o lugares estrechos debe emplearse mangas unidas a la salida del capacho. Estas mangas, normalmente de plástico o caucho, deben cumplir ciertos requisitos:

- Tener una longitud mínima de 60 cm
- El diámetro del tubo debe ser aproximadamente 8 veces el tamaño máximo del árido
- El trazado de la manga debe ser vertical y continuo, sin cambios de dirección

**FIGURA 3.17**  
CAPACHOS



Fuente: Catálogo Lemaco

### C) CINTAS TRANSPORTADORAS

Son poco empleadas en la construcción corriente pues, en general, es un paso intermedio hasta la colocación final.

Por la velocidad de transporte es el medio utilizado en las grandes represas.

Observaciones:

- Apropriadas para distancias cortas
- El asentamiento recomendado está entre 5 y 10 cm
- La pendiente depende de la fluidez, siendo la máxima 20%. El hormigón tiende a ir más rápido que la cinta si la pendiente es hacia abajo y a retornar en caso contrario. Esto se puede solucionar con cintas con resaltes. Ver Figura 3.18
- Deben tener un embudo troncocónico de longitud mínima 60 cm en todos los puntos de traspaso o descarga del hormigón
- En obras corrientes, el rendimiento es de 30 a 70 m<sup>3</sup>/h

**FIGURA 3.18**  
CINTA  
TRANSPORTADORA  
CON RESALTES



Fuente: Consorcio Febrag

### D) BOMBAS

Mediante presión se empuja el hormigón hacia una tubería. Esta tubería tiene un trazado que lleva el hormigón al lugar de colocación.

Es el método más empleado en la construcción de edificios. También se utiliza para transportar el hormigón a zonas de difícil acceso.

Observaciones:

- El hormigón debe tener un asentamiento igual o mayor a 10 cm
- Adecuadas para zonas estrechas
- Los rendimientos son variables según sea la potencia de la bomba, el diámetro de la tubería, el trazado de la misma, el tipo de hormigón y el asentamiento de cono
- La granulometría del hormigón debe incluir un mínimo contenido de finos menores a 0,25 mm. Para tamaño máximo 40 mm de 410 kg/m<sup>3</sup> y para tamaño máximo 20 mm de 480 kg/m<sup>3</sup> (incluido el cemento), lo que puede variar dependiendo de otras características del hormigón (forma y textura de áridos, criterio de diseño, otros)
- La tubería puede ser rígida o flexible. Esta última requiere hormigón con mayor asentamiento
- La bomba estacionaria es la más común y la que permite cubrir mayores distancias. También se bombea mediante camión pluma hasta 55 m. Ver Figura 3.19 y 3.20
- Permiten transportes que dependen de su capacidad. Se ha bombeado en el país hasta 300 m de altura, pero normalmente:
  - Horizontal hasta 300 m

- Vertical hasta 90 m
- Es recomendable limitar el tamaño máximo de los áridos a:
  - 1/3 del diámetro interior de la tubería para áridos chancados
  - 40% del diámetro interior de la tubería para áridos rodados

**FIGURA 3.19**  
BOMBA  
ESTACIONARIA



Fuente: Emaresa (Schwing)

**FIGURA 3.20**  
CAMIÓN PLUMA



Fuente: Putzmeister

### E) CANOAS Y CANALETAS

Más que un medio de transporte propiamente tal, las canoas y canaletas son adecuadas como elemento complementario para la distribución del hormigón en la zona adyacente al punto de colocación.

Observaciones:

- El asentamiento recomendado es igual o mayor a 8 cm
- Longitud preferentemente no mayor a 7 m
- Deben terminar en un buzón de longitud mínima de 60 cm, tal que provoque caída

vertical del hormigón en su lugar de colocación o en otro medio de transporte (para evitar segregaciones)

- La pendiente máxima debiera ser 1 Vertical/3 Horizontal a menos que se coloquen elementos que aseguren flujo continuo y velocidad uniforme
- El rendimiento depende de la pendiente y del asentamiento del hormigón. Normalmente está entre 5 y 10 m<sup>3</sup>/h

### F) CAMIÓN MIXER

Tanto en Chile como en el mundo es el método de transporte más utilizado y es apto para todo tipo de usos: edificación, pavimentos, prefabricados, obras de infraestructura, entre otras. Es especialmente indicado cuando los volúmenes de hormigón son significativos.

El camión mixer está íntimamente relacionado con la industria del hormigón premezclado. No tan sólo transporta el hormigón, lo mezcla y lo mantiene homogéneo.

Observaciones:

- La capacidad es de hasta 10 m<sup>3</sup>, pero lo habitual es que se transporten hasta 7,5 m<sup>3</sup>, por las limitaciones de carga por eje.
- El rendimiento aproximado es de 20 a 25 m<sup>3</sup>/h, dependiendo fundamentalmente del asentamiento de cono y de los medios dispuestos en obra para la distribución del hormigón.
- A veces se combina con otro medio de transporte para facilitar el vaciado en el punto de colocación.
- En obra es necesario considerar que el camión mixer, con la canoa extendida mide alrededor de 11,6 m de largo y 4 m de altura.

### G) CAMIÓN TOLVA

Su empleo ha disminuido considerablemente por los problemas que acarrea y porque ha sido superado por el camión mixer.

Observaciones:

- El asentamiento de cono debe ser  $\leq 4$  cm para evitar la segregación.
- La capacidad normal de los camiones tolva es de 6 m<sup>3</sup>.
- La velocidad debe ser baja, del orden de 20 km/h.
- Es adecuado en pavimentos por la facilidad de descarga.
- Debe proveerse medios de protección del hormigón contra las inclemencias del clima (viento, sol, lluvia).
- Requiere de elementos adicionales para el traslado del hormigón al punto de colocación.

- Debe considerarse un nivel de aire incorporado del orden de 2 a 3% para áridos de 40 mm de tamaño máximo.
- Un tipo especial es el volquete, con vaciamiento lateral.

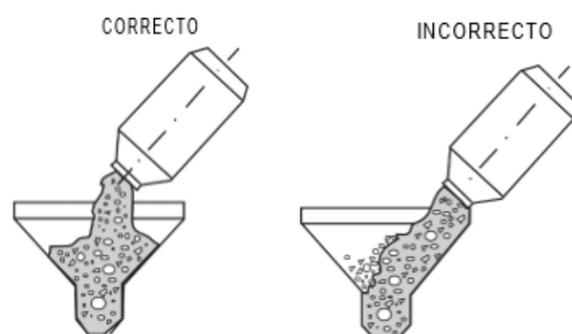
### 3.6.4 RECOMENDACIONES

Los equipos de transporte deben ser limpios, no absorbentes y químicamente inertes con los componentes del hormigón. Además, no deben permitir escapes de lechada y/o pérdidas de otros ingredientes.

Los elementos de transporte deben ser sometidos a una limpieza después de su uso diario.

El hormigón debe descargarse en el centro, en caída vertical. El llenado de capachos o tolvas dejando caer el hormigón sobre los costados produce segregación, como se muestra en Figura 3.21.

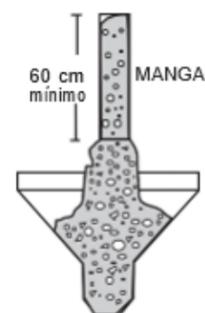
**FIGURA 3.21**  
CAÍDA VERTICAL  
DEL HORMIGÓN



Fuente: ACI304R-00 (Re aprobada 2009)

El método más satisfactorio para asegurar caída vertical del hormigón es el empleo de una manga de al menos 60 cm de largo, como aparece en Figura 3.22. El uso de mangas disminuye significativamente la segregación.

**FIGURA 3.22**  
MANGAS

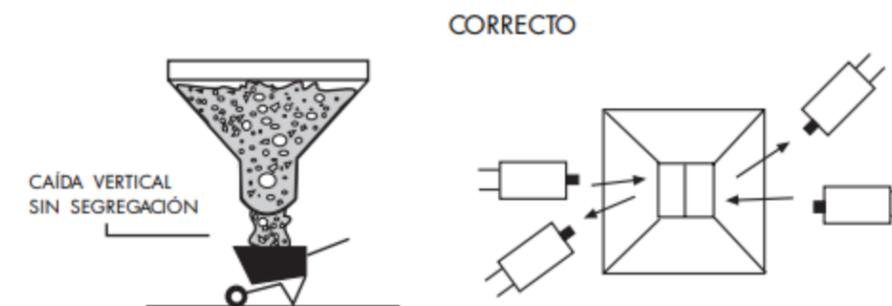


Fuente: Propia

Debe evitarse o disminuirse el traspaso de un medio a otro, o la carga y descarga repetidas, ya que esto conduce a segregación.

Cuando se descargan grandes tolvas o recipientes a carretillas u otros equipos menores, la tolva debe tener una apertura central de manera que el hormigón caiga verticalmente sobre la carretilla. Con un acceso alternado desde lados opuestos, se logra operaciones de carguío más rápidas (Ver Figura 3.23).

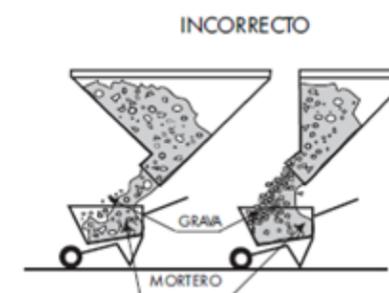
**FIGURA 3.23**  
DESCARGA  
CORRECTA  
DE TOLVA A  
CARRETILLAS



Fuente: Propia

Si la tolva tiene compuertas inclinadas, pasa a constituirse en una canaleta sin control en el extremo (Ver Figura 3.24).

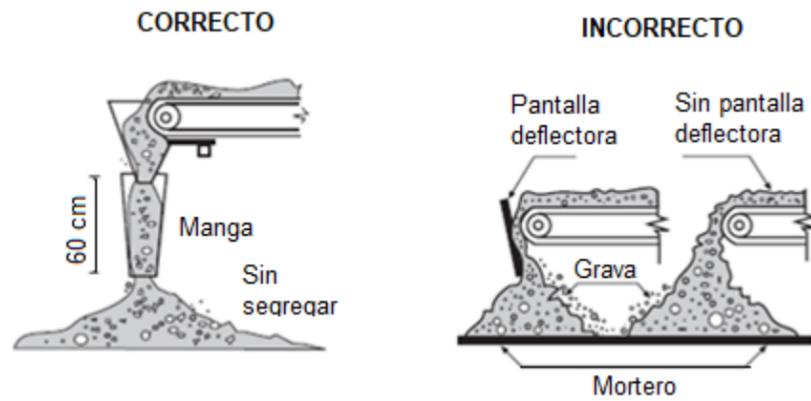
**FIGURA 3.24**  
DESCARGA  
INCORRECTA  
DE TOLVA A  
CARRETILLAS



Fuente: Propia

Cuando se emplean cintas transportadoras se debe asegurar una caída vertical del hormigón al final de ellas. La manera más fácil de lograrlo es mediante el empleo de una manga. La falta de control en el extremo de la cinta provoca segregación y el empleo de pantalla deflectora sólo cambia la dirección de la segregación, como se muestra en Figura 3.25.

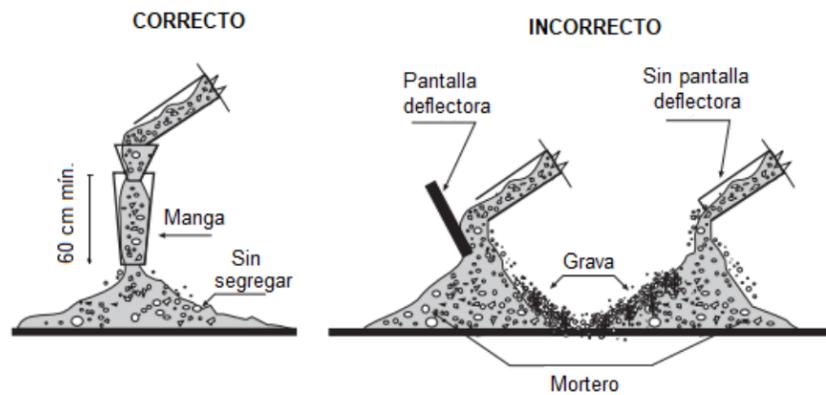
**FIGURA 3.25**  
CINTAS  
TRANSPORTADORAS



Fuente: ACI304R-00 (Re aprobada 2009)

Similar a lo indicado para las cintas transportadoras es lo que sucede con las canoas y canaletas. El control inadecuado del extremo de la canaleta, aunque sea corta, provoca segregación, como se ilustra en Figura 3.26.

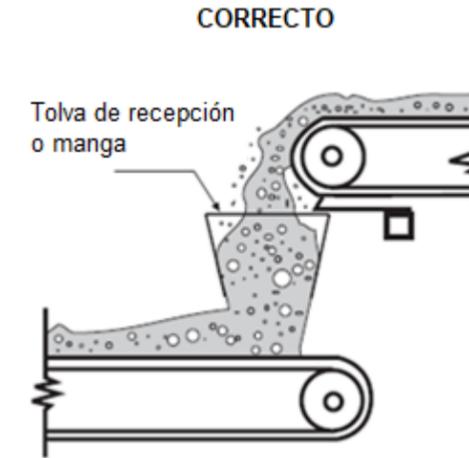
**FIGURA 3.26**  
CANALETAS



Fuente: ACI304R-00 (Re aprobada 2009)

La transferencia de hormigón de una cinta transportadora a otra cinta, también puede ser causa de segregación si no se toman las precauciones correspondientes, como se muestra en Figura 3.27.

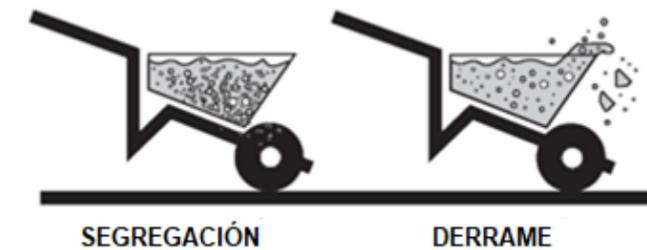
**FIGURA 3.27**  
TRANSFERENCIA  
DE CINTA A CINTA



Fuente: ACI304R-00 (Re aprobada 2009)

Cualquiera que sea el equipo de transporte, aunque sea simple como una carretilla, debe evitar la segregación y la pérdida de material, como se ve en Figura 3.28.

**FIGURA 3.28**  
SIN SEGREGACIÓN  
NI DERRAMES



Fuente: Propia

## HORMIGONADO

*Para los fines de este manual el hormigonado incluye todas las operaciones necesarias para colocar el hormigón de manera de obtener un producto homogéneo, monolítico, de buen aspecto y que satisfaga los planos y las especificaciones.*

### TEMAS TRATADOS

- 3.7.1 Preparación previa a la colocación
- 3.7.2 Colocación del hormigón

### 3.7.1. PREPARACIÓN PREVIA A LA COLOCACIÓN

Comprende los trabajos que se realizan antes de la colocación del hormigón.

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A) Planificación del hormigonado
- B) Preparación de la superficie a recubrir
- C) Colocación de moldajes, armaduras e insertos
- D) Otras acciones

#### A) PLANIFICACIÓN DEL HORMIGONADO

La planificación del hormigonado incluye la definición de las etapas de colocación y de los recursos necesarios.

#### A.1. Etapas de colocación

Las etapas quedan definidas por:

- Superficies de proyecto
- Juntas de proyecto (separaciones entre secciones de una estructura para dilatación, contracción y otras)
- Terreno natural
- Superficies terminales
- Juntas de hormigonado (denominadas también de construcción). La ubicación de las juntas:
  - Depende de la capacidad de hormigonado disponible
  - Debe corresponder a la especificada en el proyecto o a buenas prácticas estructurales
  - Se debe estudiar una secuencia posible

#### A.2. Recursos

Mano de obra

Diseñar cuadrillas y cantidad de ellas.

Equipos

Deben ser adecuados y en cantidad suficiente. Con equipos de reemplazo para los estratégicos.

Materiales

En cantidad suficiente (ingredientes del hormigón, protecciones, moldajes y otros).

#### B) PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE A RECUBRIR

La superficie que va a recibir el hormigón puede ser el suelo u hormigón colocado previamente.

#### B.1. Terreno natural o relleno

En Tabla 3.27 se presenta algunas recomendaciones a considerar.

**TABLA 3.27**  
HORMIGONADO  
SOBRE TERRENO  
NATURAL O  
RELLENO

Tipo de material	Preparación
Suelo o relleno granular	<ul style="list-style-type: none"> <li>El terreno natural debe estar libre de vegetales y de material de origen orgánico en general.</li> <li>Se debe evitar la contaminación del hormigón con el terreno natural o relleno, producto de desprendimientos o derrumbes de las paredes de la fundación. Se recomienda el uso de tableros móviles.</li> <li>Tanto el suelo natural como el relleno deben ser compactados hasta obtener la densidad establecida en el proyecto.</li> <li>Ambos tipos de suelos deben cumplir con los perfiles establecidos en las especificaciones.</li> <li>No se puede hormigonar sobre superficies congeladas.</li> <li>El suelo debe estar húmedo, pero no sobresaturado.</li> </ul>
Superficie rocosa	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se deben eliminar las zonas demasiado fracturadas y todas las partículas descompuestas o fracturadas.</li> <li>En caso de pequeñas grietas, se deben rellenar con lechada o mortero.</li> </ul>
En general	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se debe captar y drenar el agua que aflore o fluya hacia la zona donde se colocará el hormigón.</li> </ul>

## B.2. Hormigón colocado en etapas anteriores (juntas de hormigonado)

Toda junta de construcción, prevista o imprevista, debe tratarse adecuadamente, ya que una ejecución inadecuada genera puntos débiles que rompen el monolitismo de la estructura, dejándola vulnerable a ataques químicos, filtraciones y especialmente esfuerzos sísmicos.

La efectividad de una junta depende principalmente del estado de la superficie de contacto (debe estar sin lechada superficial, ya que ésta genera una superficie porosa y débil, limpia, sin agregado suelto y con bordes o esquinas del hormigón no quebrados), de la forma de terminar y continuar el hormigonado, y del tiempo entre etapas, siendo mejor la adherencia mientras menor sea el tiempo.

Para la eliminación de la lechada superficial se puede seguir varios procedimientos según se trate de hormigón fresco u hormigón endurecido.

### Eliminación de la lechada de hormigón fresco

Debe efectuarse en el tiempo adecuado, ni demasiado temprano (para no remover más material del necesario), ni demasiado tarde (no se puede sacar toda la lechada necesaria). Generalmente se efectúa entre 4 - 12 horas después de la colocación. (El tiempo varía si el hormigón tiene retardador y la temperatura ambiente). En todo caso no debe dañar el hormigón. Se puede realizar mediante:

#### Lavado (o cepillado) de la superficie.

Si la superficie está relativamente débil, se puede eliminar la capa superficial también mediante cepillo de alambre, seguido por un lavado. Si la superficie está más rígida hay que aplicar lavado del hormigón por medio de chorro de agua y aire a presión (o agua a alta presión), hasta eliminar la capa superficial de mortero en aproximadamente 0,5 cm, dejando a la vista partículas de unos 5 mm. El lavado se debe continuar hasta que el agua escurra limpia.

La superficie debe mantenerse con un curado húmedo, sin formación de pozas de agua, hasta la aplicación de la nueva capa de hormigón.

Si el hormigonado se reiniciará después de finalizado el período de curado, la superficie debe mantenerse saturada hasta unas 12 horas antes de proseguir con éste.

#### Tratamiento mediante retardador superficial

El retardador se aplica sobre el moldaje (si corresponde) o sobre la superficie de hormigón, mediante brocha, rodillo o pulverizado, en forma pareja en toda su extensión, apenas se termine la colocación. Luego se elimina, por medio de lavado con agua o aire a presión, todo el mortero superficial no endurecido por efecto del retardador.

#### Eliminación de la lechada en hormigón endurecido

##### Eliminación de capa superficial.

Se retira una película superficial de aproximadamente 0,5 cm dejando a la vista partículas de tamaño cercano a 5 mm. Esto se puede lograr mediante chorro de agua a alta presión o con arenado húmedo con el consiguiente lavado superficial.

Después de la limpieza, la superficie se debe mantener saturada, hasta unas 12 horas antes de proseguir el hormigonado.

##### Desbastado mecánico

Se demuele superficialmente el hormigón, eliminando una película de 1 - 2 cm, sin dañar el hormigón base. Se procede a limpiar con agua (y aire) a presión, para eliminar el material suelto.

Método no recomendable (en general no abarca el total de la superficie y puede además dañar el hormigón).

Cuando se requiera mayor monolitismo y en particular cuando la junta fue imprevista y se materializó en un lugar inadecuado, es recomendable el empleo de un puente de adherencia epóxico, ya sea pintura o mortero epoxi.

Para ello, primero se saca la lechada superficial por cualquiera de los métodos vistos y se espera a que la superficie se seque, lo que se puede acelerar mediante aire, y entonces se aplica el material epóxico.

El hormigonado debe continuar antes de que el producto pierda sus características adherentes.

Al continuar el hormigonado la superficie tratada debe estar limpia y en estado saturado superficialmente seco.

De ser posible, se debe colocar primero una capa de mortero o un hormigón más arenoso para recibir al nuevo hormigón. La compactación debe incluir ambas capas.

Si en obra se produce una junta de hormigonado imprevista (por eventuales o insubsanables desperfectos en maquinarias, equipos o cambios no previsibles en el clima), se debe dar aviso al proyectista, registrar su ubicación y motivo de interrupción en el libro de obras, y seguir las recomendaciones expuestas.

## C) COLOCACIÓN DE MOLDAJES, ARMADURAS E INSERTOS.

### C.1. Recomendaciones de ejecución

Se debe verificar que sus posiciones, espaciamiento, formas, grado y dimensiones se ajusten estrictamente a los planos.

Verificar ángulos de doblado y longitudes de empalmes o anclajes.

Deben estar limpios, libres de aceite, óxidos y otros. Para verificar en forma práctica la tolerancia de oxidación en las armaduras, se procede a escobillarlas, si se observa desprendimiento de óxido hay que eliminarlo.

Los moldajes se deben colocar una vez que tengan el desmoldante aplicado (para no contaminar al refuerzo, hormigón colocado previamente y otros).

Para evitar interferencias en el tratamiento de las juntas de hormigonado, es preferible retirar los moldajes laterales que sobresalgan.

### C.2. Tolerancias

En Tabla 3.28 se presenta las tolerancias normalmente aceptadas.

**TABLA 3.28**  
TOLERANCIAS

Para el Hormigón recién terminado	
Desviaciones y desplazamientos	
▪ Desviaciones con respecto a la vertical	: 6 mm / 3 m
▪ Desviaciones de nivel	: 6 mm / 3 m
▪ Desplazamientos de ejes en planta	: 12 mm / 6 m
Variaciones de dimensiones	
▪ Vanos y aberturas	: ± 6 mm
▪ Espesores	: - 6 mm
Durante la colocación	
Recubrimientos de armaduras	: - 10 mm con un máximo de 1/3 del recubrimiento especificado.
Posición de armaduras	: ± 5% de su distanciamiento teórico.
Tolerancias para desviaciones de nivel y de la vertical serán reducidas a 6 mm en 6 m en todas las líneas y aristas muy visibles en la obra.	

## D) OTRAS ACCIONES.

Se debe verificar que instalaciones como: electricidad, alcantarillado, agua potable, cable, teléfono, calefacción, gas, etc., hayan sido colocadas e inspeccionadas.

Se cuenta con los equipos suficientes en buen estado y que existen los repuestos necesarios.

Se debe efectuar una limpieza final con agua y/o aire a presión hasta eliminar toda la suciedad y desperdicios que se puede haber acumulado.

Todas las superficies en contacto con el hormigón deben estar húmedas, sin agua apozada, para evitar que absorban el agua de amasado.

Si hay agua apozada, hay que retirarla mediante: soplado de aire a presión o barrido.

## 3.7.2. COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN

Comprende todas las acciones efectuadas desde la llegada al punto de recepción hasta el vaciado en el elemento a hormigonar.

### FACTORES A CONSIDERAR

- A Generalidades
- B Docilidad (trabajabilidad)
- C Espesor de las capas
- D Altura máxima de vaciado
- E Temperaturas de colocación
- F Procedimientos y recomendaciones de colocación

### A. GENERALIDADES

La norma NCh170 indica que la colocación se debe realizar con los equipos adecuados y mediante los procedimientos necesarios para:

- Mantener la homogeneidad y evitar la segregación
- Asegurar la continuidad de los elementos estructurales
- Mantener las dimensiones y la forma geométrica de los elementos
- Evitar desplazamientos y/o deformaciones de las armaduras u otros elementos embebidos
- Evitar contaminación con materiales extraños que alteren las propiedades del hormigón
- Evitar que las condiciones del sitio de colocación afecten negativamente las propiedades del hormigón
- Colocar el hormigón sobre terreno no congelado y sin hielo superficial

En el mismo elemento no se deben mezclar hormigones frescos confeccionados con distintos cementos.

Para colocación en casos especiales, como hormigonado en tiempo frío o tiempo caluroso, ver 3.14 Temas Especiales.

## B. DOCILIDAD (TRABAJABILIDAD)

La docilidad debe definirse de acuerdo al sistema de colocación, a los equipos de compactación disponibles y a las características del elemento a hormigonar.

## C. ESPESOR DE LAS CAPAS

El hormigón se debe colocar en capas horizontales, tal que el vibrador de inmersión penetre la capa de hormigón subyacente, para lo cual se recomienda guardar la siguiente regla de espesor de capa:

Espesor máximo de la capa: longitud de la botella del vibrador menos 10 cm.

## D. ALTURA MÁXIMA DE VACIADO

La altura de caída libre del hormigón debe ser compatible con el tipo de hormigón empleado, la geometría del elemento a hormigonar, la disposición de armaduras y el procedimiento de colocación del hormigón.

Se debe asegurar un correcto llenado de modo que no se generen nidos superficiales, visibles u ocultos en los 20 cm inferiores del elemento hormigonado.

En el caso que no se cuente con un procedimiento que asegure lo indicado en el párrafo anterior, la altura máxima de vaciado del hormigón permitida en la construcción de elementos verticales es la que se indica en Tabla 3.29.

**TABLA 3.29**  
ALTURA MÁXIMA DE VACIADO

Asentamiento de cono	Característica del hormigón	Altura de vaciado
< 8 cm	No bombeable	2,0 m
≥ 8 cm	No bombeable	2,5 m
≥ 8 cm	Bombeable	3,0 m

Fuente: ICH. ET 002-05

## E. TEMPERATURA DE COLOCACIÓN

La norma NCh170 indica que al momento de la colocación del hormigón se deben cumplir las siguientes condiciones de temperatura.

- La temperatura del hormigón debe ser menor o igual que 35 °C.
- La temperatura del hormigón debe ser mayor o igual que 5 °C

## F. PROCEDIMIENTOS Y RECOMENDACIONES DE COLOCACIÓN

Un buen proceso de colocación debe evitar que se produzca segregación.

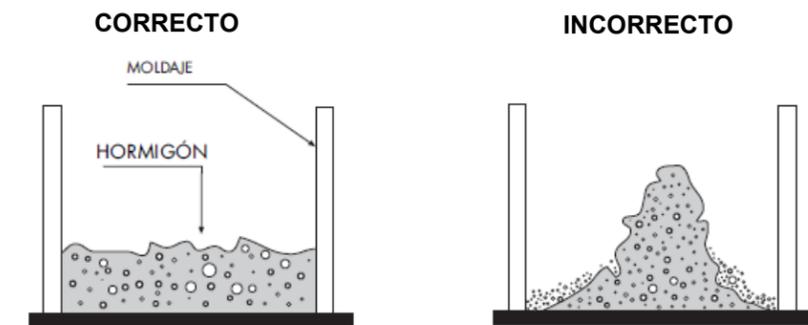
Se debe planificar la operación de hormigonado de modo que no se produzcan interrupciones excesivas en la faena, o acumulación de hormigón.

Los equipos de compactación y la mano de obra se deben dimensionar según sea el volumen de hormigón y velocidad de hormigonado.

Si la faena de hormigonado es nocturna, asegúrese que los sistemas de iluminación no sólo eviten un trabajo riesgoso, sino que también permitan ver todo el sitio de colocación.

El hormigón se debe colocar en capas horizontales de espesor compatible con el equipo de compactación. Deben colocarse lo más niveladas posible de manera de evitar que el vibrador de hormigón se emplee para mover el hormigón. Se puede depositar en pequeños montones. Los montones grandes favorecen la segregación (Figura 3.29).

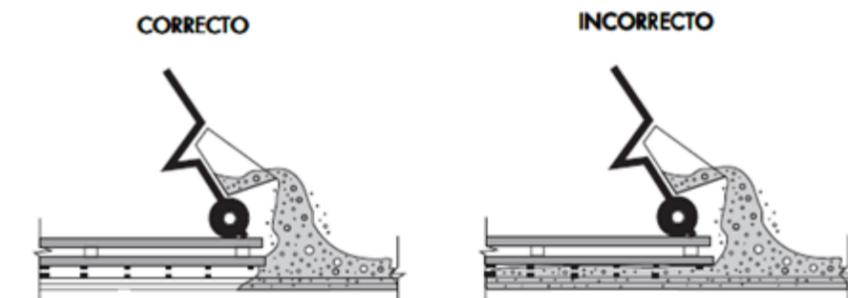
**FIGURA 3.29**  
COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN



Fuente: Propia

En losas, descargar el hormigón sobre hormigón ya depositado. Descargar el hormigón más allá del que está depositado causa segregación, como se ve en Figura 3.30.

**FIGURA 3.30**  
COLOCACIÓN EN LOSAS



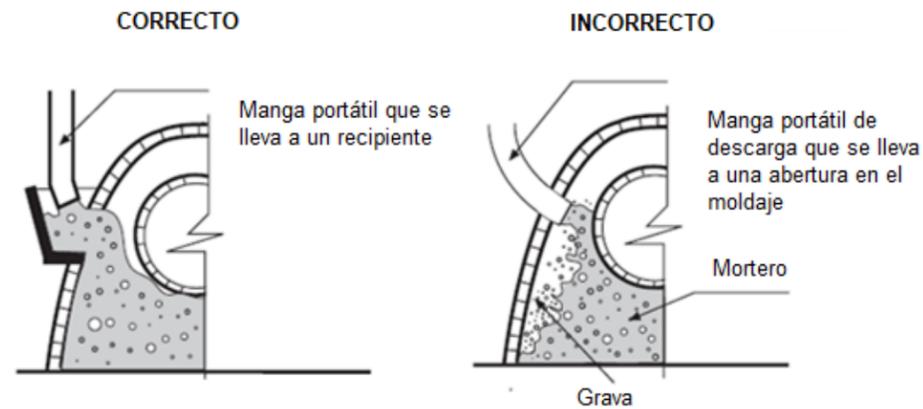
Fuente: ACI 304R-00 (Re aprobada 2009)

Cuando se utiliza una ventana en el moldaje para llenar una pared profunda o curva, lo recomendable es que el hormigón llene la estructura por rebalse. Adyacente a la abertura del moldaje se coloca un recipiente que recibe en caída vertical al hormigón, lo detiene y después fluye sin segregación dentro del moldaje.

En caso contrario, se permite que una corriente de hormigón entre en el moldaje a alta velocidad, formando un ángulo de inclinación con la vertical, lo que produce segregación.

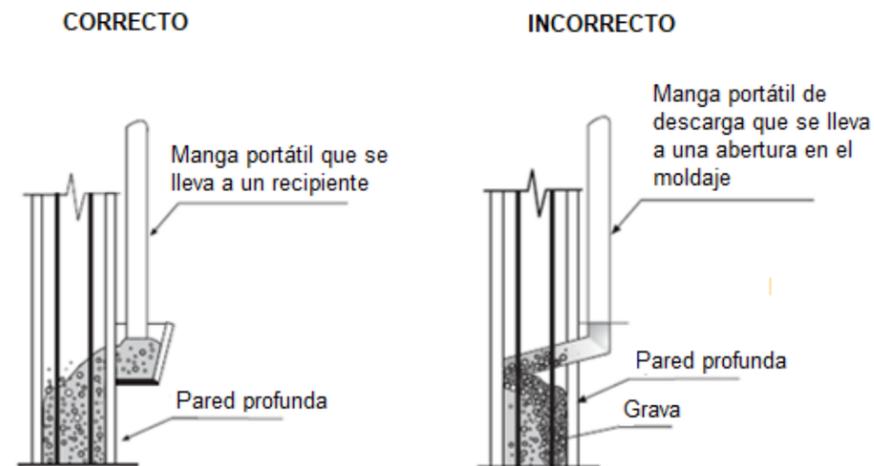
Ejemplo de esto se muestra en Figura 3.31 y 3.32.

**FIGURA 3.31**  
LLENADO DE PARED PROFUNDA A TRAVÉS DE ABERTURA



Fuente: ACI 304R-00 (Re aprobada 2009)

**FIGURA 3.32**  
LLENADO DE PARED CURVA A TRAVÉS DE ABERTURA



Fuente: ACI 304R-00 (Re aprobada 2009)

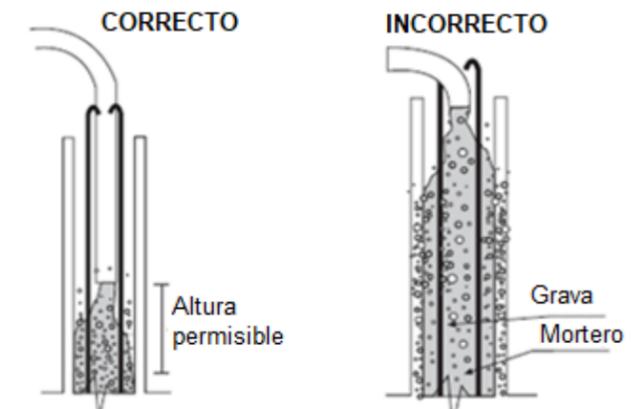
Cuando se hormigona elementos de gran altura se debe permitir una caída vertical sin restricciones. Para esto, el hormigón se descarga a través de embudos (tolvas) y mangas. Se evita la segregación y tanto el moldaje como el acero se conservan limpios hasta quedar cubiertos por el hormigón.

El hormigón debe ser vaciado además en capas delgadas, no mayores a 30 cm, para reducir el aire atrapado y facilitar la compactación, de modo de evitar nidos de piedras.

Cuando no se toman estas precauciones el hormigón golpea las paredes del moldaje y el refuerzo, produciendo variaciones de colores del hormigón y textura superficial pobre. Lo más grave es que se produce segregación, con la formación de nidos de piedras en el fondo.

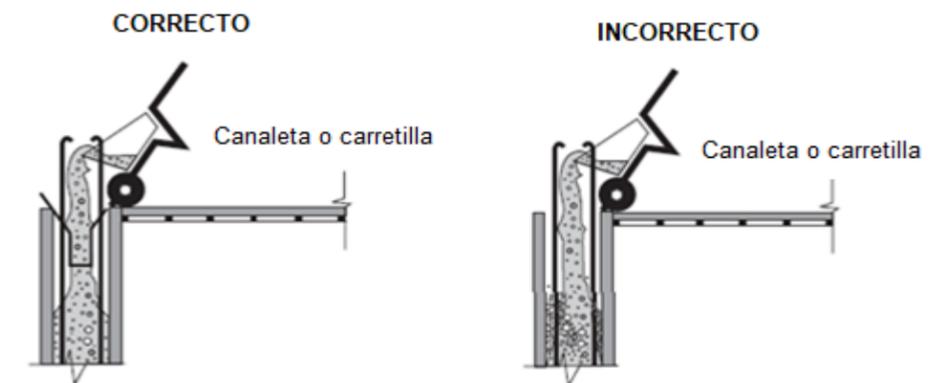
Esto se muestra en Figura 3.33 y 3.34.

**FIGURA 3.33**  
HORMIGONADO A GRAN ALTURA



Fuente: ACI 304R-00 (Re aprobada 2009)

**FIGURA 3.34**  
HORMIGONADO A GRAN ALTURA. CARRETILLA



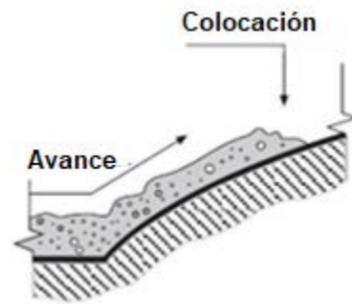
Fuente: ACI 304R-00 (Re aprobada 2009)

Cuando el vaciado sea sobre una superficie inclinada, tanto la colocación como la compactación deben iniciarse siempre en las zonas de menor cota, para evitar segregación y poder compactar sin que deslice, tal como se ve en Figura 3.35.

Un método apropiado es colocar un embudo en el extremo de la canaleta (caída vertical sobre el elemento). Se evita la segregación y se logra que el hormigón permanezca en la pendiente.

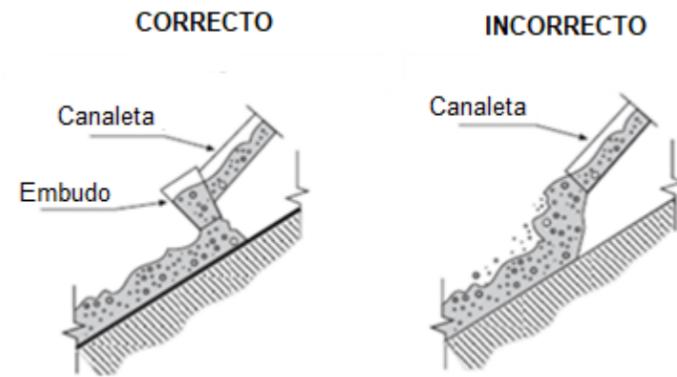
Cuando la descarga es directa por el extremo libre de la canaleta hay segregación y la grava se deposita en la base de la pendiente. A causa de la velocidad, el hormigón trata de rodar pendiente abajo. Ver Figura 3.36.

**FIGURA 3.35**  
PLANO  
INCLINADO



Fuente: Propia

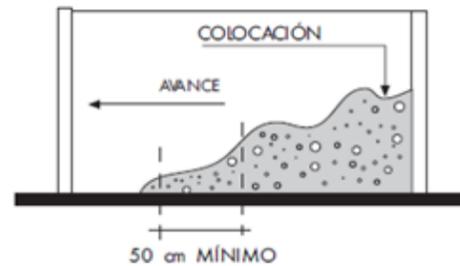
**FIGURA 3.36**  
DESCARGA  
EN PLANO  
INCLINADO



Fuente: ACI 304R-00 (Re aprobada 2009)

En elementos de gran volumen y superficie, para evitar juntas frías (juntas de hormigonado), se puede recurrir al hormigonado en peldaños, avanzando en varias capas simultáneamente (capas de 30 a 40 cm) como se indica en Figura 3.37.

**FIGURA 3.37**  
COLOCACIÓN DE  
HORMIGÓN EN  
MASA



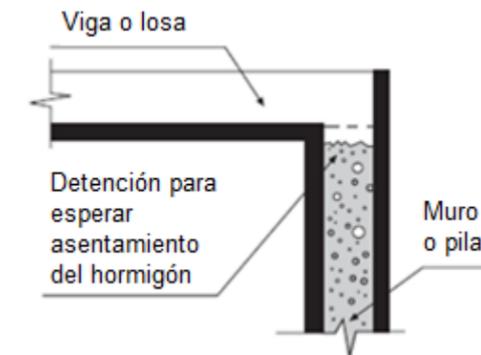
Fuente: Propia

Si va a llenar elementos verticales (muros, pilares) y horizontales (vigas, losas) en forma simultánea, la capa de contacto entre ambos elementos debe tener el mínimo asentamiento posible.

Además, antes de hormigonar los últimos centímetros se debe esperar el tiempo necesario (dependiendo de la temperatura y características de la mezcla) para que el hormigón del elemento vertical experimente el asentamiento plástico.

Esta situación se logra cuando termina el proceso de exudación. En todo caso, el hormigón deberá poder compactarse, lo cual se verifica cuando el vibrador puede penetrar la capa de contacto por su propio peso. Ver Figura 3.38.

**FIGURA 3.38**  
ASENTAMIENTO  
PLÁSTICO



Fuente: Propia

## COMPACTACIÓN

*Comprende la selección de métodos y equipos, controles y recomendaciones para la compactación del hormigón.*

TEMAS TRATADOS	3.8.1	Objetivo de la compactación
	3.8.2	Métodos de compactación
	3.8.3	Vibradores internos
	3.8.4	Imperfecciones más graves debido a vibración deficiente
	3.8.5	Revibración

### 3.8.1 OBJETIVO DE LA COMPACTACIÓN

El hormigón fresco sin compactar tiene una cantidad excesiva de aire atrapado. Si se permite que el hormigón endurezca en estas condiciones se afectará negativamente todas las propiedades.

La compactación es el proceso de inducir un acercamiento de las partículas sólidas en el mortero u hormigón fresco mediante la reducción de la cantidad de vacíos.

Los objetivos de la compactación son:

- Aumentar las resistencias mecánicas (cada 1% de aire atrapado, adicionalmente al natural, puede reducir en más de 5% la resistencia mecánica)
- Aumentar la densidad
- Mejorar la impermeabilidad
- Aumentar la adherencia con las armaduras
- Mayor calidad de las juntas de construcción
- Rellenar completamente los moldajes
- Obtener la textura superficial requerida
- Aumentar la durabilidad

### 3.8.2 MÉTODOS DE COMPACTACIÓN

Hay diferentes métodos de compactación, ya sea manuales o mecánicos.

#### A) COMPACTACIÓN MANUAL

Consiste en varillar el hormigón con una barra.

En general no son recomendables y es un método apto sólo para hormigones muy fluidos.

Se usan en obras muy pequeñas, los rendimientos son bajos, requiere mucho esfuerzo y la efectividad es mala.

#### B) MÉTODOS MECÁNICOS VIBRATORIOS

La vibración puede transmitirse al hormigón mediante vibradores de moldaje, vibradores de superficie, mesas vibratoras o vibradores internos.

En Cuadro 3.3 a Cuadro 3.6 se presenta las características generales de cada uno de estos equipos.

**CUADRO 3.3**  
VIBRADORES DE  
MOLDAJE

Características	Usos principales
<ul style="list-style-type: none"> <li>· En general, en hormigones muy secos deberían operar con frecuencias superiores a 6000 rpm.</li> <li>· Frecuencias mayores o iguales a 6000 rpm dan mayores grados de compactación y mejor calidad superficial. Además, disminuyen la fatiga de los moldajes por la menor amplitud de vibración.</li> <li>· El vibrador debe estar rígidamente unido al moldaje para que pueda transmitir la vibración al hormigón.</li> <li>· El espesor del elemento a compactar debe ser menor a 30 cm. Para espesores mayores debe colocarse otros vibradores de moldaje en el otro lado.</li> <li>· Los vibradores deben ubicarse a distancias similares a su radio de acción.</li> <li>· Los moldajes deben ser fuertes y rígidos, tal que vibren sin experimentar deformaciones, ni permitan filtraciones de mortero.</li> <li>· Si se diera el caso, debe aislarse la zona a vibrar de la endurecida, con goma u otro sistema para que la energía vibratoria no se traspase al sector endurecido.</li> <li>· El material más adecuado para los moldajes es el acero.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Principalmente en elementos prefabricados de grandes dimensiones.</li> <li>· Inusualmente en hormigón estructural como suplemento de los vibradores internos en secciones muy delgadas y/o congestión del refuerzo (dificultad de entrada y salida de los vibradores).</li> <li>· Útiles para reducir los huecos de aire en superficies moldeadas.</li> <li>· Revestimientos de hormigón.</li> </ul>

**FIGURA 3.39**  
VIBRADOR DE  
MOLDAJE



Fuente: Catálogo Wacker Neuson

**CUADRO 3.4**  
VIBRADORES  
DE SUPERFICIE

Características	Usos principales
<ul style="list-style-type: none"> <li>Consolidan y ayudan a nivelar la superficie.</li> <li>Operan con frecuencias entre 3000 y 6000 rpm .</li> <li>La más usada es cercha vibradora; el motor va sobre un marco rígido y pesado. Se requiere de dos operarios para moverla. Ver Figura 3.40.</li> <li>La cercha es adecuada para compactar hasta 25 cm de espesor, en hormigones relativamente secos como los que se emplean en pavimentos (asentamiento <math>\leq</math> 5 cm).</li> <li>La regla vibradora es más liviana, operada por sólo una persona. Ver Figura 3.41.</li> <li>La regla es apta para hormigones más fluidos (asentamiento superior a 8 cm).</li> <li>Muchas veces se complementa con vibradores internos en la zona más alejada del motor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pavimentos.</li> <li>Losas y pisos (pendiente inferior a 20%).</li> </ul>

**FIGURA 3.40**  
CERCHA  
VIBRADORA



Fuente: Catálogo Leis

**FIGURA 3.41**  
REGLA  
VIBRADORA



Fuente: Catálogo Leis

**CUADRO 3.5**  
MESAS  
VIBRADORAS

Características	Usos principales
<ul style="list-style-type: none"> <li>Un motor bajo la cubierta de la mesa hace vibrar esa plancha y esta transmite la vibración al hormigón. Ver Figura 3.42.</li> <li>En general trabajan con frecuencia de 3000 a 3600 rpm.</li> <li>Los moldes deben estar rígidamente unidos a la mesa; en caso contrario parte de la energía se pierde en mover el molde y no se transmite al hormigón.</li> <li>No se debe soldar planchas para aumentar el largo de la mesa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prefabricados menores como soleras, adoquines, planchas de cierros, pastelones y otros.</li> <li>Estos elementos se confeccionan con hormigones extremadamente secos.</li> </ul>

**FIGURA 3.42**  
MESA  
VIBRADORA



Fuente: Catálogo Lechuga Hermanos

**CUADRO 3.6**  
VIBRADORES  
INTERNOS

Características	Usos principales
<ul style="list-style-type: none"> <li>Muy efectivos ya que transmiten su energía directamente al hormigón. Ver Figura 3.43.</li> <li>Por su diseño, tamaño y peso, maniobrabilidad y precio, son los más usados.</li> <li>Pueden compactar mezclas de cualquier fluidez.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hormigón estructural.</li> <li>Hormigón en masa.</li> <li>Pisos.</li> <li>Elementos prefabricados.</li> </ul>

**FIGURA 3.43**  
VIBRADOR  
INTERNO



Fuente: Catálogo Leis

### 3.8.3. VIBRADORES INTERNOS

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A Características de los vibradores internos
- B Diámetro de acción y distancia entre inserciones
- C Aplicaciones de los vibradores internos según sus características
- D Recomendaciones para el uso adecuado de los vibradores internos

#### A) CARACTERÍSTICAS DE LOS VIBRADORES INTERNOS

Los vibradores internos están formados por una botella dentro de la cual hay una masa que gira en torno a una excéntrica y eso provoca la vibración.

Un vibrador tiene tres características que definen su campo de aplicación. Ellas son la amplitud, la frecuencia y el diámetro de la botella.

A mayor frecuencia, menor amplitud y viceversa. En general, también, a mayor diámetro de la botella, menor es la frecuencia.

Los diámetros van de 20 mm, para elementos muy delgados (por ejemplo, las muestras de hormigón), hasta 180 mm para construcciones especiales que emplean áridos de tamaño máximo igual o superior a 75 mm. El diámetro más común en obra es de 50 mm.

Las frecuencias más corrientes van de 9000 a 12000 Herz (rpm).

En hormigones de bajo asentamiento es mejor mayor amplitud que mayor frecuencia.

#### B) DIÁMETRO DE ACCIÓN Y DISTANCIA ENTRE INSERCIONES

El diámetro de acción es la distancia desde el eje de la botella que experimenta los efectos de la vibración.

Si  $d$  es el diámetro del vibrador y  $D$  es el diámetro de acción, se tiene que

- $d < 10$  cm,  $D$  varía entre 6 y 10  $d$ , por lo que se recomienda

$$D = 8d$$

- $d \geq 10$  cm  $D = 7d$

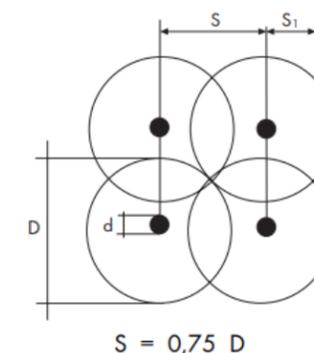
Si  $S$  es la distancia entre inserciones y  $S_1$  la distancia del vibrador al moldaje se tiene:

- $S = 0,75 D$

- $S_1 = 3 d$

Esto se muestra en Figura 3.44.

**FIGURA 3.44**  
DIÁMETRO DE ACCIÓN Y DISTANCIA ENTRE INSERCIONES



Fuente: Propia

#### C) APLICACIONES DE LOS VIBRADORES INTERNOS SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS

Para la selección del vibrador interno a ocupar se debe considerar, especialmente, el tipo de estructura que se va a hormigonar y el asentamiento del hormigón.

En Tabla 3.30 se presenta las características más importantes de los vibradores, el rendimiento que se alcanza con ellos y cuáles son las aplicaciones más adecuadas para esas características.

**TABLA 3.30**  
APLICACIONES DE LOS VIBRADORES INTERNOS SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS

Diámetro de la botella (mm)	Frecuencias recomendadas rpm (hz)	Valor sugerido de la amplitud, mm (1)	Valor aproximado del diámetro de acción, cm (2)	Valor aproximado de cantidad de hormigón colocado y compactado en m3/h por vibrador (3)
20 - 40	9.000 - 15.000 (170 - 250)	0,4 - 0,8	15 - 30	1 - 4
APLICACIONES: Hormigón de alta fluidez, en secciones muy delgadas y con alta densidad de armaduras. Pueden ser empleados como complementos de vibradores más grandes, especialmente en pre y postensado.				
30 - 65	8.500 - 12.500 (140 - 210)	0,5 - 1,0	25 - 50	2 - 8
APLICACIONES: Hormigón plástico en muros delgados, pilares, columnas, pilotes prefabricados, losas delgadas. También como complemento de vibradores más grandes en áreas confinadas.				
50 - 90	8.000 - 12.000 (130 - 200)	0,6 - 1,3	35 - 70	5 - 15
APLICACIONES: Hormigón con asentamiento de cono menor a 7,5 cm. Construcción en general pero más masiva. También como vibrador auxiliar para el hormigón en masa (cerca de los moldajes) y para pavimentos.				

75 - 150	7.000 - 10.500 (120 - 180)	0,8 - 1,5	60 - 100	11 - 31
<b>APLICACIONES:</b> Hormigón con asentamiento de cono entre 0 - 5 cm, depositado en cantidades hasta de 3 m <sup>3</sup> , en estructuras de construcción pesada, relativamente abiertas. También en vibración auxiliar de represas cerca de los moldes y alrededor de armaduras e insertos.				
125 - 175	5.500 - 8.500 (90 - 140)	1,0 - 2,0	80 - 120	19 - 38
<b>APLICACIONES:</b> Hormigón muy masivo (grandes represas y estribos, muros en masa, etc.). Dos o más vibradores serán requeridos para compactar cantidades de 3 m <sup>3</sup> o más depositadas de una sola vez en los moldajes.				
(1) Mientras el vibrador está funcionando en el hormigón. (2) Esta es la amplitud máxima, operando en el aire. (3) Estos rangos reflejan no sólo la capacidad del vibrador, sino también diferencias en la trabajabilidad de la mezcla, grado de compactación deseado y otras condiciones basadas en experiencias en construcción. Estos valores asumen que el espaciamiento entre inserciones es de 0,75 veces el diámetro de acción, y que el vibrador opera 2/3 del tiempo usado en la colocación.				
Nota: Generalmente, los hormigones extremadamente secos o muy rígidos no tienen una buena respuesta a los vibradores de inmersión.				

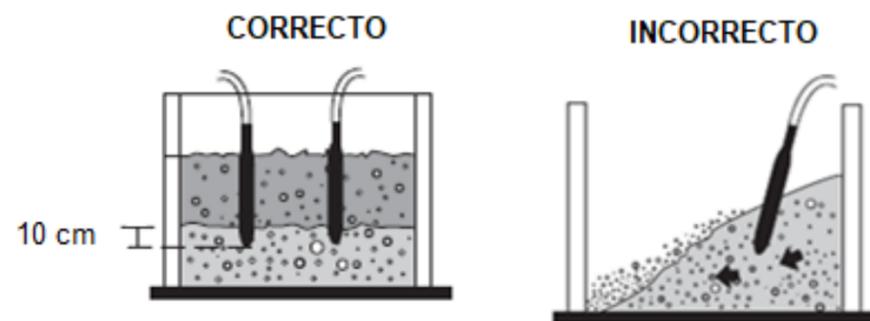
Fuente: ACI309R-05

#### D) RECOMENDACIONES PARA EL USO ADECUADO DE LOS VIBRADORES INTERNOS

El vibrador debe sumergirse rápidamente en forma vertical, penetrando en la capa previa alrededor de 10 cm cuando aún ella esté fresca.

El vibrador no se debe usar para transportar y distribuir el hormigón (no debe arrastrarse dentro de él), esto causa segregaciones. Ver Figura 3.45.

**FIGURA 3.45**  
 APLICACIÓN DEL VIBRADOR DE INMERSIÓN

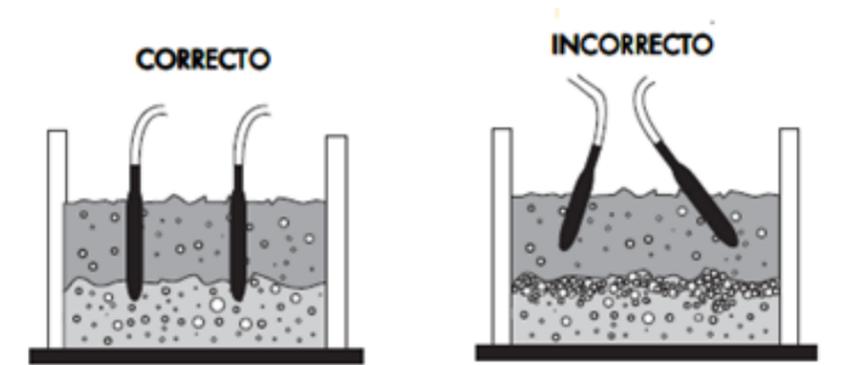


Fuente: Propia

La extracción debe ser lenta, de manera que se llene el hueco que deja la botella del vibrador. En mezclas secas, si esto no sucede, a veces se resuelve el problema reinsertando el vibrador.

La penetración del vibrador en la capa previa debe ser vertical, con inserciones sistemáticas a intervalos regulares. Las inserciones al azar, en cualquier ángulo y espaciamento, sin penetrar en la capa previa (o con profundidad insuficiente), no asegura el monolitismo. Ver Figura 3.46.

**FIGURA 3.46**  
 INSERCIÓN VERTICAL



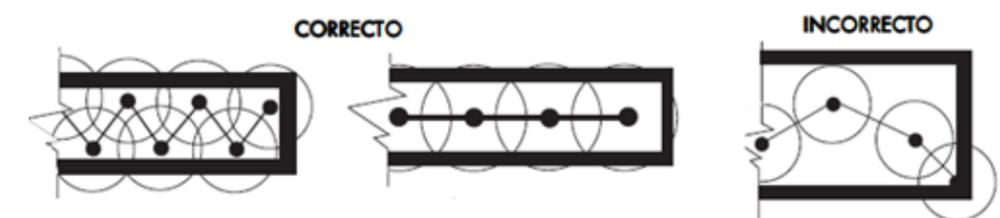
Fuente: Propia

No se debe permitir el funcionamiento del vibrador fuera del hormigón por un período prolongado de tiempo; el hormigón enfría el vibrador, el que se calienta durante la operación.

No mantener operando el vibrador sobre superficies duras; eso puede soltar la masa que gira dentro de la botella.

Se deben establecer mallas de vibración a intervalos regulares y en forma sistemática de acuerdo al diámetro de acción del vibrador. Los diámetros de acción deben traslaparse para provocar una total compactación en toda el área. Ver Figura 3.47.

**FIGURA 3.47**  
 TRASLAPE DE DIÁMETROS DE ACCIÓN

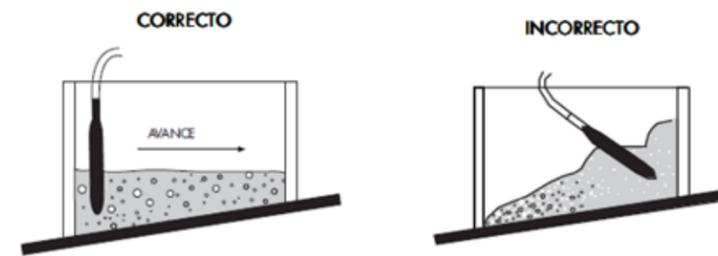


Fuente: Propia

Para el hormigón colocado en elemento con fondo en pendiente; tanto la colocación como la compactación deben iniciarse en las zonas de menor cota.

Si la colocación o la compactación se inician en las zonas de mayor cota, el hormigón superior fluye disgregándose. Ver Figura 3.48.

**FIGURA 3.48**  
HORMIGONADO  
EN PENDIENTE

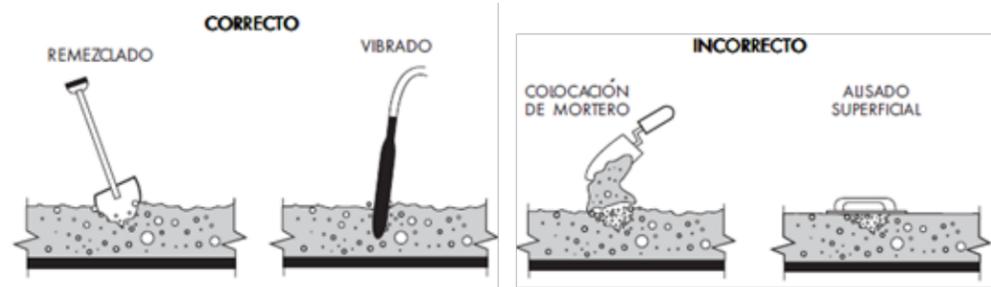


Fuente: Propia

Si se producen nidos de piedra, se debe remezclar el hormigón y luego vibrar.

No se debe ocultar un nido de piedra colocando una capa de mortero. Ver Figura 3.49.

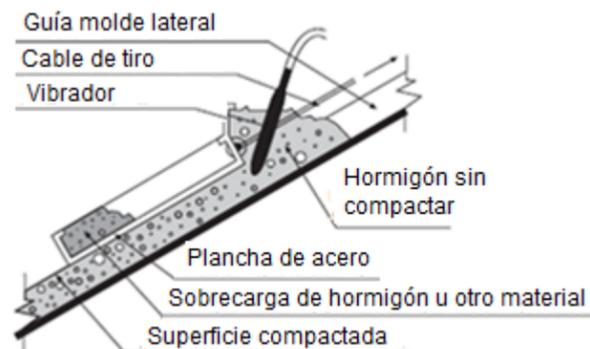
**FIGURA 3.49**  
NIDOS DE  
PIEDRA



Fuente: Propia

Para la compactación de un hormigón que tiene una pendiente mayor o igual a 25%, se utiliza un molde deslizante el que, además, tiene la ventaja de hacer la terminación superficial, como se muestra en Figura 3.50.

**FIGURA 3.50**  
HORMIGONADO  
EN PENDIENTE  
FUERTE



Fuente: Propia

En zonas de alta densidad de armaduras es recomendable varillar el hormigón para ayudar al vibrador mecánico. Se debe evitar el vibrado de las armaduras.

Se debe penetrar el vibrador alrededor del refuerzo, de los elementos embebidos y en las esquinas de moldajes; sin embargo, se debe evitar tocar el moldaje, alejándolo aproximadamente 5 cm de él, ya que puede dañarlo y consecuentemente desfigurar la superficie, además, vibrar muy cerca del moldaje o vibración variable cerca del moldaje conduce a variaciones de color en la superficie.

En superficies, cuyo espesor es delgado (losas y pavimentos), debe introducirse en ángulos muy pequeños (<math><45^\circ</math>) u horizontalmente.

No hay que forzar el ingreso del vibrador en el hormigón ya que puede quedar atrapado en las armaduras. Hay que utilizar un vibrador de menor diámetro.

En hormigones de áridos livianos, hay una tendencia de estos áridos de subir a la superficie. Esto normalmente se favorece con la vibración.

La vibración debe detenerse cuando:

- La superficie se ponga brillante
- Las partículas de agregado grueso quedan embebidas en la mezcla
- Nivelación general de la mezcla
- Muestra de pasta de cemento en la unión del hormigón con el moldaje
- Cese de salida de burbujas de aire en la superficie
- A veces el sonido del vibrador ayuda a detectar la completa compactación. (Esto lo pueden percibir los operadores experimentados)

### 3.8.4 IMPERFECCIONES MÁS GRAVES DEBIDO A VIBRACIÓN DEFICIENTE

Entre estas imperfecciones están:

#### A) NIDOS

Entre las causas que provocan nidos se destaca:

- Vibración insuficiente
  - Vibradores inadecuados o defectuosos
  - Vibración no sistemática
  - Vibrador inclinado al azar
- Otras causas:
  - Mala dosificación del hormigón
    - Insuficiente contenido de pasta

- Razón cemento/arena inapropiada
- Asentamiento inadecuado
- Congestión de armaduras.

## B) HUECOS DE AIRE EN LA SUPERFICIE

### Causas probables

- Vibración insuficiente
  - Vibradores con amplitud muy amplia
  - Vibrador insuficientemente sumergido
  - Vibración externa inadecuada
- Otras causas:
  - Mala dosificación del hormigón
    - Mezclas secas poco trabajables
    - Excesiva cantidad de arena y de aire
  - Colocación muy lenta
  - Desmoldante de alta viscosidad o aplicado en capas gruesas

## C) VETAS DE ARENA

### Causas

- Vibración
  - Sobrevibración
  - Excesiva vibración
  - Excesiva amplitud
- Otras causas:
  - Mezclas pobres (deficientes en cemento y agregados mal graduados)
  - Arena con deficiente contenido de finos
  - Mezclas con bajo contenido de aire
  - Bajas temperaturas y condiciones de colocación muy rápidas para el tipo de mezcla
  - Moldajes de baja absorción

## D) LÍNEAS ENTRE CAPAS DE HORMIGONADO

### Posibles causas

- Vibración
  - Vibración insuficiente
  - Falta de penetración del vibrador en la capa anterior
- Otras causas:
  - Alta temperatura
  - Mezcla muy fluida con tendencia a la exudación
  - Colocación muy lenta

## 3.8.5 REVIBRACIÓN

Es el proceso de volver a vibrar un hormigón que ha sido vibrado anteriormente.

En Cuadro 3.7 se presenta las principales características de la revibración.

**CUADRO 3.7**  
REVIBRACIÓN

Características
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumento de la resistencia a la compresión</li> <li>▪ Liberación del agua adicional atrapada bajo la armadura horizontal (aumentando su adherencia al hormigón)</li> <li>▪ Eliminación del vacío bajo armaduras que provoca la sedimentación plástica</li> <li>▪ Unión mejorada (entre capas)</li> <li>▪ Remueve burbujas de aire adicionales</li> <li>▪ Minimiza filtración por los pernos del moldaje</li> <li>▪ Da mayores beneficios para mezclas más fluidas</li> <li>▪ Particularmente benéfica para los primeros 0,3 a 0,5 m superiores</li> <li>▪ Mejores resultados son obtenidos si es ejecutada lo más tarde posible</li> </ul>
Limitaciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se puede realizar sólo si el vibrador se puede sumergir en la mezcla bajo su propio peso mientras se encuentra funcionando y el hormigón se convierte inmediatamente a una condición plástica</li> <li>▪ Poco recomendable sin un control muy estricto de un profesional</li> </ul>

## 3.9

### TRATAMIENTO DE LA SUPERFICIE

*La terminación es el resultado de las características de los moldes o de los revestimientos interiores de moldajes, contra los cuales el hormigón es moldeado y de cualquier tratamiento posterior al desmolde, o el resultado de cualquier tratamiento o manipulación en el caso de las superficies abiertas, generalmente horizontales.*

TEMAS TRATADOS	3.9.1	Hormigón moldeado
	3.9.2	Superficies abiertas
	3.9.3	Pisos

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A Superficies desmoldadas y trabajadas
- B Relieves interiores en el moldaje
- C Terminaciones arquitectónicas

#### 3.9.1 HORMIGÓN MOLDEADO

##### A) SUPERFICIES DESMOLDADAS Y TRABAJADAS

- Restregada. El hormigón recién desmoldado se limpia de pequeñas cáscaras, puntas y salientes restregando con una arpillera con mortero de cemento y arena fina de proporción 1:1/2.
- Eliminación de lechadas. Todos los restos de lechada se eliminan emparejando la superficie con un esmeril de mano.
- Esmerilado. Se esmerila intensamente con esmeril de carburo de silicio (carborundo) manual o con esmeril electromecánico.
- Arenado. Se aplica chorro de arena a presión sobre la superficie desmoldada. La arena debe

pasar toda por la malla de 0,60 mm y la presión conveniente está entre 25 y 60 psi.

- Texturado. Se puede hacer un texturado leve con una solución de ácido muriático comercial disuelto en agua en una proporción de 1:4 (ácido:agua). En cuanto termina la reacción del ácido (no hay más desprendimiento de gas desde la superficie) se lava con abundante agua.
- Martelina. La superficie desmoldada se golpea con un martillo con puntas o bien con martinete o taladro electromecánico.

##### B) RELIEVES INTERIORES EN EL MOLDAJE

- Efectos en relieves y rehundidos. Se puede obtener una enorme variedad de efectos colocando revestimientos interiores al moldaje. Ver Figura 3.51.
- Superficies muy lisas. Colocando revestimientos interiores de plástico se puede lograr superficies lisas como vidrio.
- Moldeo horizontal. Colocando horizontalmente muros prefabricados o paneles y haciendo en el fondo los diseños que se quiere hacer aparecer. Se puede obtener buena terminación sin burbujas de aire si se aplica vibración interna. Al usar vibración externa, ésta atrae las burbujas a la cara vibrada.
- Veta de la madera. Colocando internamente placas de madera que han sido rasguñadas con escobilla de alambre o expuesta a chorro de arena, o sometidas a un tratamiento químico suave para manifestar la veta, se puede transferir ésta a la superficie del hormigón.
- Placas de plásticos. Se puede obtener cualquier calidad de superficie, desde lisa satinada hasta cualquier textura o relieve a un costo bajo.

**FIGURA 3.51**  
EFECTOS  
SUPERFICIALES



Fuente: Centro de estudios nucleares La Reina

##### C) TERMINACIONES ARQUITECTÓNICAS

- Moldes de metal. Moldes con placas de metal, como acero repujado con algún diseño que se reproduce en parte o toda la superficie, se usan con alguna frecuencia. Se debe usar plancha negra ya que el acero galvanizado tiene más tendencia a pegarse al hormigón, aunque sea previamente aceitado.

- Moldes de metal. Se adaptan mejor para hacer formas complejas ornamentales.
- Moldes de yeso de un uso. Se debe hacer primero un modelo de madera, arcilla o plástico y sobre él, previamente cubierto de aceite o desmoldante, se hace un molde "negativo" de yeso.
- Inclinación de ángulos de formas. Las formas de los diseños en relieve deben tener ángulos inclinados que faciliten el desmolde.
- Árido a la vista. Uno de los métodos consiste en colocar en el fondo del molde granos de árido seleccionados, de tamaño uniforme, formando una capa continua; sobre ella se distribuye arena fina seca, haciéndola escurrir con una brocha, de manera que un tercio de la altura de los granos quede rodeado de arena. Después se humedecen los áridos para limpiarlos y afirmar la arena en su lugar. Finalmente se coloca un mortero muy trabajable para que rodee completamente los 2/3 de altura de los granos de grava y los fije. Se puede hacer una compactación suave de modo que no se desplacen los granos de su posición en la capa de arena. Sobre la capa de mortero se coloca la armadura de fierro del panel, incluidos los insertos y pernos para fijación.

Se puede emplear, por ejemplo, en muros, un retardante superficial que se expende en forma de papel, el que se adhiere al moldaje. Después del desmolde se aplica agua a presión, lo que elimina el resto de papel y deja los áridos a la vista. El aspecto se puede mejorar con áridos de distintos tonos.

Otro método, usado para elementos horizontales como pisos, veredas, pastelones y otros, consiste en colocar un hormigón en el molde y, una vez compactado y alisado, se aplica retardador superficial en la cara expuesta. Al día siguiente mediante agua a presión o agua y escobilla de acero se retira la capa superficial de lechada.

### 3.9.2 SUPERFICIES ABIERTAS

Es esencial prestar una atención especial en la terminación inmediata de las superficies expuestas para obtener un trabajo satisfactorio. La terminación final se realiza en varios pasos y el buen éxito de cada uno de ellos depende del cuidado en las operaciones precedentes.

En primer lugar, se necesita un hormigón bien diseñado y de consistencia uniforme en todas las amasadas. En general, un hormigón plástico, con asentamiento inferior a 8 cm, dará los mejores resultados, porque permite asegurar la resistencia y durabilidad y reduce la espera de la evaporación del agua superficial para hacer el platachado o allanado.

#### A) HERRAMIENTAS Y EQUIPOS NECESARIOS

- Moldajes laterales. En general los elementos horizontales sobre el suelo sólo necesitan moldajes laterales. Otros, como losas, techos, paneles, requieren moldaje de fondo y lateral.

- Compactadores. Para compactar el terreno y sobre el cual se colocará el hormigón.
- Cercha o regla vibradora.
- Vibrador de inmersión, para complementar la compactación de la cercha o regla vibradora.
- Regla para emparejar. Se puede hacer con una pieza de madera cepillada a 50 x 120 mm colocándole en un borde un fierro ángulo de 4 mm de espesor de 30 x 30 mm.
- Platacho para pavimento. Está formado por una plancha de 4 mm de espesor de 25 x 45 cm. Se usa para emparejar y alisar la superficie de los pavimentos.
- Platacho de mango largo. Para alisar el pavimento y retirar agua de exudación.
- "Machina" para formar bordes. Es un platacho metálico pequeño, constituido por una placa de 10 x 15 cm con un lado doblado formando un arco. Se usa para dar forma redondeada a los bordes del pavimento, para evitar el desprendimiento y desconchamiento de aristas.
- Espolón para formar juntas en fresco. Es un pequeño platacho de 15 x 10 cm que tiene saliente de la placa, otra placa metálica afilada.
- Platachos manuales. Para emparejar, especialmente orillas.
- Llanas metálicas para alisar puntos singulares como encuentro con cámaras y resumideros.
- Platachos mecánicos o "helicópteros" para superficies grandes como pisos industriales o requisitos muy estrictos. Estas máquinas tienen accesorios para hacer varias etapas y características de terminación. Ver Figura 3.52.
- Escobillón ancho, con puntas de alambre para dar textura.
- Máquinas cortadoras de juntas.

FIGURA 3.52  
PLATACHOS  
MECÁNICOS



Fuente: Multiquip. Catálogo Whiteman

## B) TRABAJOS DE COLOCACIÓN Y TERMINACIÓN

Platachado y terminación. Se hacen con el fin de obtener superficies uniformes con las rasantes y pendientes indicadas en los planos y especificaciones.

- a. Superficies texturadas. Después de alisadas con platacho de madera en superficies pequeñas o con el platacho metálico en los pavimentos, se hace una pasada con escobilla, escobillón con cerdas medias o gruesas, según el efecto requerido, que puede ser para mejorar el drenaje de lluvias o para evitar deslizamiento en diversas situaciones.
- b. Superficie con endurecimiento retardado. Se puede hacer en superficies moldeadas y en las abiertas. En estas últimas, después de la terminación, se nebuliza un aditivo retardador. Cuando el hormigón ha endurecido suficientemente para que no se muevan los granos de la grava superficial, se lava cuidadosamente con agua y escobilla pequeña.
- c. Hormigón coloreado. Hay varias formas de obtenerlo:
  - Color en la masa del hormigón. Se prepara un hormigón con pigmentos. Después se trata como hormigón tradicional.
  - Espolvoreado de color en la superficie. El hormigón se empareja y se hace el platachado preliminar para llevar suficiente agua que se combine con el polvo seco. Sobre la superficie recién platachada, se espolvorea el polvo seco por medio de un tamiz o un cedazo distribuyendo el polvo uniformemente en la superficie. Una vez que el material seco se ha embebido en el agua superficial se hace el platachado. Después se hace un segundo espolvoreado para dejar un color uniforme, se platacha y se alisa. El polvo seco puede ser un endurecedor superficial coloreado.

### 3.9.3 PISOS

#### A) GENERALIDADES

- Preparación de la base. Un piso se puede colocar sobre el suelo siempre que éste tenga las propiedades adecuadas. Debe estar libre de materia orgánica, arcilla plástica pegajosa, tierra orgánica u otros materiales esponjosos o expansivos. El suelo de buena calidad se compactará para dejarlo con un soporte parejo y denso. Si el suelo es de mala calidad, se debe reemplazar por material granular compactado. El espesor de la capa de material granular debe ser determinado por un especialista.
- Colocación del hormigón. Se debe diseñar un hormigón trabajable, plástico, cohesivo y retentivo con una resistencia mínima de 30 MPa. El hormigón se debe distribuir en forma ordenada y sistemática para obtener un piso homogéneo. Después de distribuido se empareja con regla manual o cercha mecánica emparejadora, se compacta para lograr una capa de hormigón uniforme y firme.
- Capa de terminación. En algunos pisos se coloca una capa superior de terminación de 5 cm junto con la capa de base o algún tiempo después. En el primer caso, cuando la capa

de base ha endurecido hasta ser capaz de resistir el paso de una persona sin deformación notoria, se barre con un escobillón firme para sacar toda la lechada y espuma, dejando una superficie áspera para asegurar una buena adherencia de la capa superior. En el segundo caso se coloca sobre una base que se limpia e impregna de humedad dos días antes de la colocación; normalmente se emplea un puente de adherencia acrílico.

- Platachado. Éste se hace a máquina, o manualmente, con el fin de llevar a la superficie suficiente mortero para hacer la terminación y eventual allanado.
- Allanado. Se hace a máquina o manualmente. Debe ser efectuado en el momento oportuno para evitar trabajar sobre una superficie con mucha pasta, lo que resultaría en un piso de baja resistencia al desgaste y con desprendimiento de polvillo.
- Platachado mecánico (helicóptero). Aumenta la resistencia superficial y sella las fisuras; como la superficie queda muy lisa es fácil de limpiar. No hay un plazo definido para hacer la operación ya que depende del tipo de hormigón y de las condiciones de clima: si se pasa el helicóptero muy pronto se destruye la superficie y si se hace en forma tardía no se logra el objetivo y hasta se podrían deformar las aspas del equipo. Si la superficie está muy irregular, normalmente primero se pasa el equipo con la tapa que protege las aspas.
- Curado. Se debe comenzar inmediatamente después de la terminación final para evitar el secado superficial que tiene por resultado una superficie fisurada con polvillo y de rápido desgaste. En clima cálido y/o con mucho viento debe aplicarse curado entre las etapas de acabado.
- Juntas y aristas. Muchos pisos interiores no las tienen, pero pueden ser necesarias. Se recomienda manejar cuidadosamente las herramientas al hacerlas para no dejar defectos en la superficie. Es conveniente usar una placa de madera como guía de la herramienta acanaladora. Si se desean juntas más finas o menos visibles se pueden cortar con sierra mecánica especial.
- Recubrimiento de pisos. A veces se especifica un material de recubrimiento del piso, como madera, vinilo y otros, que se pegan con adhesivos especiales. Se debe cuidar que el piso de hormigón no tenga materiales que puedan interferir con la adherencia de aquellos. Si el recubrimiento es rígido, como baldosas o cerámicos, es recomendable esperar al menos 3 semanas de confeccionado el hormigón para colocarlo.

#### B) SUPERFICIES PARA TRÁNSITO INTENSO

Los pisos bien construidos de acuerdo a lo indicado más arriba darán un buen servicio durante varios años. Sin embargo, hay situaciones con tránsito muy intenso que pueden requerir tratamientos especiales. A continuación, se mencionan algunos.

- Aumentar la resistencia del hormigón y/o el espesor de la losa.
- Usar mezclas con relaciones a/c más bajas, usando granulometrías que requieran menos agua o enriqueciendo la mezcla con cemento. También se pueden utilizar áridos más resistentes al desgaste.

- Colocar una capa superior de 5 cm, en fresco, con un hormigón especial más resistente al desgaste.
- Colocar una capa de endurecedor superficial en forma cuidadosa e indicada para los pisos de color.

### C) PISOS DE “MÁRMOL RECONSTITUIDO”

Son los pisos a los que se coloca una capa de terminación que está constituida por una mezcla de cemento, arena y granos de mármol o de otras piedras, o materiales, triturados a tamaño de unos 5 mm y lavados. Después de terminados y endurecidos se pulen con máquina con esmeril.

### D) PISOS CON TEXTURA ANTIDESLIZANTE

Cuando los pisos de hormigón con terminación lisa reciben agua, por distintas causas, se ponen resbalosos y pueden representar un peligro. Por esto se hacen terminaciones antideslizantes donde se estime necesario; siendo la más frecuente un escobillado en fresco. También se colocan en fresco áridos duros triturados en la superficie.

## 3.10

### CURADO

*El curado es el proceso de mantener controlado el contenido de agua del hormigón y protegerlo de condiciones climáticas adversas, especialmente en el período de endurecimiento, por el período de tiempo que se requiera, para que la pasta de cemento se hidrate y el hormigón desarrolle las propiedades especificadas.*

TEMAS TRATADOS	3.10.1 Generalidades
	3.10.2 Período de curado
	3.10.3 Métodos de curado
	3.10.4 Precauciones y protecciones
	3.10.5 Curado a vapor

#### 3.10.1 GENERALIDADES

Con el curado se pretende lograr la máxima resistencia del hormigón y la mayor durabilidad de la estructura.

Para ello, es necesario:

- Mantener el contenido de humedad, evitando la pérdida de agua desde el hormigón (favorecer la hidratación del cemento).
- Mantener temperaturas relativamente constantes (evitar cambios bruscos o temperaturas extremas). Temperaturas entre 10 °C y 20 °C son óptimas.
- Proteger al hormigón de acciones externas como: vientos, lluvias, nieve, agua a chorros, cargas, vibraciones, ataques químicos, etc.

No realizar los tratamientos de protección y curado puede conducir a daños en el hormigón como:

- Alto grado de porosidad, con la correspondiente mayor permeabilidad al agua, líquidos y gases.
- Menor resistencia a compresión y menor resistencia al desgaste de las superficies (en pavimentos o pisos).
- Menor capacidad de resistencia a los ataques por productos químicos.

- Formación de grietas de retracción plástica y retracción térmica.
- Formación de grietas de retracción hidráulica o por secado.
- Desprendimientos superficiales por congelamiento.

### 3.10.2 PERÍODO DE CURADO

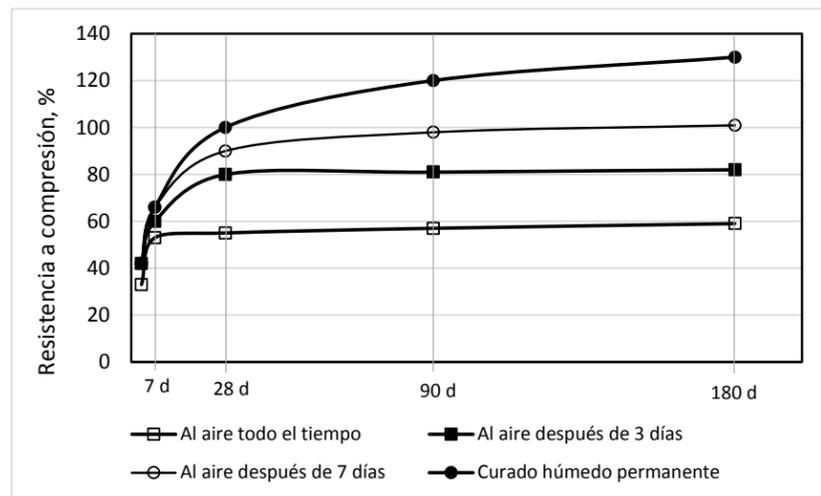
El plazo de curado depende, fundamentalmente, de la humedad ambiente y de la temperatura a la que está expuesta el hormigón.

En general, se debe adoptar lo siguiente:

- El curado se debe realizar por lo menos durante 7 días, a menos que se emplee membrana de curado.
- Se permite discontinuar el curado cuando la resistencia real del hormigón sea al menos el 70% de la especificada. Para estimar la resistencia real se puede emplear el método de madurez, o probetas curadas en condiciones de obra, testigos u otras.
- Se puede discontinuar el curado si la resistencia del hormigón, medida en probetas de laboratorio, es al menos el 80% de la resistencia especificada.

En todo caso, el período de curado debe ser el mayor posible. En Figura 3.53 se muestra el impacto del tiempo de curado en las resistencias de probetas de hormigón.

**FIGURA 3.53**  
PERÍODO DE CURADO Y RESISTENCIA A COMPRESIÓN



Fuente: Neville. Properties of concrete

En condiciones de clima muy caluroso o muy frío se deben tomar medidas especiales, las que se abordan en 3.14 Hormigonado en climas especiales.

En condiciones de lluvia o granizo se debe proteger la superficie del elemento hormigonado desde el momento de la colocación hasta el inicio de fraguado.

Durante el período de curado se debe evitar que el hormigón sufra impactos, vibraciones, tránsito de personas, carga de equipos y/o materiales. Si en ese período se alcanza adherencia suficiente con las armaduras o lo autoriza el proyectista estructural, el hormigón se puede someter a carga, pero debe continuar el proceso de curado.

### 3.10.3 MÉTODOS DE CURADO

Son muchos los métodos de curado. En general se pueden dividir en dos grandes grupos: aquellos que proporcionan humedad y los que previenen la pérdida de humedad.

En Tabla 3.31 se presenta los primeros y en Tabla 3.32 los segundos.

**TABLA 3.31**  
MÉTODOS QUE PROPORCIONAN HUMEDAD (TRATAMIENTOS HÚMEDOS)

Tipo	Características	Limitaciones
Mantenimiento del hormigón bajo agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mantenimiento de piscinas o pozos (diques de arena) sobre la superficie del hormigón. Ver Figura 3.54</li> <li>▪ Da excelentes resultados si es aplicado correctamente</li> <li>▪ Evita que se pisen las superficies recién hormigonadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aplicable sólo a superficies horizontales</li> <li>▪ Dificulta el tránsito de la obra</li> <li>▪ Se debe aplicar cuando el hormigón esté parcialmente endurecido, siendo necesario un tipo de curado previo (precurado) como: <ul style="list-style-type: none"> <li>· Lloviznas tenues</li> <li>· Nebulizaciones</li> <li>· Protecciones húmedas</li> <li>· Membranas de curado</li> </ul> </li> </ul>
Riego continuo	Se utilizan nebulizadores que funcionan en forma permanente dando muy buenos resultados. Ver Figura 3.55	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dificulta el tránsito de la obra</li> <li>▪ Es efectivo para temperaturas ambientes mayores a 100 °C</li> <li>▪ Tiene la desventaja del costo (mucho suministro de agua)</li> </ul>
Riego periódico	Es uno de los métodos más usados en obra y consiste en un riego aplicado a intervalos, cuando se observa que el hormigón empieza a secarse	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Debe aplicarse un precurado durante las primeras 24 horas</li> <li>▪ Da buenos resultados si es aplicado correctamente, pero queda sujeto al criterio de quien lo utiliza</li> <li>▪ No es recomendable en los primeros días</li> </ul>
Cubiertas mojadas	Arpilleras, sacos y otros. Dan excelentes resultados, si se mantienen constantemente húmedos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Deben estar totalmente limpias de materiales contaminantes</li> <li>▪ Deben ser resistentes a la pudrición</li> </ul>
Capa de arena húmeda (5 - 10 cm)	Da buenos resultados si permanece constantemente húmeda	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Debe aplicarse un precurado previo (24 horas)</li> <li>▪ Debe estar libre de materias orgánicas u otras sustancias dañinas al hormigón</li> </ul>

**FIGURA 3.54**  
DIQUES DE ARENA



Fuente: Propia

**FIGURA 3.55**  
NEBULIZACIÓN



Fuente: Propia

**TABLA 3.32**  
MÉTODOS QUE PREVIENEN LA PÉRDIDA DE HUMEDAD

Tipo	Características	Limitaciones
Membrana de curado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se pueden aplicar no sólo desde el inicio del curado, sino también son aplicables para curar superficies que estaban inicialmente con moldajes.</li> <li>Facilidad de aplicación.</li> <li>Dan excelentes resultados siempre que cubran toda la superficie y que sean aplicados a la brevedad posible, con un espesor uniforme, según recomendaciones del fabricante.</li> <li>Ver Figura 3.56</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al aplicarlos sobre superficies que recibirán hormigón o algún tratamiento (pintura, estuco, impermeabilización y otros) deben ser removidas, ya que impiden la adherencia.</li> <li>Previenen la pérdida de humedad, pero no controlan la temperatura del hormigón ni agregan agua para una óptima hidratación.</li> </ul>
Láminas impermeables	<ul style="list-style-type: none"> <li>El papel impermeable es adecuado para superficies horizontales y estructuras de formas simples.</li> <li>El polietileno es de fácil aplicación, para todo tipo de formas de estructuras.</li> <li>Debe tener un traslape mínimo de 10 cm.</li> <li>Ver Figura 3.57</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Deben quedar totalmente en contacto con el hormigón para evitar evaporación y formación de manchas.</li> <li>Las láminas de polietileno deben protegerse de temperaturas extremas y viento, debiéndose aplicar sobre ellas una capa aislante de tierra o arena.</li> <li>En tiempo caluroso emplear polietileno blanco que refleja la luz del sol. En tiempo frío usar polietileno negro, que absorbe calor.</li> <li>Ambas previenen la pérdida de humedad, pero no controlan la temperatura del hormigón ni agregan agua para una óptima hidratación.</li> </ul>
Polietileno con burbujas de aire (de embalaje)	Similar a las láminas impermeables, con la ventaja de ser aislante térmico, lo que lo hace muy adecuado para clima frío.	Similar a las láminas impermeables.

**FIGURA 3.56**  
APLICACIÓN MEMBRANA DE CURADO



Fuente: Propia

Figura 3.57  
Polietileno



Fuente: Propia

### 3.10.4 PRECAUCIONES Y PROTECCIONES

En Tabla 3.33 se presenta algunas consideraciones a tener en cuenta con respecto al curado.

**TABLA 3.33**  
PRECAUCIONES  
Y PROTECCIONES  
DURANTE EL  
PERÍODO DE  
CURADO

Métodos de curado	Agua	El agua de curado debe cumplir con las mismas características del agua de amasado (no debe ser contaminante ni agresiva para el hormigón). El agua no debe estar excesivamente más fría que el hormigón.
	Cubiertas mojadas	Durante el período de curado deben permanecer totalmente saturadas. Después, deben dejarse secar sobre la superficie protegida para permitir que el hormigón se seque lentamente.
Proceso de curado	Materiales	Los moldajes deben mantenerse húmedos. Si el desmolde se produce en este período, las nuevas superficies expuestas deben someterse a curado hasta el final del período estipulado.
	Variaciones ambientales	Si suceden variaciones climáticas, impredecibles durante o en el período de terminación del curado (fuertes vientos o temperaturas extremas), deben efectuarse las protecciones necesarias inmediatamente para no dañar al hormigón o al material de curado.
	Protección de la superficie	El hormigón no debe sufrir cargas, impactos, vibraciones, tránsito de personas, vehículos, equipos o peso de materiales, que puedan dañar al hormigón o al material de curado.
	Tipos de superficies	Se debe tener especial precaución para el curado de losas y otras superficies que tengan altas proporciones entre la superficie expuesta y el volumen de hormigón, ya que éstas disipan mucho calor.

### 3.10.5 CURADO A VAPOR

Un método especial de curado se usa en elementos prefabricados. Consiste en aplicar calor para acelerar los procesos de fraguado y endurecimiento y se hace mediante vapor; con lo que se asegura una humedad adecuada para la estructura. Con esto se acelera el desarrollo de resistencia del hormigón, lo que permite demoldar antes o cortar los cables de pretensados más rápido o tensar en el postensado ya que el hormigón ha obtenido resistencia antes de lo normal.

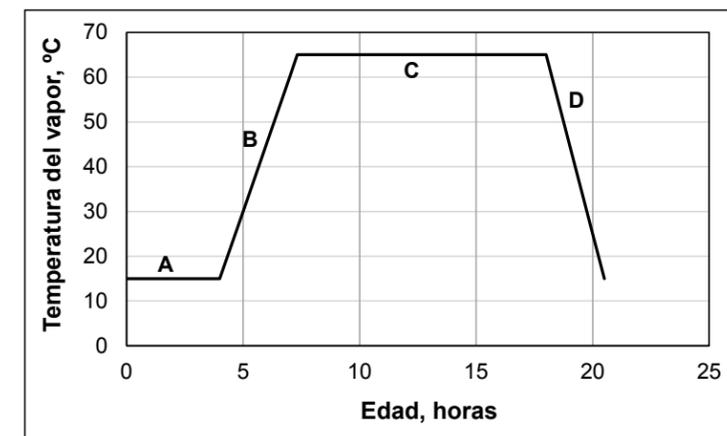
Normalmente, el o los elementos a tratar se cubren con una carpa por cuyo interior se hace circular vapor, el que se genera en una caldera.

Después de las etapas de terminación del hormigón, se espera que el hormigón se rigidice (3 a 4 horas) y luego se aplica vapor de manera que la temperatura del vapor vaya subiendo a un ritmo máximo de 20 °C por hora hasta alcanzar una temperatura máxima de 65 a 70 °C.

Alcanzado el máximo indicado, se mantiene a esa temperatura un tiempo variable según sea el proceso y las necesidades de operación. Generalmente lo que se pretende es tener un ciclo de producción cada 24 horas. Para terminar, el enfriamiento debe ser a un ritmo de no más de 25 °C por hora.

En Figura 3.58 se muestra un ciclo típico de curado a vapor.

**FIGURA 3.58**  
CURADO A VAPOR



A = etapa de espera  
B = etapa de calentamiento  
C = etapa de mantención  
D = etapa de enfriamiento

Fuente: Propia

Comparado con un hormigón igual sometido a un curado normal, es de esperar que con curado a vapor tenga menores resistencias a 28 días.

## 3.11

# DESMOLDE Y DESCIMBRE

TEMAS  
TRATADOS

### 3.11.1 Plazos de desmolde

### 3.11.2 Recomendaciones generales

## 3.11.1 PLAZOS DE DESMOLDE Y DESCIMBRE

El desmolde es el proceso de retiro del moldaje y el descimbre es el proceso de retiro de los elementos de sustentación de las estructuras de hormigón (puntales, alzaprimas, entre otros).

El inicio del desmolde y descimbre depende de la resistencia del hormigón y de las características de los elementos, de forma de que cuando se realicen los procesos no se produzcan daños a los elementos estructurales.

Cuando el desmolde se realice durante el período de curado, las superficies que queden expuestas deben continuar con el curado hasta completar el período recomendado.

Para establecer los plazos de desmolde y descimbre, la norma NCh170 diferencia entre paramentos verticales u horizontales.

### A) PARAMENTOS VERTICALES

Los paramentos verticales o con una inclinación de hasta 30% (muros, costados de vigas y pilares) se pueden desmoldar cuando la operación no cause daños.

En general el desmolde se puede realizar cuando el hormigón de la estructura alcance una resistencia de al menos 2 MPa. En condiciones normales y con temperaturas superiores a 10 °C esa resistencia se alcanza después de 12 horas.

Para estimar la resistencia que tiene la estructura, lo más recomendable es utilizar el método de madurez del hormigón.

### B) PARAMENTOS HORIZONTALES

Los moldajes de fondo de vigas o losas se pueden retirar, siempre que los elementos no estén sometidos a cargas distintas a su peso propio, cuando el hormigón colocado tenga una resistencia de al menos 13 MPa.

Si al retirar los moldajes se retiran los puntales que alzapriman al elemento, se debe proceder al reapuntalamiento en un plazo de 2 horas o, a lo más, dentro de la misma jornada de trabajo. Estos nuevos puntales no deben ejercer sobrepresión sobre el hormigón.

El retiro de los puntales de vigas y losas se puede realizar cuando el hormigón colocado tenga una resistencia de al menos el 75% de la especificada, siempre que las cargas de construcción sean inferiores a las cargas de diseño.

Para la estimación de la resistencia del hormigón colocado se debe emplear, de preferencia, el método de madurez o, en su defecto, por medio de probetas conservadas en condiciones similares a las de la estructura.

Alternativamente a la determinación de la resistencia de la estructura, la norma NCh170 establece los plazos que se muestran en Tabla 3.34.

**TABLA 3.34**  
PLAZOS MÍNIMOS  
DE DESMOLDE Y  
DESCIMBRE

Tipos de elementos y moldajes	Plazo mínimo
	T media diaria $\geq 10$ °C
Paramentos verticales de columnas, muros y vigas largas	12 h (1)
Fondos de losas	4 días
Fondos de vigas y puntales de losas	10 días
Puntales de vigas	14 días

(1) Las 12 horas corresponden a temperaturas ambientes mayores que 10 °C. No se consideran las horas con temperaturas menores a 10 °C.

(2) Si la temperatura media diaria es menor que 10 °C y no se han adoptado medidas especiales de protección, puede ser necesario incrementar los plazos indicados en esta tabla hasta que el hormigón alcance la resistencia requerida.

(3) Al momento de retirar los moldajes y antes de proceder al reapuntalamiento, no deben existir sobrecargas de construcción sobre el elemento.

Fuente: NCh170:2016

Puede ser recomendable agregar 1 día por cada día que no se obtenga una temperatura media  $\geq 10$  °C.

## 3.11.2 RECOMENDACIONES GENERALES

El desmolde y descimbre debe realizarse lo más tardíamente posible, dentro de las posibilidades que da la operación de la obra.

El hormigón está protegido dentro de los moldes por lo que, de ser posible, el retiro de los moldajes debe hacerse terminado el período de curado recomendado.

Para asegurar la estabilidad y durabilidad de la estructura:

## 3.12

### CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGÓN

*Debido a que el hormigón es un material esencialmente variable y son muchas las causas de esa variabilidad, se debe verificar que éste obtenga y mantenga las características previstas.*

*Esta verificación se realiza mediante ensayos sobre determinadas propiedades del hormigón. El nivel de ensayos, el cual es función directa de las características de la obra, principalmente de su costo, será más estricto cuanto más estrecho sea el rango de variación deseable.*

Cabe destacar al respecto que, independientemente del nivel de control en obra, es necesario tomar medidas mínimas respecto a los materiales y al proceso de fabricación, con la finalidad de tener un proceso de buena calidad, y así eliminar o minimizar fuentes de variación y tener un mejor aprovechamiento de los mismos, implicando menores costos.

#### TEMAS TRATADOS

3.12.1 Recomendaciones para tener un proceso de calidad

3.12.2 Propiedades y control del hormigón fresco

3.12.3 Propiedades y control del hormigón endurecido

#### 3.12.1. RECOMENDACIONES PARA TENER UN PROCESO DE CALIDAD

La resistencia mecánica es la característica normalmente requerida al hormigón. Esa resistencia es el resultado final de todo el proceso de diseño, fabricación y tratamiento del hormigón.

Las características del hormigón fresco influyen significativamente en las características del hormigón endurecido. La homogeneidad del hormigón fresco y del hormigón endurecido depende de los materiales componentes, de los equipos, del proceso de fabricación y del personal que realiza las operaciones.

En Cuadro 3.8 se presenta diferentes recomendaciones al respecto.

- El retiro de moldajes debe realizarse sin producir sacudidas, choques, ni destrucción de aristas, esquinas o superficies del hormigón.
- El retiro de soportes o alzaprimas debe realizarse en forma gradual, de modo que el hormigón vaya tomando las cargas paulatinamente, y no existan áreas críticas sin un soporte adecuado.

Un elemento que al ser desmoldado queda sometido a la carga de su propio peso, no debe ser cargado inmediatamente. En caso de ser inevitable se recomienda:

- No concentrar las cargas (de materiales, equipos y otros) y ubicarlas en las orillas, cerca de sus apoyos, de preferencia en aquellos que descansan en muros.
- No dejar caer o volcar objetos pesados.
- Retirar las cargas a la brevedad posible.

Para los puntales que están a nivel del terreno y están apoyados sobre tablonos, hay que comprobar la resistencia del suelo, para que éste no sufra deformaciones, especialmente si su consistencia se ve afectada por el riego de los moldajes y el riego posterior de los hormigones.

En caso de puntales que se apoyan sobre pisos inferiores, los que pueden no haber sido diseñados para soportar dichas cargas, es necesario apuntalar estos últimos. (El apuntalamiento debe hacerse en un número de pisos suficiente para el desarrollo de la capacidad de carga necesaria). Hay que verificar además que los puntales coincidan verticalmente con los apoyos de los pisos inferiores.

En ningún caso los puntales de los pisos inferiores deben removerse mientras estén a menos de 2 pisos de una losa recién colocada.

**CUADRO 3.8**  
RECOMENDACIONES  
PARA TENER UN  
PROCESO DE  
CALIDAD

	Equipos
Agua: Usar sólo agua de la red pública Renovación de agua de tambores	Calibración periódica Mantenimiento mecánico periódico
Áridos: No cambiar procedencia Acopios separados según árido Evitar segregación y contaminación	
Cemento: No cambiar procedencia Almacenamiento adecuado Consumir por orden de llegada	
Aditivos: Prever decantación	
Personal	Proceso de fabricación
Capacitación y especialización en determinadas áreas No rotar personal	Medición en peso Medición precisa Usar cemento en bolsas enteras Evitar segregaciones Tiempo de revoltura

Para lograr el objetivo de tener un proceso de calidad, se pueden establecer niveles de control, los cuales son función directa del costo de la obra. En el Cuadro 3.9 se indican los niveles recomendados.

**CUADRO 3.9**  
NIVELES DE  
CONTROL

Nivel	Parámetros a controlar	Observaciones
1	1.1 Resistencia mecánica	· Nivel mínimo de control · Permite comprobar la calidad del hormigón a posteriori · En general se evalúa por ensayos de probetas
	1.2 Trabajabilidad	· Generalmente se mide la docilidad mediante el asentamiento de cono · Para un mismo hormigón permite controlar en forma indirecta la razón agua/cemento del hormigón y por ende tener un indicador de su resistencia

2	1.1. Razón A/C (agua/cemento)	Para su determinación es necesario determinar la densidad del hormigón y tener las características de los áridos
	1.2. Granulometría del hormigón	Permite controlar la granulometría del hormigón e indirectamente controlar la trabajabilidad y la razón A/C
	1.3. Densidad aparente	Permite verificar el rendimiento en obra y por ende la cantidad de cemento
	1.4. Temperatura	· Tanto ambiente como del hormigón · Mediante un registro se puede verificar que esté dentro de límites aceptables (en caso contrario se deben tomar precauciones especiales)
	1.5. Hormigones de prueba	Permite verificar efectos de cambios en la dosificación o en los materiales
	1.6. Contenido de aire	Permite verificar la dosificación y hacer correcciones
	1.7. Rendimiento de la amasada	Permite verificar que se está realizando una correcta medición de los materiales
	1.8. Inspección del proceso	Debe ser realizado por personal experimentado e incluir, entre otros, inspección de operadores, verificaciones varias e inspecciones visuales
3	Ejecución de la obra	Requiere de personal capacitado y experimentado independiente del ejecutante que inspeccione y controle, entre otros: · Colocación (controlando además desviaciones con respecto a planos) · Compactación · Curado

### 3.12.2 PROPIEDADES Y CONTROL DEL HORMIGÓN FRESCO

Si bien las propiedades del hormigón fresco son más notorias durante la colocación y compactación del hormigón, influyen significativamente en las características y propiedades del hormigón endurecido.

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A) Muestreo del hormigón fresco
- B) Frecuencia de muestreo
- C) Trabajabilidad
- D) Otras características del hormigón fresco

## A) MUESTREO DEL HORMIGÓN FRESCO.

### A1) Generalidades

La norma NCh171 define muestra simple aquella formada por una porción de hormigón y muestra compuesta aquella formada por dos o más porciones.

La muestra especial, la que puede ser simple o compuesta, está destinada a evaluar al hormigón en cualquier etapa del hormigonado y del curado. Refleja los efectos de operaciones en puntos intermedios entre la salida de la betonera y el lugar de colocación.

Debe haber especial preocupación por asegurar que la muestra represente las condiciones y naturaleza del hormigón muestreado.

El tiempo para obtener la muestra desde la toma de la primera porción no debe ser superior a 15 minutos.

La muestra se debe transportar hasta el lugar en que se realizarán los ensayos o se confeccionarán probetas. En ese lugar la muestra se debe remezclar en el menor tiempo posible asegurando la homogeneidad.

En todo momento la muestra debe protegerse del sol, viento, de otras fuentes de evaporación o contaminación.

El volumen mínimo de la muestra es de 30 litros. Se puede permitir un volumen menor cuando se trata de controles rutinarios de contenido de aire, temperatura y asentamiento de cono.

### A2) Procedimiento

Tanto para betoneras estacionarias o camiones mezcladores la muestra se debe tomar entre el 10% y el 90% de la descarga. Normalmente al principio de la descarga el hormigón es más pedregoso y al final es más arenoso.

Normalmente se toma muestra simple, pero si es compuesta las porciones deben ser tomadas en intervalos regulares.

Pasar un recipiente por toda la sección del flujo de la descarga o desviar completamente el flujo hacia un contenedor de muestra.

Si la descarga de una betonera es demasiado rápida, descargar la amasada completa en un contenedor de volumen adecuado y de ese contenedor obtener porciones de muestra de al menos cinco puntos diferentes.

La velocidad de descarga de un camión mezclador se regula por la velocidad de rotación del tambor y no mediante ajustes del tamaño de la abertura de la compuerta.

### A3) Registro

La persona responsable de tomar la muestra debe registrar:

- Antecedentes de la obra (empresa, nombre y ubicación de la obra, solicitante, nombre y firma del informante de la obra).
- Antecedentes del hormigón (resistencia especificada, fracción defectuosa, tamaño máximo, asentamiento de cono, procedencia del hormigón, guía de despacho si corresponde, volumen de la amasada, temperatura del hormigón, tipo y ubicación del elemento hormigonado).
- Antecedentes de la extracción (identificación del laboratorio, fecha y hora de extracción, número de muestra, identificar si es muestra simple o compuesta, lugar de extracción).
- Otros antecedentes (por ejemplo, condiciones ambientales que pueden afectar al hormigón, como temperatura ambiente, viento, precipitaciones).

## B) FRECUENCIA DE MUESTREO

La norma NCh170 establece la frecuencia de muestreo para control de resistencia mecánica, para cada grado de resistencia especificada. Esta frecuencia es la que se muestra en Tabla 3.35.

**TABLA 3.35**  
FRECUENCIA DE  
MUESTREO

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

Fuente NCh170:2016

La especificación técnica puede establecer un mayor número de muestras por volumen de hormigón.

Si se ha establecido realizar un muestreo de hormigón endurecido y este no se encuentra, debe considerarse como mínimo:

- Pavimentos: 1 testigo cada 1000 m<sup>2</sup> de superficie con un mínimo de tres
- Hormigón en general: 3 testigos por zona a evaluar

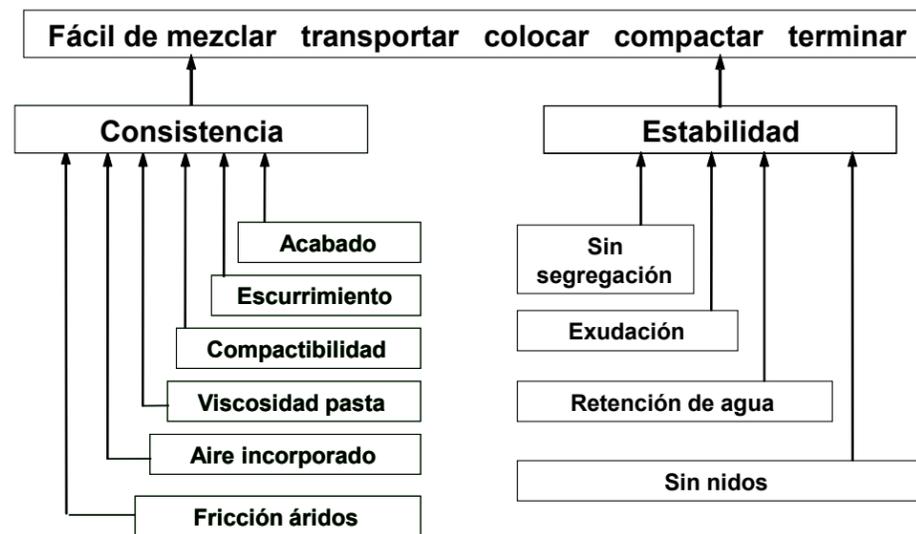
## C) TRABAJABILIDAD

Un hormigón que es fácil de mezclar, transportar, colocar, compactar sin segregación se dice que es trabajable.

La trabajabilidad deseada para un caso particular depende de los equipos disponibles, en particular de los medios de compactación. Por ejemplo, la trabajabilidad adecuada para el hormigón de una represa probablemente no va a ser la requerida para secciones delgadas o densamente armadas. Por tal razón, la trabajabilidad se define como una propiedad del hormigón, sin hacer referencia a las circunstancias de un particular tipo de construcción.

La trabajabilidad implica dos conceptos contrapuestos: consistencia o docilidad y estabilidad. En condiciones normales, un hormigón muy fluido va a llenar los moldes fácilmente pero probablemente se va a segregar, lo que va a llevar a nidos u otros defectos. Un hormigón muy consistente va a ser muy estable pero difícilmente se va a poder colocar. Esto se muestra en Figura 3.59.

**FIGURA 3.59**  
TRABAJABILIDAD



Fuente: Holcim. Course of cement applications

La trabajabilidad está fuertemente influenciada por la cantidad de agua, la que aumenta la docilidad y disminuye la estabilidad. El contenido de finos, incluido el cemento, disminuye la fluidez y aumenta la estabilidad. La forma, granulometría y textura superficial de los áridos también influyen.

La trabajabilidad no tan sólo es importante en el hormigón fresco, también influye en las características del hormigón endurecido como la resistencia mecánica de la estructura, en la densidad, en la apariencia superficial, en la permeabilidad y por tanto en la durabilidad.

Desgraciadamente, no hay un ensayo aceptado que mida directamente la trabajabilidad. En la práctica sólo se mide la consistencia o docilidad.

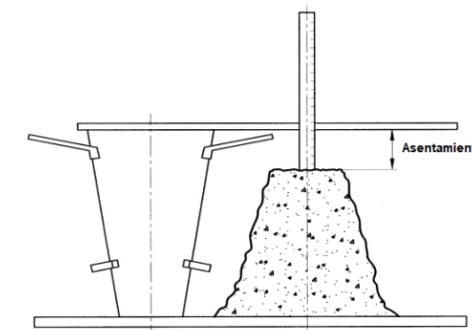
### C1) Asentamiento de cono

Si bien hay muchos ensayos para determinar la docilidad, en todo el mundo el que más se utiliza es el más antiguo: el cono de Abrams. En Chile está regido por la norma NCh1019.

Se emplea un molde tronco cónico de diámetro inferior de 20 cm, superior de 10 cm y 30 cm de altura, un pisón de acero liso de 16 mm de diámetro con punta redondeada, una placa base de al menos 40 por 60 cm y una poruña para el llenado. Todos los implementos se humedecen antes del ensayo.

Se llena el molde en 3 capas de igual volumen apisonando cada capa con 25 golpes (la capa inferior se llena hasta aproximadamente 7 cm de altura y la capa media hasta aproximadamente 16 cm de altura). Siempre debe haber un exceso de hormigón en el llenado de la tercera capa. Después de la compactación, se enrasa y se levanta suavemente el cono en dirección vertical en un tiempo de  $5 \pm 2$  s. Se coloca el molde invertido al lado del hormigón moldeado y se mide inmediatamente la disminución de altura del hormigón respecto al molde, con aproximaciones de 0,5 cm. (Figura 3.60).

**FIGURA 3.60**  
MEDICIÓN DEL  
ASENTAMIENTO



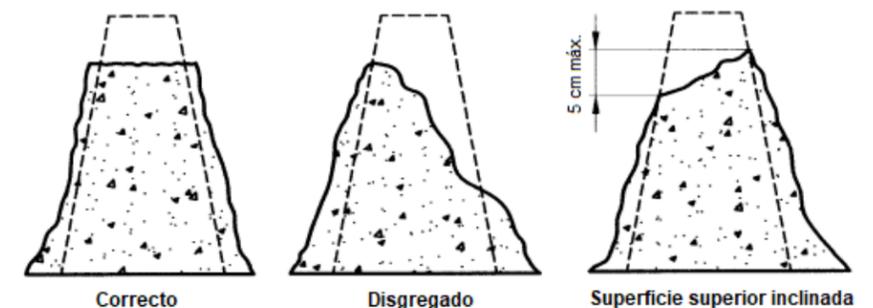
Fuente: NCh1019.Of2009

Completar las operaciones desde el inicio del llenado hasta el levantamiento del molde sin interrupciones en un tiempo menor o igual que 2,5 min.

Cuando el hormigón moldeado sufre disgregaciones o la superficie superior se inclina con una diferencia mayor o igual que 5 cm entre el punto más alto y el más bajo de su diámetro, descartar el ensayo y efectuarlo nuevamente con otra porción de la misma muestra (ver Figura 3.35).

Para los ensayos de control, el criterio de aceptación del asentamiento de cono se indica en Tabla 3.61

**FIGURA 3.61**  
FORMAS DE  
ASENTAMIENTO



Fuente: NCh1019.Of2009

**TABLA 3.36**  
CRITERIO DE  
ACEPTACIÓN DEL  
ASENTAMIENTO  
DE CONO

Asentamiento, mm	Tolerancia, mm
≤ 40	± 10
40 a 90	± 20
≥ 100	± 30

Fuente: NCh170:2016

El método descrito no es aplicable a hormigones cuyo asentamiento sea menor que 1,5 cm o mayor que 21 cm. Se puede ampliar a un asentamiento de 23 cm en hormigón con un tamaño máximo nominal del árido menor que 37,5 mm.

El asentamiento de cono es un método que se puede hacer fácilmente en terreno, es rápido y económico; de ahí su empleo en todo el mundo.

Sirve para detectar cambios en hormigones fabricados bajo las mismas consignas. Un aumento del asentamiento estaría indicando, por ejemplo, un aumento de la humedad de los áridos o un cambio en la granulometría ya que una disminución de la arena podría subir el asentamiento.

El asentamiento es sin duda una medida de la docilidad, pero no de la trabajabilidad. Hormigones de igual asentamiento pueden tener muy distinta trabajabilidad. Por tanto, no sirve para comparar hormigones diferentes, por ejemplo, uno de áridos rodados y otro con áridos chancados, u hormigones de distinto tamaño máximo, con o sin aditivo plastificante y otros.

## C2) Ecurrimiento

En hormigones autocompactantes el asentamiento de cono está fuera del rango de uso. En su reemplazo se emplea un método que mide el escurrimiento del hormigón tanto en terreno como en el laboratorio. Está regido por la norma NCh3113.

El método se aplica a un tamaño máximo de 20 mm o inferior, ya que es muy difícil obtener hormigones autocompactantes que no se segreguen con tamaños máximos superiores.

Se utiliza el mismo molde tronco cónico ya descrito para el ensayo de asentamiento de cono. La placa base es de por lo menos 90x90 cm y tiene marcados dos círculos concéntricos de 100 y 500 mm. Las más empleadas son de acrílico. Además, se requiere un cronómetro con precisión de 0,1 segundos.

Se humedece la placa base y el molde. Éste se coloca invertido (también se puede colocar en su posición normal) en el primer círculo de la placa y se llena en una sola capa, sin compactar. Se enrasa el molde y se limpia la placa. Se levanta el molde en un movimiento continuo, sin movimientos laterales o de torsión. Se registra el tiempo, aproximando a 0,5 s, desde que se inicia el levantamiento del molde hasta que el borde externo del hormigón alcanza 500 mm de diámetro (T500). Completar el ensayo en un tiempo de 2,5 minutos. Ver Figura 3.62.

Se deja el hormigón escurrir y cuando deja de hacerlo se mide el mayor diámetro del depósito con una aproximación de 5 mm. Luego se mide otro diámetro perpendicular al anterior. Si se observa un halo en el contorno del hormigón, éste es parte del diámetro que se mide. Si la diferencia entre los

dos diámetros es superior a 50 mm, el ensayo debe repetirse.

El escurrimiento es el promedio de los dos diámetros medidos y se aproxima a 10 mm.

El T500 entrega una medida relativa de la velocidad de escurrimiento y para materiales similares es una indicación de la viscosidad relativa. Para modificar las propiedades de escurrimiento se emplean hiperplastificantes y modificadores de la viscosidad.

La cohesión del hormigón autocompactante se aprecia visualmente y se puede emplear en el control de calidad de las mezclas de hormigón autocompactante. En Tabla 3.37 se presenta los criterios correspondientes para evaluar cualitativamente la cohesión.

**FIGURA 3.62**  
ESCURRIMIENTO  
DE HORMIGÓN  
AUTOCOMPACTANTE



Fuente: Holcim. Course of cement applications

**TABLA 3.37**  
ÍNDICE DE  
COHESIÓN VISUAL

Valor ICV	Criterio
0 = altamente cohesivo	No hay evidencia de segregación o exudación.
1 = cohesivo	No hay evidencia de segregación y se observa pequeña exudación como brillo sobre la masa de hormigón.
2 = no cohesivo	Un pequeño halo de mortero (< 10 mm) y/o una pila de árido en el centro de la masa de hormigón.
3 = altamente no cohesivo	Clara segregación por evidencia de un gran halo de mortero (< 10 mm) y/o una gran pila de áridos en el centro de la masa de hormigón.

Fuente: NCh3113:2007

## C3) Consistómetro Vebe

Los hormigones muy secos también quedan fuera del rango de empleo del ensayo de asentamiento de cono.

Puede haber diferencias de consistencia importante entre dos hormigones, aunque tengan asentamiento muy bajo o no tengan (asentamiento cero).

Para esos casos se utiliza el consistómetro Vebe (ASTM C 1170 y EN 12350-3). No hay norma chilena y en Chile el más común es el método ASTM. Figura 3.63.

Básicamente el ensayo consiste en llenar un molde humedecido con el hormigón suelto y afianzarlo sobre una mesa vibradora de 3600 rpm. Se apoya una placa transparente sobre el hormigón con una sobrecarga centrada de 12,5 o 22,7 kg, dependiendo de la humedad del hormigón. Entonces, se hace funcionar la mesa y se mide el tiempo hasta que se vea que una capa de mortero llene el espacio entre la sobrecarga y el borde del molde.

El ensayo se suspende si no se logra esta condición a los 90 segundos.

Es un ensayo rutinario en hormigones compactados con rodillos. (Ver 3.16).

**FIGURA 3.63**  
CONSISTÓMETRO  
VEBE



Fuente: Utest

## D) OTRAS CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN FRESCO

### D1) Densidad aparente fresca

Para el ensayo (NCh1564) se emplea un recipiente de volumen conocido de al menos 5 litros para tamaño máximo 20 mm y de al menos 10 litros para tamaño máximo 37,5 mm.

Si se usa vibrador de inmersión, el recipiente se llena en dos capas y se compacta con tres inserciones del vibrador. Si se emplea mesa vibradora se llena en una capa.

Si se emplea compactación manual, el recipiente se llena en tres capas iguales que se compactan con 25 golpes de pisón por capa (barra lisa de 16 mm de diámetro de borde redondeado). Después de compactar cada capa, se debe golpear suavemente los costados del recipiente con un mazo.

El recipiente se enrasa, se limpia y se pesa. La densidad está dada por la relación entre la masa y el volumen del recipiente y se aproxima a los 10 kg/m<sup>3</sup> más cercanos. Ver Figura 3.64.

Lo importante es la relación entre la densidad teórica (suma de las masas de la dosificación) y la densidad medida. Una densidad fresca mayor que la teórica implica que se produce menos

hormigón que el estimado, lo que se traduce en mayor dosis de cemento por m<sup>3</sup>, lo que afecta los costos; si es al revés, se afecta negativamente las resistencias. Además de errores de medición de los materiales, lo más común son problemas en la estimación del agua de amasado y del aire atrapado.

El rendimiento es aproximadamente la relación entre la densidad teórica y la densidad fresca. En hormigones de prueba es bueno un rango de  $\pm 0,5\%$  y para hormigones de obra es aceptable un rango de  $\pm 2\%$ . Fuera de esos rangos se debe tomar medidas para detectar y corregir errores.

La dosis real de cemento es la dosis teórica dividida por el rendimiento.

**FIGURA 3.64**  
DENSIDAD  
FRESCA



Fuente: Propia

### D2) Segregación

Es la separación de los componentes del hormigón ya amasado, haciendo que éste pierda su homogeneidad. Produce dificultades tanto en la colocación como la compactación y da lugar a hormigones con poros y nidos. Afecta más a hormigones pobres, fluidos o con falta de finos.

Entre las medidas para evitar la segregación o disminuirla se tiene:

- Dosificación:
  - Dosis adecuada de agua
  - Granulometría adecuada
  - Proporción entre áridos finos y gruesos
  - Si faltan finos la segregación se reduce incorporando aire (aditivo)
  - Empleo de aditivos
- Transporte adecuado
- Colocación adecuada
- Compactación adecuada (evitar el vibrado en exceso)

### D3) Falso fraguado

Corresponde a un endurecimiento prematuro de la pasta de cemento, produciendo una rigidización del hormigón, en estado fresco. Puede provenir de un comportamiento anómalo del yeso añadido al cemento, que pierde parte de su agua de cristalización, y la recupera del agua de amasado, cristalizándose y adquiriendo rigidez.

El problema se evita aumentando el tiempo de amasado (rompiendo la cristalización), sin adicionar más agua o aditivos. Es un fenómeno que no sucede en el hormigón premezclado por la constante agitación del hormigón.

Si se produce falso fraguado hay que agitar el hormigón, por ejemplo, con platachado.

### D4) Exudación

Durante el hormigonado las partículas sólidas del hormigón sedimentan por gravedad y por vibración, desplazando el agua hacia arriba, lo que conduce a:

- Mayor contenido de agua y granos finos en la superficie (menor resistencia de dicha capa).
- Conductos capilares que constituyen vías permeables, afectando la impermeabilidad.
- Acumulación de agua bajo armaduras y partículas de mayor tamaño, dejando huecos al evaporarse, disminuyendo la adherencia.
- Sedimentación de los sólidos.

A pesar de los aspectos negativos nombrados, la exudación es altamente beneficiosa para evitar o disminuir la retracción plástica.

Entre las medidas para evitarla o disminuirla están:

- Utilizando un contenido adecuado de granos finos (menor a 0,150 mm)
- Con bajas dosis de agua
- Empleando aditivos plastificantes
- Empleando aditivos incorporadores de aire
- Colocando el hormigón en capas delgadas

### D5) Retracción plástica

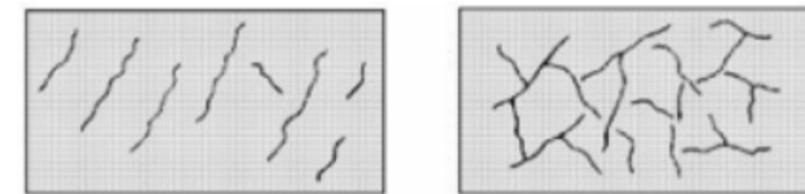
Cuando la velocidad de evaporación de agua de la superficie del hormigón colocado es más rápida que el agua que se reemplaza por exudación, la superficie del hormigón se contrae. Debido a la restricción que ofrece el hormigón que está debajo de la superficie que se está secando se desarrollan tensiones de tracción en el aún plástico y débil hormigón. Esto se traduce en grietas superficiales, de profundidades variables, que pueden formar un polígono o ser esencialmente paralelas unas a otras. Ver Figura 3.65.

Los elementos más comprometidos son los con alta relación superficie/volumen como losas, pavimentos y estucos. Dada la gran superficie expuesta que tienen esos elementos, cualquier cosa que aumente la evaporación de agua incrementará la tendencia al agrietamiento: alta temperatura del hormigón y ambiente, baja humedad relativa y alta velocidad del viento.

Para evitarla o disminuirla:

- Crear un ambiente húmedo mediante nebulización, por ejemplo
- Emplear cubresoles
- Emplear cortavientos
- Si el agrietamiento se produce cuando el hormigón aún no se rigidiza, se puede emplear revibrado o un replatachado.

**FIGURA 3.65**  
FISURAS DE  
RETRACCIÓN  
PLÁSTICA



Fuente: Holcim. Diagnóstico de problemas en el hormigón

### D6) Asentamiento plástico

Los materiales sólidos del hormigón tienden a decantar y el agua a ascender (exudación). Esta decantación, asentamiento, produce un acortamiento del hormigón en vertical (aproximadamente el 1%), lo que es relevante en elementos altos.

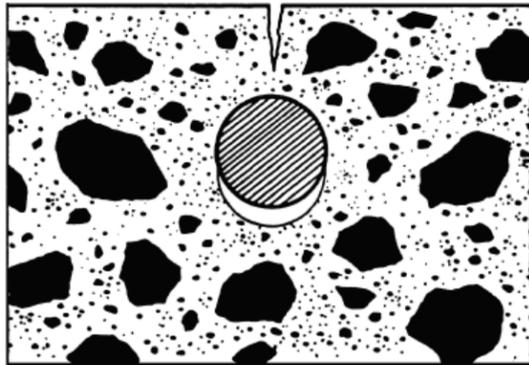
Al descender, el hormigón se puede encontrar con armaduras, las que se convierten en una restricción al movimiento. Bajo la armadura se forma un vacío disminuyendo la adherencia y se puede traducir en fisuras superficiales que siguen la dirección de las armaduras. Ver Figura 3.66.

El problema se produce en la parte superior de elementos altos; es mayor en hormigones fluidos, mientras más superficial sea la armadura y con una mala vibración.

Cuando se hormigonan juntos elementos verticales altos y horizontales, es conveniente que el hormigón vertical se asiente antes de continuar.

Una manera de solucionar el problema es aplicar revibrado cuando el hormigón aún no se ha rigidizado.

**FIGURA 3.66**  
GRIETA FORMADA  
POR RESTRICCIÓN  
AL ASENTAMIENTO



Fuente: Price (1982), Citado por ACI 224.1R - 2007

### 3.12.3 PROPIEDADES Y CONTROL DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A. Resistencia mecánica
- B. Factores que influyen en la resistencia
- C. Evaluación estadística de los resultados
- D. Cambios de volumen
- E. Otras propiedades

#### A) RESISTENCIA MECÁNICA

TEMAS  
TRATADOS

- A1) Confección de probetas
- A2) Ensayo de resistencia a compresión
- A3) Testigos de hormigón endurecido
- A4) Índice esclerométrico
- A5) Madurez
- A6) Ensayo de tracción por flexión
- A7) Ensayo de hendimiento
- A8) Resistencia a la abrasión

#### A1) Confección de probetas

La confección en obra y el curado de probetas para ensayos mecánicos está regulado por la norma NCh1017.

Los moldes pueden ser cúbicos para ensayos de compresión (normalmente de 20 cm de arista), cilíndricos para ensayos de compresión o hendimiento (normalmente de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura) o prismáticos para ensayos de tracción por flexión (normalmente de 15x15x53 cm).

El tiempo entre el fin del muestreo y el comienzo del llenado de los moldes debe ser menor que 15 minutos.

Los moldes deben recibir una capa de desmoldante y deben colocarse sobre una base nivelada, protegida y lo más cercana posible al lugar donde van a recibir el curado inicial.

En general se confeccionan tres probetas por muestras, una para ensayar a 7 días y las otras dos para ensayo a 28 días.

Antes del llenado de las probetas, el hormigón debe ser remezclado vigorosamente con el objeto de homogeneizarlo.

Si el asentamiento de cono es menor o igual a 12 cm, la compactación del hormigón es por vibrado y si es mayor a 12 cm puede ser vibrada o apisonada. Conforme a la NCh1017 las probetas deben ser preferentemente compactadas por vibración.

Los moldes cúbicos y prismáticos se vibran en una sola capa y los cilíndricos en dos. Ver Figura 3.67.

**FIGURA 3.67**  
COMPACTACIÓN  
DE PROBETAS



Fuente: Propia

Si es apisonado, los moldes cúbicos y prismáticos se llenan en dos capas y los cilíndricos en tres. Compactar cada capa con 8 golpes de pisón por cada 100 cm<sup>2</sup> de superficie (15 golpes el cilindro de diámetro 15, 32 golpes el cubo de 20 cm de arista y 68 golpes el molde prismático habitual).

Terminada la compactación, las probetas se enrasan, alisan y se identifican.

Las probetas recién moldeadas deben recibir curado inicial de manera de evitar pérdida de humedad y que se mantenga una temperatura entre 16 y 27 °C. Para ello se pueden sumergir en agua tranquila saturada de cal, o protegerlas por todos lados con láminas plásticas, aserrín, arena o arpilleras constantemente húmedas.

Desmoldadas las probetas (después de 44 horas las prismáticas o de 20 horas las otras), deben curarse bajo agua saturada de cal a  $23 \pm 2$  °C hasta la edad de ensayo. Las probetas cúbicas o cilíndricas se pueden curar en cámara húmeda  $23 \pm 2$  °C y con una humedad relativa mínima de 95%; en la cámara las probetas deben verse y sentirse húmedas.

Para el traslado a laboratorio, si son probetas desmoldadas éste se puede hacer al cabo de 3 días; si las probetas están en sus moldes el traslado de las probetas cúbicas o cilíndricas se puede realizar a las 20 horas y las prismáticas a las 44 horas.

## A2) Ensayo de resistencia a compresión

Según la norma NCh1037, la prensa de ensayo debe tener control de la velocidad de aplicación de la carga, y una sensibilidad de 1% de la carga máxima de cada escala. Se recomienda calibrar las prensas cada vez que se haga una reparación mayor o se traslade y por lo menos una vez al año. En general, el rango de aplicación está entre el 10% y 90% de la carga máxima de cada escala.

Las probetas se ensayan húmedas.

La carga se aplica de forma continua a una velocidad de  $0,25 \text{ MPa/s} \pm 0,05 \text{ MPa/s}$  hasta alcanzar una franca rotura de la probeta, es decir cuando haya claras manifestaciones de agrietamiento y el indicador de carga retroceda bajo el 90% de la carga máxima.

Antes del ensayo las probetas se miden (4 medidas de cada lado en cubos, 2 diámetros perpendiculares y 2 alturas en cilindros) y los resultados se expresan en mm. También las probetas se pesan con una aproximación de 0,02 kg. Con eso se puede calcular la densidad aparente (masa/volumen), la que se expresa en  $\text{kg/m}^3$ , aproximando a  $10 \text{ kg/m}^3$ .

### Ensayo de probetas cúbicas

Para el ensayo, la probeta se coloca en el centro de las placas de carga, con la cara de llenado de frente al operador.

Se aplica la carga hasta la rotura y la resistencia, o tensión de rotura, está dada por carga/área y se expresa en MPa, aproximando a 0,1 MPa.

### Ensayo de probetas cilíndricas

Antes de ser ensayadas se debe corregir las superficies de ensayo de manera de obtener caras planas y paralelas. Para lograr aquello, lo más usual es aplicar un mortero de azufre en esas superficies (NCh1172), es lo que se conoce como refrentado de azufre. Usualmente el mortero está constituido por 55 a 70% de azufre y el resto material granular inferior a 0,3 mm. Ver Figura 3.68.

El procedimiento es aplicable hasta resistencias cilíndricas de 45 MPa. El mortero de azufre debe tener una resistencia mínima de 35 MPa y el promedio máximo de cada capa de refrentado es de 6 mm. Cada laboratorio debe tener una curva tiempo-resistencia del mortero.

**FIGURA 3.68**  
REFRENTADO  
DE PROBETAS



Fuente: Propia

Para probetas con resistencia superior a 45 MPa las probetas deben ser rectificadas. Eso se hace mediante una máquina que pule las superficies y las deja planas y paralelas.

Muy empleado en otros países, aunque en Chile se emplea muy rara vez, la norma NCh1172 contempla el refrentado no adherido mediante el empleo de cojinetes de neopreno que quedan confinados en anillos de retención. Ellos se colocan en cada cara del cilindro; la deformación de los cojinetes absorben las deformaciones de las superficies. Figura 3.69.

**FIGURA 3.69**  
COJINETES DE  
NEOPRENO



Fuente: Catálogo Controls

Realizado el refrentado o rectificado, la probeta se coloca centrada con respecto a las placas de carga y se procede igual que las probetas cúbicas. Figura 3.70.

**FIGURA 3.70**  
ENSAYO A  
COMPRESIÓN



Fuente: IMCYC

### A3) Testigos de hormigón endurecido

Las probetas confeccionadas con hormigón fresco representan la resistencia potencial del hormigón. No representan a la estructura que ha tenido otra colocación, otra compactación y especialmente otro curado.

La resistencia real de la estructura se puede conocer con la extracción y ensayo de testigos que son probetas extraídas de un elemento de hormigón endurecido. La extracción y ensayo de testigos está contemplada en la norma NCh1171/1 y la evaluación de sus resultados en NCh1171/2.

En general los testigos se extraen:

- Cuando las resistencias de probetas de hormigón fresco son inferiores al mínimo aceptable.
- Cuando la especificación técnica establece la recepción mediante testigos.
- Determina la resistencia mecánica de una estructura existente.

En general se toma un mínimo de tres testigos por zona a evaluar.

Los testigos también sirven para determinar el espesor, en particular de pavimentos.

Para la extracción se emplea una testiguera o taladro provisto con broca diamantada, la que al presionarse sobre el hormigón lo va cortando sin producir daño en el manto de la probeta. El enfriamiento es por medio de agua. La testiguera se ancla a la estructura y su eje debe ser lo más perpendicular posible a la estructura. Figura 3.71.

De preferencia, el diámetro del testigo debe ser mayor o igual a 3 veces el tamaño máximo y la altura debe ser tal que la esbeltez (razón altura/diámetro) esté entre 1,0 y 2,0 y en lo posible que sea 2,0.

Para tomar los testigos el hormigón debe tener una resistencia superior a 8 MPa o una edad mayor o igual a 14 días.

En hormigón armado es recomendable el empleo de un detector de metales de manera de evitar el corte de armaduras.

Una vez extraído, se debe examinar visualmente el testigo y registrar anomalías. No se pueden ensayar testigos con armaduras longitudinales. La presencia de armaduras o insertos en otras direcciones debe registrarse.

**FIGURA 3.71**  
EXTRACCIÓN DE TESTIGOS



Fuente: ICH - IDIEM

Los testigos se pesan, se miden y se calcula la densidad y la esbeltez. Se ensaya como se indicó para cilindros. Las resistencias deben corregirse por esbeltez de acuerdo a lo que se muestra en Tabla 3.38.

**TABLA 3.38**  
FACTORES DE CORRECCIÓN POR ESBELTEZ

Esbeltez Altura/diámetro	Factor de corrección K1
Entre 1,76 y 2,00	1,00
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87
Para expresar la resistencia referida al cilindro normal, se multiplica por K1	
Se puede interpolar para valores no incluidos en la Tabla	

Fuente: NCh1171/1:2012

En el caso que la extracción de testigos se haya realizado porque la muestra de hormigón fresco resultó inferior a lo especificado, el resultado es satisfactorio si:

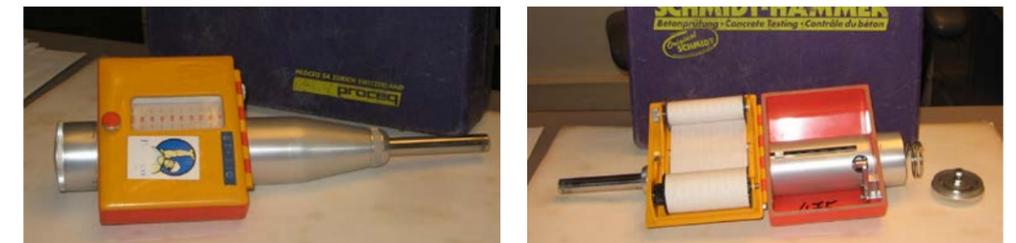
- El promedio de los tres testigos es  $\geq 0,85 f'c$  y
- Todos los testigos tienen una resistencia  $\geq 0,75 f'c$

El resultado de los testigos no reemplaza el resultado de la muestra en la evaluación estadística (ver 3.12.3 C), dicha muestra no se considera en la evaluación.

### A4) Índice esclerométrico

Para determinar el índice se emplea un martillo de rebote (Martillo Schmidt). Una masa dentro de un émbolo es empujada por la energía de un resorte sobre la superficie del hormigón y se mide el rebote (NCh1565). El rebote no tiene unidades. Figura 3.72.

**FIGURA 3.72**  
MARTILLO SCHMIDT



Fuente: Propia

Mientras más duro esté el hormigón mayor será el rebote, lo que es un indicador de mayor resistencia.

El ensayo se hace directamente sobre la estructura, en cualquier dirección, es sencillo, rápido y económico. Sin embargo, es muy superficial por lo que los resultados están muy influenciados por las características de la superficie (humedad, poros, carbonatación, entre otros) y de la zona subsuperficial (presencia de armaduras, áridos de gran tamaño, insertos, etc.). Por tal razón, se debe considerar como un ensayo complementario y no reemplaza a los ensayos tradicionales.

Se emplea

- Para evaluar la uniformidad del hormigón in situ
- Delinear zonas de hormigón pobre o deteriorado
- Indicar cambios de las características del hormigón en el tiempo
- Supervisar rápidamente grandes áreas de hormigones similares

Si bien no sirve como valor de aceptación o rechazo del hormigón, es un indicador cualitativo de la calidad del hormigón.

Si los hubiera, se debe retirar los estucos. Se elige una zona de al menos 200x200 mm y se alisa con piedra abrasiva. En esa zona se hacen 10 determinaciones. Después de cada impacto se inspecciona la superficie y se descarta la lectura si se ha producido trituración superficial o se rompe a través de un hueco de aire superficial. Se descartan las lecturas que difieran en más de 7 unidades respecto al promedio.

El índice esclerométrico es el promedio de las lecturas válidas.

Es común el empleo del índice esclerométrico antes de tomar testigos de hormigón, de manera de tener una visión general de toda la zona en análisis.

### A5) Madurez

Es un concepto que utiliza el principio de que la resistencia que alcanza el hormigón a una determinada edad depende de la temperatura a la que ha estado expuesto en ese período.

El índice de madurez, o simplemente madurez o factor tiempo temperatura, está dado por:

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

T = promedio de la temperatura en cada intervalo de tiempo.

T<sub>0</sub> = temperatura bajo la cual se asume que la hidratación del cemento se detiene. Usualmente se asume como 0°C.

Δt = intervalo de tiempo expresado en horas o días.

La técnica para estimar la resistencia del hormigón in situ se basa en que muestras de un hormigón dado alcanzan iguales resistencias cuando alcanzan igual índice de madurez.

Para ello es necesario determinar una relación índice de madurez-resistencia. Eso se hace en laboratorio, confeccionando un hormigón de prueba como el que se va a emplear en terreno. A las probetas confeccionadas se les colocan sensores que registran y graban la temperatura del hormigón, con lo que se tiene el índice de madurez (Figura 3.73). Las probetas se ensayan a diferentes edades, con lo que se puede trazar la curva índice de madurez-resistencia, como se muestra en Figura 3.74.

En obra se colocan sensores en la estructura, con lo que se tiene el índice de madurez y con la curva de laboratorio se puede estimar la resistencia real.

Esto es muy útil para saber cuándo desmoldar o cuándo realizar el descimbre, también para saber cuándo tensar en postensado o cuando cortar cables en pretensado. Se utiliza con éxito para entregar a tránsito carreteras o calles o para saber cuándo terminar con las protecciones por hormigonado en tiempo frío.

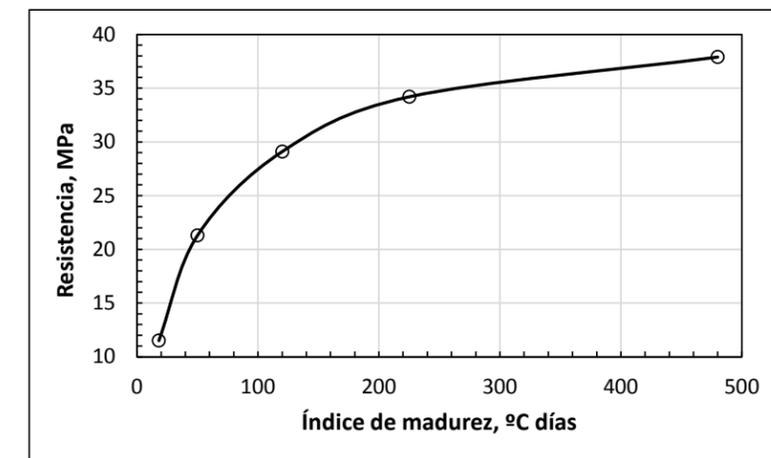
Entre las limitaciones está el que para que se cumpla la relación madurez-resistencia determinada en laboratorio, la estructura debe tener una condición de humedad que permite la hidratación del cemento.

**FIGURA 3.73**  
COLOCACIÓN DE  
TERMOCUPLAS  
Y SENSOR



Fuente: Propia

**FIGURA 3.74**  
ÍNDICE DE  
MADUREZ



Fuente: ASTM C1074-19

#### A6) Ensayo de tracción por flexión

Los pavimentos se diseñan en tracción por flexión, por lo que la determinación de esa resistencia es parte de las especificaciones.

Es muy difícil la determinación de la resistencia a la tracción del hormigón y por eso se recurre a una medida indirecta: flexotracción que está regida por la norma NCh1038.

Se utilizan moldes prismáticos de 15\*15\*53 cm (o de 60 cm). Sólo es aceptable el curado bajo agua; la resistencia a flexión es más sensible que la compresión a la humedad, por lo que debe tenerse especial cuidado entre que se retiran las probetas de la piscina y el ensayo.

La viga se coloca sobre apoyos cilíndricos y la carga se aplica con una superficie cilíndrica. Figura 3.75

**FIGURA 3.75**  
ENSAYO DE  
FLEXIÓN



Fuente: Propia

Aunque también se contempla aplicar una carga central, lo habitual es aplicar carga en los tercios de la luz. La rotura debe producirse en el tercio central; se acepta rotura fuera del tercio central con una desviación máxima de 0,05L (2,25 cm).

La resistencia a flexotracción está dada por  $RF = P \cdot L / (b \cdot h^2)$ , en que P es la carga máxima, L la luz de ensayo, b y h son el ancho y altura promedio que se miden en la sección de rotura.

Si la rotura se produce fuera del tercio central, a una distancia "a" del apoyo más próximo, la resistencia está dada por  $RF = 3P \cdot a / (b \cdot h^2)$ .

Los resultados se expresan en MPa, aproximando a 0,05 MPa.

Antes del ensayo las probetas se miden y se pesan para determinar su densidad, la que se expresa en kg/m<sup>3</sup>, aproximando a 10 kg/m<sup>3</sup>.

#### A7) Ensayo de hendimiento

El ensayo de hendimiento, también conocido como ensayo brasileño, trató de reemplazar el ensayo de tracción por flexión dadas las dificultades que este implica: probeta muy grande y pesada, marco de ensayo especial y es muy sensible a la humedad.

En el ensayo de hendimiento (NCh1170) se emplea un cilindro normal. Se ensaya en posición horizontal, en un dispositivo para sostenerlo. En la generatriz superior e inferior se coloca una

tablilla de madera contrachapada o aglomerada para absorber las imperfecciones. Figura 3.76.

El ensayo es a compresión, pero la falla es por tracción. La resistencia a tracción por hendimiento está dada por  $T = 2xP / (3,14xh+d)$ , en que P es la carga máxima, h es la altura de la probeta y d el diámetro. Los resultados se expresan en MPa y se aproximan a 0,05 MPa.

En la práctica se ha dejado de emplear.

**FIGURA 3.76**  
ENSAYO DE  
HENDIMIENTO



Fuente: ELVEC S.A.

#### A8) Resistencia a la abrasión

Es la capacidad del hormigón de resistir el desgaste superficial. Es una característica fundamental en pavimentos, canales y otras estructuras sometidas a este tipo de sollicitación.

Para obtener alta resistencia al desgaste es importante usar áridos gruesos duros, como el granito; el contenido de sílice del árido fino debe ser al menos de 25%. En general está relacionada con la resistencia a compresión, por lo que hay que emplear hormigones de alta resistencia. Ya que el desgaste es superficial, es primordial tener especial cuidado con las operaciones de acabado y curado.

El ensayo más común es el del chorro de arena. Mediante aire se impulsa arena silícea sobre la superficie del hormigón y se mide la pérdida de volumen (ASTM C418).

### B) FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RESISTENCIA

La resistencia, determinada mediante los ensayos ya descritos, está muy influenciada por factores que son ajenos al hormigón mismo. A continuación, se pasa revista a los principales de ellos.

#### B1) Toma de muestra

Entre los errores posibles se destaca moldes deformados, falta de homogenización de la muestra antes de llenar los moldes, mala elección del método de compactación o compactación insuficiente o excesiva.

## B2) Tipo y tamaño de la probeta

El tamaño de la probeta (cubo de 15 cm o de 20 cm) y el tipo de probeta, cubo o cilindro para ensayo a compresión influyen significativamente en el resultado de la medición.

Los factores de conversión de una probeta a otra no son exactos, son variables y por eso la norma NCh170:2016 no los considera.

Dado que el cálculo estructural se realiza considerando probetas cilíndricas, lo correcto es tomar las muestras en esa probeta, con lo que se evita el empleo de dudosos factores de corrección.

## B3) Curado inicial en obra

Las primeras horas son fundamentales en el desarrollo de la resistencia y el curado en obra es muchas veces descuidado. Si bien después en laboratorio las probetas tienen un curado bajo agua, la pérdida de resistencia por un mal curado inicial no se recupera.

El curado de las probetas debe empezar apenas se termina el muestreo y el mejor método es sumergirlas en agua quieta saturada de cal.

## B4) Edad del hormigón

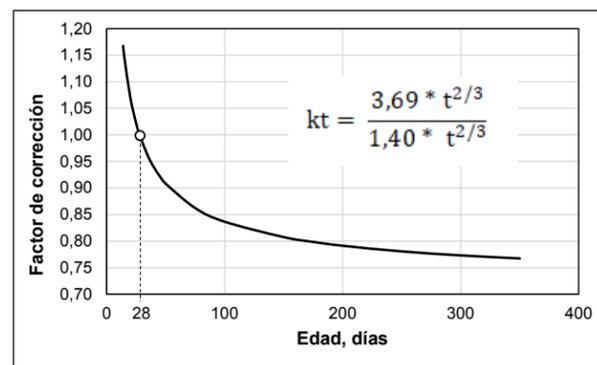
Mientras haya adecuadas condiciones de humedad, la resistencia aumenta en el tiempo.

La curva resistencia-edad depende entre otras causas del tipo de cemento, siendo diferente el desarrollo de resistencia de un cemento Portland comparado con un cemento con puzolana y este comparado con un cemento con escoria granulada de alto horno. También influye el tipo y dosis de aditivo.

La curva más conocida es la curva de Ross. Para calcular la resistencia a 28 días se multiplica la resistencia a la edad "t" por el factor para esa edad. Esta curva se presenta en Figura 3.77. Se debe tener presente que la curva de Ross es muy antigua y se basa en resultados de hormigones con cemento Portland sin aditivos.

Conforme a la norma de testigos, NCh1017, los testigos no se corrigen por edad.

FIGURA 3.77  
CURVA DE ROSS



Fuente: MOP. Manual de Carreteras. Volumen 8

## B5) Curado en laboratorio

Lo ideal es que el curado en laboratorio se realice en piscinas, con agua saturada de cal a  $23 \pm 2$  °C.

Las probetas cúbicas y cilíndricas se pueden curar en cámara húmeda, con temperatura de  $23 \pm 2$  °C y humedad relativa  $\geq 95\%$ . El control de la humedad debe ser tal que las probetas se vean y se sientan húmedas.

## B6) Ensayo

El estado de humedad de las probetas, el mal centrado de la probeta en la prensa, el funcionamiento de la rótula, afectan los resultados.

## C) EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS RESULTADOS

La definición de la resistencia contempla factores estadísticos como la fracción defectuosa. La dosificación, además de la fracción defectuosa, debe considerar la variabilidad de los resultados.

Si el diseño del hormigón es estadístico, la evaluación de la aceptación o rechazo también debe ser estadístico.

La norma NCh1998 contempla dos métodos si es que el método de evaluación no está definido en las especificaciones:

- Criterio de muestras consecutivas (promedio móvil) si la cantidad de muestras, N, por lote es  $N \geq 10$
- Si  $N < 10$ , se debe evaluar por criterio de evaluación total de muestras

En Chile se utiliza el ACI318 como código de diseño estructural el cual utiliza, exclusivamente, el criterio de muestras consecutivas (promedio móvil). Por lo tanto, debería ser el método de control a utilizar en la mayoría de los casos.

Debe entenderse por lote el conjunto de muestras de igual grado de resistencia, confeccionado bajo los mismos parámetros de consigna, por ejemplo, igual tamaño máximo, igual asentamiento y otras. Si hay cambios significativos en la dosificación para un mismo hormigón debiera considerarse como lote diferente.

### C1) Evaluación por muestras consecutivas

Es lo que se conoce como evaluación por medias móvil.

Una media móvil,  $f_3$ , es el promedio de tres muestras consecutivas. Las muestras se van traslapando, es decir la primera media móvil es el promedio de las muestras 1, 2 y 3; la segunda media móvil es el promedio de las muestras 2, 3 y 4.

Según este sistema, se considera que las resistencias del lote son satisfactorias si, simultáneamente, se cumple

- $f_3 \geq f'c + k_1$
- $f_i \geq f_0 = f'c - k_2$

en que,

$f_3$  es el promedio de tres muestras consecutivas, en MPa

$f'c$  es la resistencia especificada, en MPa

$f_i$  es la resistencia individual de cada muestra

$f_0$  es el límite inferior para la resistencia  $f_i$ , en MPa

$k_1$  y  $k_2$  son constantes de evaluación que se presentan en Tabla 3.39

Como el ACI318 sólo considera una fracción defectuosa de 10% y los hormigones estructurales son H20 o superiores, en la práctica  $k_1$  es 0 y  $k_2$  es 3,5 MPa. Con esto, para que los resultados sean satisfactorios, todas las medias móviles deben ser superiores a la resistencia especificada y las resistencias individuales tienen una tolerancia de 3,5 MPa.

**TABLA 3.39**  
CONSTANTES DE  
EVALUACIÓN, MPA

Fracción defectuosa aceptada	Constante	Grado del hormigón			
		H5	H10	H15	≥ H20
5%	k1	0,3	0,5	0,8	1,0
	k2	0,6	1,2	1,9	2,5
10%	k1	0	0	0	0
	k2	0,9	1,7	2,6	3,5
20%	k1	0,4	0,7	1,1	1,5
	k2	1,4	2,7	4,1	5,5

Fuente: NCh1998.Of89

Si el control es por ensayos de tracción por flexión o por ensayos de hendimiento, la Dirección de Vialidad utiliza una fracción defectuosa de 20% y los factores de la tabla pasan a ser

$k_1 = - 0,2$  MPa

$k_2 = 0,7$  MPa

## C2) Evaluación por el total de muestras

En este caso se analiza el conjunto de muestras que representan al lote.

Se considera que la resistencia del lote es satisfactoria si se cumple simultáneamente:

- $f_m \geq f'c + s \cdot t$
- $f_i \geq f_0 = f'c - k_2$

en que,

$f_m$  es la resistencia media del lote, en MPa

$f'c$  es la resistencia especificada, en MPa

$s$  es la desviación típica de los resultados del lote, en MPa

$t$  es un factor estadístico, distribución de Student, ver Tabla 3.40

$f_i$  es la resistencia individual de cada muestra

$f_0$  es el límite inferior para la resistencia  $f_i$ , en MPa

$k_2$  es una constante de evaluación presentada en Tabla 3.39

La desviación típica de  $N$  resultados está dada por

$$s = \sqrt{\frac{(f_i - f_m)^2}{N-1}} \text{ MPa}$$

**TABLA 3.40**  
FACTOR  
ESTADÍSTICO T

Cantidad de muestras (N)	Fracción defectuosa %		
	5	10	20
3	2,920	1,886	1,061
4	2,353	1,638	0,978
5	2,132	1,533	0,941
6	2,015	1,476	0,920
7	1,943	1,440	0,906
8	1,895	1,415	0,896
9	1,860	1,397	0,889
10	1,833	1,383	0,883
11	1,812	1,372	0,879
12	1,796	1,363	0,876
13	1,782	1,356	0,873
14	1,771	1,350	0,870

15	1,761	1,345	0,868
16	1,753	1,341	0,866
17	1,746	1,337	0,865
18	1,740	1,333	0,863
19	1,734	1,330	0,862
20	1,729	1,328	0,861
21	1,725	1,325	0,860
22	1,721	1,323	0,859
23	1,717	1,321	0,858
24	1,714	1,319	0,858
25	1,711	1,318	0,857
26	1,708	1,316	0,856
27	1,706	1,315	0,856
28	1,703	1,314	0,855
29	1,701	1,313	0,855
30 o más	1,645	1,282	0,842

Fuente: NCh1998.Of89

### C3) Recomendaciones derivadas de la evaluación

Realizada la evaluación, la norma NCh1998 recomienda tomar diferentes medidas según sea el resultado de dicha evaluación.

#### Evaluación por grupo de muestras consecutivas

Las recomendaciones se plantean en Tabla 3.41.

**TABLA 3.41**  
RECOMENDACIONES  
PARA EVALUACIÓN  
POR GRUPO  
DE MUESTRAS  
CONSECUTIVAS

Antecedentes		Conclusiones	Recomendaciones
$f_3 \geq f'c + k1$	$f_i \geq f_0$	El hormigón cumple la resistencia especificada	
$f_3 < f'c + k1$	$f_i \geq f_0$	El hormigón no cumple la resistencia especificada	Informar a los Proyectistas Estructurales y considerar las penalizaciones establecidas en el contrato
$f_i < f_0$		El hormigón no cumple la resistencia especificada y cada resultado defectuoso debe ser considerado como un riesgo potencial	Adoptar las medidas indicadas en C3)

Fuente: NCh1998.Of89

### Evaluación considerando el total de muestras

Para este caso, la norma plantea lo que se indica en Tabla 3.42.

**TABLA 3.42**  
RECOMENDACIONES  
PARA EVALUACIÓN  
POR EL TOTAL DE  
MUESTRAS

Antecedentes		Conclusiones	Recomendaciones
$f_m \geq f'c + t*s$	$f_i \geq f_0$	El hormigón cumple la resistencia especificada	
$f_m < f'c + t*s$	$f_i \geq f_0$	El hormigón no cumple la resistencia especificada	Informar a los Proyectistas Estructurales y considerar las penalizaciones establecidas en el contrato
$f_i < f_0$		El hormigón no cumple la resistencia especificada y cada resultado defectuoso debe ser considerado como un riesgo potencial	Adoptar las medidas indicadas en C3)

Fuente: NCh1998.Of89

### Investigación de los resultados defectuosos

En el caso de resistencias individuales inferiores al límite inferior, existe riesgo con respecto a la seguridad estructural y el hormigón cuestionado debe ser sometido a la investigación que ordenen los proyectistas.

Es recomendable que se considere, entre otras, las siguientes medidas:

- Comprobar la validez del ensayo: verificar que los datos de la guía de muestreo corresponden a lo ensayado, analizar rango entre probetas compañeras, observar el tipo de rotura producido, verificar si hubo problemas en el transporte y curado inicial y final de la muestra
- Identificar la zona comprometida
- Inspeccionar visualmente la zona y dejar constancia de eventuales errores de colocación
- Realizar ensayos por medios no destructivos, como índice esclerométrico
- Extraer al menos tres testigos por zona comprometida

Si se extraen testigos, los resultados se consideran aceptables si:

- El promedio de resistencia de los tres testigos es  $\geq 0,85 f'c$
- La resistencia de cada testigo es  $\geq 0,75 f'c$

La muestra representada por los testigos extraídos se elimina del listado de muestras a evaluar. Los resultados de los testigos no reemplazan los resultados de la muestra para realizar la evaluación estadística.

#### C4) Evaluación del nivel de control de los ensayos de probetas

En general se ensayan dos probetas a la edad especificada, normalmente 28 días; ocasionalmente se ensayan tres probetas a esa edad. Las diferencias en las resistencias entre estas probetas (probetas gemelas o compañeras) es responsabilidad del laboratorio que toma la muestra, confecciona las probetas, la cura y las ensaya.

La evaluación del nivel de control de ensayos determina la calidad del laboratorio y por lo tanto la confiabilidad de los valores de los ensayos.

La evaluación se realiza si se dispone de un número mínimo de 10 muestras por lote.

El rango es la diferencia entre el mayor y menor valor de resistencia de probetas compañeras. Con eso se puede calcular el promedio de los rangos,  $R_m$ .

La desviación normal de ensayo,  $s_1$ , está dada por  $R_m/d_2$ , en que  $d_2$  es un factor que depende del número de probetas compañeras (1,128 para dos probetas y 1,693 para tres probetas compañeras).

Por último, hay que calcular el coeficiente de variación de ensayo,  $V_1$ , dividiendo la desviación normal de ensayo por el promedio de las resistencias del lote ( $V_1 = s_1/f_m$ ) y se expresa en porcentaje.

Se califica el nivel de control de ensayo, comparando el coeficiente de variación de ensayo obtenido,  $V_1$ , con los que se entregan en Tabla 3.43.

**TABLA 3.43**  
EVALUACIÓN DEL NIVEL DE CONTROL DE ENSAYO

$V_1, \%$	Nivel de control de ensayos
$0 \leq V_1 \leq 3,0$	Excelente
$3,0 < V_1 \leq 4,0$	Muy bueno
$4,0 < V_1 \leq 5,0$	Bueno
$5,0 < V_1 \leq 6,0$	Aceptable
$6,0 < V_1$	Deficiente

Fuente: NCh1998.Of89

Si el nivel de control de ensayos es superior a 6,0% implica que los resultados no son confiables. El control de los procesos del laboratorio es ineficiente.

El afectado puede informar esta situación a la Autoridad pública que corresponda.

#### D) CAMBIOS DE VOLUMEN

El hormigón experimenta cambios dimensionales, se dilata o se contrae al estar en ambientes muy húmedos o muy secos. Estas deformaciones pueden provocar fisuras y grietas que afectan principalmente la durabilidad.

Cuando se trata de dilataciones se habla de entumecimiento y cuando se produce contracción se

habla de retracción hidráulica. En general los problemas están asociados a las retracciones, cuando los movimientos del elemento están restringidos.

Los principales factores que influyen en estos cambios de volumen se presentan en Tabla 3.44.

**TABLA 3.44**  
RETRACCIÓN HIDRÁULICA

Parámetro	Influencia
Dosis de agua	Relación directa, pero leve entre retracción hidráulica y dosis.
Humedad	Si se mantiene el hormigón en un ambiente de alta humedad, no se produce contracción de éste.
Dosis de cemento	Relación directa entre retracción hidráulica y dosis.
Finura del cemento	A mayor finura mayor evolución del fraguado y resistencia. Sin embargo, valores muy extremos podrían favorecer la contracción inicial si no existen condiciones de saturación de agua.
Composición química del cemento	Si se favorece el fraguado rápido habrá mayor contracción inicial si no existen condiciones de saturación de agua.
Porosidad de los áridos	Se deben usar áridos poco absorbentes o bien saturarlos antes de su uso.

El ensayo está regulado por NCh2221. Consiste en confeccionar unas vigas con el hormigón que se analiza, hacer una medida inicial apenas se desmolden, curar por inmersión durante 28 días y luego llevar a una cámara de secado (HR 50%, 23 °C) y hacer mediciones a diferentes edades.

#### E) OTRAS CARACTERÍSTICAS

En Tabla 3.45 se muestra algunas características del hormigón.

**TABLA 3.45**  
OTRAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

Propiedad	Valor
Conductividad térmica	1,63 W/mK
Calor específico	0,24 Kcal/(kg °C)
Coeficiente de dilatación térmica	$12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Resistividad eléctrica húmedo	100 ohm-m
seco	109 ohm-m
El coeficiente de dilatación térmico es similar al del acero.	
En estado húmedo el hormigón es semiconductor de electricidad y en estado seco es buen aislante.	

## HORMIGÓN PREMEZCLADO

<b>TEMAS TRATADOS</b>	<b>3.13.1</b> Características de la industria del hormigón premezclado
	<b>3.13.2</b> Coordinación entre comprador y suministrador
	<b>3.13.3</b> Entrega en obra
	<b>3.13.4</b> Control de calidad

### 3.13.1. CARACTERÍSTICAS DE LA INDUSTRIA DEL HORMIGÓN PREMEZCLADO

El hormigón premezclado es un hormigón dosificado en una central hormigonera, mezclado en la misma central o en un camión mezclador, transportado a un lugar predeterminado y entregado en el sitio de descarga.

La normativa nacional que regula los principales aspectos entre el productor y el consumidor se establece en la norma NCh1934. Para mayores detalles se puede consultar al área técnica de Cemento Polpaico S.A.

El hormigón premezclado es ampliamente usado en el mundo y tiene numerosas ventajas comparado con la confección del hormigón in situ.

Es particularmente útil en construcciones con sitios altamente congestionados, con poco espacio disponible, por ejemplo, en edificios. También en la construcción de calles donde es prácticamente imposible contar con espacio para ubicar una mezcladora y acopiar áridos y cemento.

El empleo de hormigón premezclado también es ventajoso cuando se requiere volúmenes pequeños. También cuando la confección y colocación es poco constante o se realiza a intervalos.

La ventaja más importante es que el hormigón premezclado se confecciona bajo mucho mejores condiciones que lo que se puede lograr con la fabricación en obra. Una planta de premezclado trabaja en condiciones de una fábrica, con control riguroso de todas las operaciones. La confección del hormigón premezclado puede, entonces, compararse con la producción de acero, por lo que la incerteza y variabilidad asociada a la confección del hormigón en muchos sitios es obviada. En resumen, es un proceso industrial.

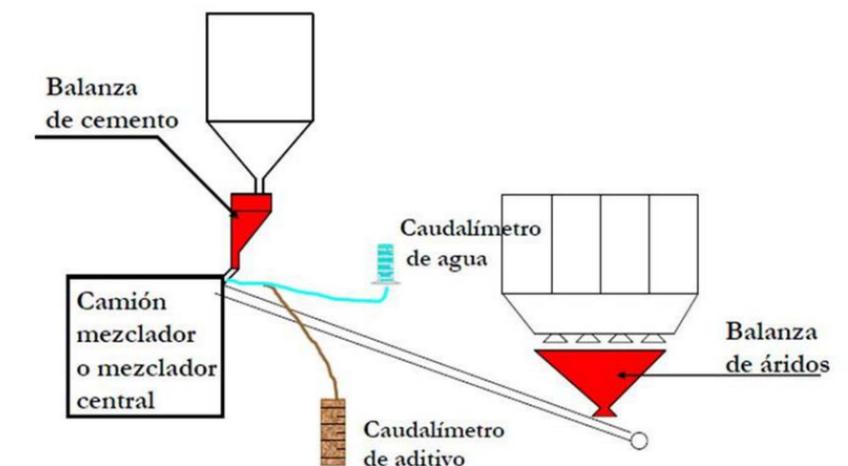
No hay que olvidar que la colocación, compactación y curado siguen estando a cargo del personal de terreno. Por esta razón, la responsabilidad del suministrador de hormigón llega hasta la descarga del hormigón.

Algunas de las características asociadas a la producción de hormigón premezclado se muestran en Tabla 3.46.

**TABLA 3.46**  
ELEMENTOS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN PREMEZCLADO

Etapa	Tipo	Característica
Materiales	Cemento	Al menos dos tipos. Suministro permanente. Gran capacidad de stock.
	Áridos	Normalmente cuatro tipos: grava, gravilla, arena gruesa, arena fina. Producción propia o proveedores permanentes. Control permanente.
	Aditivos	Normalmente plastificante-retardador. Posibilidad de empleo de cualquier tipo de aditivo.
Equipos	Medición	Áridos y cemento en peso. Agua y aditivos en volumen. Ver Figura 3.78. Equipos computarizados, con compensación de humedad de la arena. Calibración periódica. Registro de mediciones efectuadas.
	Amasado	Generalmente en los camiones mixer pero también hay plantas mezcladoras. Mantenimiento mecánica sistemática.
Equipos de transporte	Camión Mixer	Capacidad de transporte entre 3 y 8 m <sup>3</sup> . Limpieza al menos una vez al día.
	Camión Tolva	Se puede emplear sólo a solicitud y bajo la responsabilidad del comprador (distancias cortas, asentamiento de cono $\leq 4$ cm).

**FIGURA 3.78**  
MEDICIÓN DE MATERIALES EN PLANTA DE HORMIGÓN



Fuente: Propia

### 3.13.2 COORDINACIÓN ENTRE COMPRADOR Y SUMINISTRADOR

En la industria del hormigón premezclado, el énfasis no está sólo en la producción de hormigón, sino que además en el servicio global que está asociado al producto. Las características de un hormigón premezclado son calidad de producción y costo competitivo con autoproducción. Para su uso debe haber buena coordinación entre consumidor y productor.

#### A) ESPECIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

Tal como se explicó en 3.3 la designación del hormigón debe contemplar, al menos:

- Grado de resistencia mecánica especificada, en MPa.
- Fracción defectuosa, en %
- Tamaño máximo nominal del árido, en mm
- Asentamiento de cono, en cm

La probeta estándar es la cilíndrica de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

Si se establecen otros requisitos para el hormigón se requiere antecedentes adicionales:

- Tipo de cemento
- Dosis mínima o máxima de cemento
- Dosis de cemento establecida
- Razón agua/cemento, máxima
- Áridos especiales
- Aditivos especiales (hidrófugo, incorporador de aire y otros)
- Uso de fibras, tipo y dosis
- Tiempo de transporte y descarga del hormigón (si es mayor a 2 horas)
- Ensayos especiales (impermeabilidad, hendimiento y otros)
- Edad de ensayo (si es distinto a 28 días)
- Tipo de probetas (si son distintas a probetas cilíndricas)

#### B) UNIDAD DE COMPRA

La unidad de compra es el volumen de la amasada en m<sup>3</sup> de hormigón fresco compactado.

Para los efectos del cumplimiento de la unidad de compra, se establece una tolerancia de  $\pm 3\%$  del volumen nominal de la amasada de entrega.

#### C) MEDICIÓN DEL VOLUMEN

El volumen de la amasada de hormigón fresco se determina dividiendo la masa total del hormigón transportado por la densidad aparente del hormigón fresco (determinado según NCh1564).

La masa se puede obtener por la suma de las masas de los componentes, incluida el agua, que forman el volumen de la amasada. También se puede determinar por la diferencia de peso entre el camión cargado y vacío.

La norma NCh1934 establece que el volumen no se puede determinar en base a la cubicación del hormigón colocado y/o endurecido.

#### D) SOLICITUD DE DESPACHO

La solicitud de despacho se debe hacer al menos con 1 día de anticipación.

Definir clara y completamente las características del hormigón solicitado.

Entregar claramente la ubicación de la obra, fecha y programación en el tiempo de la llegada de los camiones a obra.

### 3.13.3 ENTREGA EN OBRA

Es necesario tener presente que es responsabilidad de la obra obtener, si fuera necesario, permisos para estacionar camiones y equipos, así como la descarga de camiones fuera del horario normal para la localidad.

Los accesos deben estar libres; se recuerda que el camión mide alrededor de 11,5 m de largo y 4 m de altura. El acceso al lugar de descarga y el lugar de descarga deben ser seguros; probablemente debe ser autorizado por un encargado de seguridad del proveedor.

El tiempo de transporte y entrega, desde la hora de carga y el fin de la descarga es de 2 horas, a menos que las partes acuerden otros tiempos.

El asentamiento de cono se puede ajustar en obra, de manera de cumplir con lo solicitado. La norma NCh170 establece que se puede hacer el ajuste con agua una sola vez, en el momento previo al inicio de la descarga desde el equipo mezclador como se muestra en Figura 3.79. Este ajuste se debe realizar en un plazo máximo de 15 minutos y se debe asegurar la uniformidad.

El proveedor de hormigón es responsable de cumplir con el asentamiento de cono pactado durante 30 minutos, contados desde la llegada del camión a la obra o desde cuando se haya terminado el ajuste del asentamiento.

En Tabla 3.36 se mostraron las tolerancias en el asentamiento de cono, la que puede llegar a  $\pm 30$  mm para asentamiento  $\geq$  a 100 mm.

**FIGURA 3.79**  
AJUSTE DE  
ASENTAMIENTO  
EN OBRA



Fuente: Propia

La obra debe designar a un responsable capacitado de recibir el hormigón. Este responsable debe:

- verificar en la Guía de Despacho el nombre y ubicación de la obra
- verificar en la Guía de Despacho el tipo y cantidad de hormigón antes de la descarga
- verificar el sello del mixer y compararlo con el número indicado en la Guía de Despacho
- verificar el asentamiento de acuerdo a norma
- anotar hora de llegada y hora real de inicio de descarga
- verificar la descarga total del mixer
- anotar hora de término de la descarga y firmar la Guía de Despacho

El encargado de la obra es el responsable si acepta hormigones fuera de plazo, o con asentamiento fuera de rango. También en el caso de dos o más ajustes de la docilidad.

Las anteriores u otras situaciones anormales deben quedar registradas en la Guía de Despacho.

### 3.13.4 CONTROL DE CALIDAD

Una de las características más importantes del hormigón premezclado es que es un proceso industrial y por tanto sometido a un riguroso sistema de control de calidad, con lo que se puede cumplir los requisitos del cliente y tener trazabilidad.

Tal como se explicó en Tabla 3.41, hay un especial control de calidad de las materias primas y de los equipos.

También hay especial preocupación por la capacitación de los operarios.

Cada vez que se detecta cambios significativos en las materias primas o cuando los resultados de obra muestren tendencia a alejarse de lo normal, se estudian nuevas dosificaciones que son puestas a punto en las plantas de inmediato.

Las características del hormigón fresco (principalmente asentamiento) y endurecido (principalmente resistencia) son determinadas por laboratorios externos, acreditados y con registro en el Ministerio de la Vivienda y Urbanismo y de reconocido prestigio. Dichos laboratorios son independientes del suministrador del hormigón.

La metodología de evaluación de las resistencias principalmente usada es la de evaluación por grupos de muestras consecutivas, de acuerdo con el Código de Diseño Estructural ACI 318.

## HORMIGONADO EN CLIMAS ESPECIALES

### 3.14.1 Hormigonado en tiempo frío

### 3.14.2 Hormigonado en condiciones de alta evaporación

#### 3.14.1. HORMIGONADO EN TIEMPO FRÍO

Si se estima que para una obra se van a registrar bajas temperaturas para el período de hormigonado, se recomiendan las precauciones y medidas expuestas a continuación, para tener un material suficientemente resistente y durable.

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A) Generalidades
- B) Planificación adecuada previa al hormigonado
- C) Métodos constructivos adecuados

#### A) GENERALIDADES

La norma NCh170 indica que se considera condiciones de hormigonado en tiempo frío cuando durante los tres días previos al hormigonado se registre una temperatura media diaria inferior a 5 °C y la temperatura ambiente sea menor o igual a 10 °C, continuas o acumuladas en un período de 24 horas.

Se debe entender que la temperatura media diaria es el promedio entre las temperaturas máxima y mínima de ese día. Es conveniente medir la temperatura del aire exterior al sector de la construcción, registrando las temperaturas máximas y mínimas diarias.

Entre los objetivos de emplear buenas prácticas constructivas para el hormigonado en tiempo frío se tiene:

- Prevenir daños de congelamiento del agua interior del hormigón a temprana edad. Se estima que no se producen daños por congelamiento cuando el hormigón alcanza una resistencia a la compresión de 3,5 MPa. Para temperaturas del orden de los 10 °C, la

mayoría de los hormigones bien dosificados alcanzan esta resistencia requerida durante el segundo día.

- Asegurar que el hormigón alcance las resistencias adecuadas para un desmolde y un descimbre seguros.
- Permitir que el hormigón desarrolle la resistencia requerida durante y después de la construcción.
- Mantener condiciones de curado adecuadas para que el hormigón desarrolle la resistencia requerida en un ambiente sin excesivo calor y sin grados de saturación críticos al finalizar el período de protección.
- Limitar cambios bruscos de temperatura, especialmente antes de que el hormigón sea capaz de soportar las tensiones térmicas. Un enfriamiento rápido de la superficie o grandes diferencias de temperatura entre el interior y el exterior.
- Dar una protección adecuada según la serviciabilidad de la estructura (proteger los elementos más expuestos, no usar cantidad excesiva de aditivos aceleradores y otros), independientemente que la resistencia a los 28 días sea adecuada.

#### B) PLANIFICACIÓN ADECUADA PREVIA AL HORMIGONADO

Previo al hormigonado es recomendable realizar una planificación de las obras, considerando a lo menos lo siguiente:

##### B.1) Dosificación

- Usar cementos de alta resistencia
- Aumentar la dosis de cemento
- Usar bajas razones agua/cemento
- Es recomendable el empleo de asentamientos menores a 10 cm para facilitar el platachado. Se minimiza la exudación y el fraguado es más rápido
- Uso de aditivos. Los más recomendados son acelerantes, plastificantes, anticongelantes e incorporadores de aire

##### B.2) Materiales y equipos

- Protección de los áridos
- Moldajes adecuados (preferible de madera gruesa, isotermos de doble pared)
- Equipos adecuados para medir temperaturas del hormigón (con sensibilidad de  $\pm 1$  °C)
- Equipos para calentar el agua (y los áridos si se requiere)

### B.3) Protecciones (equipos y materiales en el lugar de trabajo)

- Equipos o materiales para proteger la superficie donde se hormigonará
- Tipos de protecciones a usar para mantener la temperatura del hormigón en el lugar de colocación
- Materiales para el curado (durante y después del período de protección)

## C) MÉTODOS CONSTRUCTIVOS ADECUADOS

Se recomienda adoptar las siguientes medidas concernientes a las distintas etapas del proceso de fabricación.

### C.1) Fabricación

- Mantener temperaturas mínimas en la hormigonera, según la temperatura ambiente, para lograr temperaturas mínimas de colocación de 5 °C
- Calentamiento del agua, a una temperatura menor o igual a 60 °C
- Si las temperaturas son muy bajas (inferiores a 0 °C), como complemento se puede calentar la arena e inclusive todos los áridos, a una temperatura menor a 40 °C, mediante vapor de agua. No usar calor seco
- No calentar el cemento

### C.2) Preparación del sitio de colocación

- Eliminar todo material congelado o restos de hielo adheridos al terreno, hormigón, moldajes, armaduras, etc. Para este efecto se puede usar chorro de aire caliente. (Si el lugar de trabajo no es cerrado debe hacerse inmediatamente antes de la colocación del hormigón)
- En general la superficie de contacto con el hormigón no necesita tener más de 2 °C, y en lo posible su temperatura debe ser similar a la temperatura de colocación del hormigón
- En algunos casos las armaduras pueden tener una temperatura muy inferior a la temperatura de congelación del agua. Es recomendable calentarlas, de forma de no alterar sus características
- Poner protecciones para proteger las superficies de las heladas, evitar formación de hielo, entrada de nieve y calefaccionar el ambiente, con anticipación a la colocación. Deben ser adecuadas para preservar la temperatura y humedad recomendadas en todo el volumen del hormigón
- Si se utilizan moldajes metálicos delgados, deben ser previamente calentados

### C.3) Colocación

Se debe controlar la temperatura en la superficie del hormigón (independientemente que esté en contacto con el moldaje, alguna protección o el aire), durante cada colocación, en distintos puntos del elemento, preferentemente a intervalos regulares de tiempo.

Al momento de la colocación, el hormigón debe tener una temperatura mayor a 5 °C.

### C.4) Protecciones

Son muchas las medidas de protección que se pueden aplicar. Entre ellas se destaca:

- Aislación térmica: poliestireno expandido, sacos con aserrín, lana mineral, polietileno con burbujas de aire (de empaque), mantas protectoras, espuma de poliuretano. Ver Figura 3.80.
- En caso de temperaturas muy bajas, presencia de nieve y/o viento: emplear estructuras provisionales de madera, lonas, placas de yeso, plástico y otras extendidas sobre caballetes o estructuras resistentes. Deben ser fácilmente removibles para facilitar el hormigonado y minimizar secciones expuestas a la intemperie.
- Para condiciones más desfavorables se puede recurrir a recintos cerrados, calefaccionados por medio de vapor o aire caliente. No se deben usar fogatas, estufas o similares que generan CO<sub>2</sub>.
- El hormigón se puede calentar internamente utilizando resistencias eléctricas aisladas, embebidas cerca de la superficie. Se aplica bajo voltaje.

**FIGURA 3.80**  
MANTA  
PROTECTORA



Fuente: GeoSistemas. Manta MC-10

En cuanto a las medidas de protección que se utilicen hay que considerar que:

- La temperatura en la superficie del hormigón determina la efectividad de la protección.
- Deben ser adecuadas para mantener las condiciones de temperatura y humedad en todo el volumen del hormigón.
- Se deben aplicar inmediatamente después del hormigonado (en superficies expuestas), y deben mantenerse en estrecho contacto con los moldajes y el hormigón.

- Mientras menor sea el espesor del elemento a hormigonar, mayor deben ser las protecciones térmicas (además el espesor de la protección debe aumentar a mayor velocidad del viento).
- Deben ser efectivas en presencia de humedad.
- Se debe proteger especialmente los lugares más expuestos, como aristas salientes y otros.
- En superficies cerradas (provisorias o no), se debe permitir espacio suficiente entre éstas y el hormigón para que el aire caliente tenga circulación.
- En estructuras sin moldajes, como losas de piso, protegidas en recintos calefaccionados debe haber buena ventilación. Las superficies de hormigón fresco expuesto al CO<sub>2</sub> producido por la combustión usada para calefaccionar sufren daños, quedando débiles.

#### C.5) Curado

- Si durante el período de protección no se ha terminado el tiempo de curado, el elemento debe proseguir su curado normal, con materiales adecuados.
- Se deben adoptar medidas para asegurar que la temperatura del hormigón colocado no descienda de 5 °C. Para estos efectos, se debe medir la temperatura del hormigón a una profundidad de 5 cm de la superficie expuesta y a una distancia mayor o igual a 5 cm de cualquier borde.
- Si se usa agua como método de curado (no deseable por choque térmico), el curado se debe finalizar por lo menos 12 horas antes del término del período de protección, tal que el hormigón se seque en este período previo o durante el ajuste de temperaturas para la remoción de las protecciones.
- Al final del período requerido, el aislamiento u otros medios de protección deben ser eliminados gradualmente para que la temperatura de la superficie disminuya poco a poco durante el período subsiguiente de 24 horas.

#### C.6) Desmolde

El desmolde y descimbre se pueden realizar cuando el hormigón alcance la resistencia establecida en la norma NCh170.

Especialmente útil en hormigonado a bajas temperaturas es el empleo de la madurez.

#### C.7) Control de temperaturas

Es conveniente llevar un registro que contenga lo siguiente:

- Temperatura de bordes y esquinas del hormigón ya que son más sensibles
- Llevar, con fecha y hora, temperatura del aire ambiente, temperatura del hormigón durante la colocación, temperatura del recinto de protección, descripción de las condiciones

climáticas. Hacer las mediciones al menos dos veces al día en distintos puntos

- Deben registrarse además las temperaturas máximas y mínimas en el día

### 3.14.2 HORMIGONADO EN CONDICIONES DE ALTA EVAPORACIÓN

Si las condiciones ambientales hacen prever un alto índice de evaporación, se deben tomar medidas de protección adicionales para disminuir los efectos adversos de la condición indicada.

#### FACTORES A CONSIDERAR

- A) Generalidades
- B) Planificación adecuada previa al hormigonado
- C) Métodos constructivos adecuados
- D) Tasa de evaporación

#### A) GENERALIDADES

Los principales factores que pueden producir condiciones para una alta evaporación de agua son la temperatura ambiente, la temperatura del hormigón, la humedad relativa, la velocidad del viento y la radiación solar.

Estas condiciones crean problemas en el mezclado, colocación y curado del hormigón, afectando las características del hormigón fresco y del hormigón endurecido, como:

- Aumento de la necesidad de agua para alcanzar la docilidad requerida
- Rápida pérdida del asentamiento
- Aceleración del fraguado, disminuyendo el tiempo disponible para las operaciones de transporte, colocación, compactación, terminación y curado, y aumentando la posibilidad de juntas frías
- En hormigones con aire incorporado, necesidad de aumentar la dosis de aditivo para obtener el contenido requerido pues el aire tiende a escapar a la superficie
- Tendencia a grietas por retracción plástica o diferencial térmico
- Disminución de las resistencias mecánicas, aun cuando a temprana edad normalmente se desarrollan resistencias mayores, debido al aumento de agua requerida
- En secciones de grandes dimensiones, tendencia a fisuración por retracción térmica
- Disminución de la durabilidad y aumento de la permeabilidad (por mayor razón A/C)
- Disminución de la uniformidad superficial

Los elementos más sensibles son aquellos con gran superficie expuesta, como losas, pavimentos y estucos; también las estructuras masivas.

Es recomendable recopilar, o medir, y analizar la información climática del lugar en que se ejecuta la obra, como temperatura ambiente, velocidad del viento y humedad relativa para prever posibles problemas.

## B) PLANIFICACIÓN ADECUADA PREVIA AL HORMIGONADO

### B1) Dosificación

- No usar hormigones de alto contenido de cemento
- Limitar en lo posible el diseño de secciones delgadas con gran porcentaje de acero de refuerzo
- Usar cementos con bajo calor de hidratación (menor a 70 cal/g a 7 días) como los de Polpaico de clase corriente
- Limitar la dosis de cemento
- Usar adecuadamente aditivos retardadores de fraguado y plastificantes

### B2) Registro de las condiciones ambientales

Se debe contar con un registro de las condiciones ambientales para establecer o ajustar las proporciones de la mezcla y tomar las medidas de protección durante el hormigonado.

### B3) Materiales y equipos requeridos

- Disponer en obra de protecciones como cubresoles (como malla sombreadora) y cortavientos
- El sitio de colocación debe estar provisto con abundante agua, mangueras y nebulizadores
- Equipos para la colocación y compactación con adecuada capacidad y en óptimas condiciones. Además, para éstos últimos se recomienda que se disponga de, por lo menos, un equipo de repuesto por cada tres vibradores en uso

### B4) Protección de los materiales

Los materiales para la elaboración del hormigón se deben enfriar antes del mezclado:

- Áridos: Debido a sus proporciones en la mezcla, son los que más influyen en la reducción de la temperatura del hormigón. Deben mantenerse protegidos de la acción del sol, sombreándolos. Deben mantenerse húmedos, rociándolos con agua mediante nebulizadores

- Agua: Debido a su alto calor específico, influye notablemente en la reducción de la temperatura del hormigón
  - Si se va a usar agua helada, debe mantenerse protegida en estanques y tuberías de la exposición del sol, aislándolos térmicamente, sombreándolos, recubriéndolos con arpilleras húmedas y/o pintándolos de blanco
  - Si se va a usar hielo triturado, o escamas, debe almacenarse a una temperatura tal que éste no se aglomere, para que después del mezclado esté completamente derretido. Reemplazar no más del 75% del agua
  - Se puede enfriar el agua por medio de nitrógeno líquido. Debe protegerse según recomendaciones del proveedor
- Cemento: Debe mantenerse protegido y usarse a la menor temperatura posible
- Los moldajes y armaduras también deben enfriarse

El efecto de los cambios de temperatura de los materiales en el hormigón se muestra en Tabla 3.47.

**TABLA 3.47**  
EFECTO DE LA DISMINUCIÓN DE TEMPERATURA DE LOS MATERIALES

Material	Disminución de temperatura, °C	Disminución de temperatura en el hormigón, °C
Cemento	10	1
Agua	4	1
Áridos	2	1

Fuente: NCh170:2016

### B5) Equipos

Todos los equipos que tienen influencia en la temperatura de confección del hormigón se pueden proteger, por ejemplo:

- Enterrando estanques y/o tuberías
- Aislar térmicamente
- Sombrear
- Cubrir con arpilleras húmedas
- Pintar de blanco

## C) MÉTODOS CONSTRUCTIVOS ADECUADOS

### C1) Preparación del sitio de colocación

Todas las superficies que van a estar en contacto con el hormigón deben rociarse con agua fría antes de la colocación, evitando formar pozas de agua. Esto es particularmente importante en pavimentos para que la base no absorba agua.

### C2) Fabricación

- Evitar mezclado prolongado, ya que éste genera calor, aún en bajas velocidades. Si la demora entre la fabricación y la colocación es inevitable, el efecto puede disminuirse deteniendo la hormigonera y agitando intermitentemente.
- Los materiales deben enfriarse antes del mezclado para reducir la temperatura del hormigón empleando los medios indicados en B4.
- Si se emplea hielo, asegurarse que se ha derretido completamente.
- Los áridos deben encontrarse húmedos, por lo menos en condición de saturados con superficie seca.

### C3) Transporte, colocación y compactación

- Al momento de la colocación la temperatura del hormigón debe ser menor o igual a 35 °C.
- Se recomienda restringir las operaciones de hormigonado a aquellas horas en que las condiciones de temperatura, humedad relativa y viento sean las menos desfavorables (generalmente a primeras horas del día).
- Estas operaciones deben ser realizadas en el menor tiempo posible evitando juntas frías (juntas de hormigonado).
- La colocación del hormigón en muros puede requerir capas de menor espesor para asegurar la continuidad con la capa subyacente.
- Si se van a hormigonar losas (grandes superficies de disipación del calor), se deben programar las actividades para que estos elementos reciban adecuada protección contra el viento y el sol (sombras, cortavientos, hormigonar radieres después de muros y/o techos y otros).
- Al hormigonar vigas y losas, es necesario realizar la colocación en frentes reducidos.
- Es recomendable el empleo de cortavientos y de elementos que provean sombra.

### C4) Terminación

- Debe efectuarse inmediatamente y en el menor tiempo posible mientras la mezcla obedece a la operación con las herramientas o equipos disponibles.

- Evitar agregar agua a la superficie pues esto altera su calidad.
- Para evitar grietas de retracción plástica (especialmente en tiempo con viento o baja humedad relativa), se puede aumentar la humedad relativa del ambiente mediante nebulizadores o bien cubrir provisoriamente el hormigón con arpilleras húmedas o con polietileno blanco, ver Figura 3.81. Si las grietas ocurren, antes que el hormigón endurezca, se deben eliminar mediante replatachado o revibrado.

**FIGURA 3.81**  
PROTECCIÓN  
DEL HORMIGÓN



Fuente: Propia

### C5) Curado

- Preferiblemente se debe realizar con agua. Sin embargo, en obras de pavimentación y construcción de canales, la aplicación de membranas de curado es más práctica y eficiente, después de un precurado con agua nebulizada.
- Debe aplicarse inmediatamente y continuarse en forma ininterrumpida, por un mínimo de 7 días.
- Si hay cambio en el sistema de curado, este debe hacerse después que el hormigón tenga 3 días de edad.
- El agua de curado no debe estar excesivamente más fría que el hormigón, a fin de evitar grietas por choque térmico.
- Proteger las superficies expuestas de la circulación del aire y de la radiación solar.
- Los moldajes deben permanecer húmedos, preferiblemente cubriéndolos con protecciones húmedas, o bien rociándolos con agua. Deben soltarse tan pronto como sea posible, sin dañar el hormigón, y entonces regar las superficies expuestas de modo que el agua corra dentro de los moldajes. Al retirar los moldajes, las superficies expuestas deben cubrirse con protecciones húmedas hasta finalizar el curado.

### C6) Controles

Se debe llevar un registro a intervalos frecuentes de:

- Temperatura del aire, condiciones climáticas, velocidad del viento y humedad relativa
- Pérdidas de asentamiento
- Chequeos frecuentes de la temperatura del hormigón antes y después de su colocación
- Se puede determinar la tasa de evaporación en terreno, usando una bandeja de aproximadamente 30\*30 cm, se llena de agua, y se pesa cada 15 a 20 minutos

#### D) TASA DE EVAPORACIÓN

No es posible establecer criterios generales para dimensionar los niveles de evaporación admisibles en las superficies de hormigón. Depende del tipo de hormigón y, especialmente, de la cantidad de agua exudada y de la velocidad de exudación.

Cuando la tasa de evaporación es cercana a 1 kg/m<sup>2</sup>/h aumenta el riesgo de fisuración y es necesario tomar medidas como las indicadas anteriormente. Las especificaciones de un proyecto en particular pueden establecer una tasa menor para tomar medidas de precaución.

La norma NCh170 establece la siguiente fórmula:

$$E = 5 * \{(Tc + 18)^{2,5} - r * (Ta + 18)^{2,5}\} * (V+4) * 10^{-6}$$

En que

- E = tasa de evaporación en kg/m<sup>2</sup>/h
- Tc = temperatura del hormigón en °C
- Ta = temperatura ambiente en °C
- r = humedad relativa en fracción decimal
- V = velocidad del viento en km/h

La velocidad del viento se mide a una distancia aproximada de 0,5 m de la superficie del elemento. La temperatura ambiente y la humedad relativa se miden a una altura entre 1,0 y 1,5 m sobre la superficie del hormigón, a la sombra y con exposición al viento.

Si se tiene registros de las condiciones climáticas del lugar (humedad relativa, temperatura ambiente, velocidad del viento) se puede predecir si se van a producir probables problemas, estimando la temperatura del hormigón. Para ello, la norma NCh170 indica la siguiente fórmula:

$$T_h = \frac{C_p * (T_a * M_a + T_c * M_c) + C_a * (T_{ac} * M_{ac} + T_{aa} * M_{aa}) - L_f * M_h}{C_p * (M_a + M_c) + C_a * (M_{ac} + M_{aa}) + C_h * M_h}$$

En que

- T<sub>h</sub> = temperatura del hormigón, en °C, aproximado a 0,1 °C
- C<sub>p</sub>, C<sub>a</sub>, C<sub>h</sub> = calores específicos de los materiales  
Cemento y áridos: 0,22 kcal/kg °C  
Agua y hielo: 1,00 kcal/kg °C
- L<sub>f</sub> = calor latente de fusión del hielo, 79,70 kcal/kg
- T<sub>a</sub>, T<sub>c</sub>, T<sub>ac</sub>, T<sub>aa</sub> = temperatura de los áridos, del cemento, del agua al interior de los áridos y el agua de amasado respectivamente, expresada en °C
- M<sub>a</sub>, M<sub>c</sub>, M<sub>ac</sub>, M<sub>aa</sub>, M<sub>h</sub> = masa de los áridos, del cemento, del agua al interior de los áridos, el agua de amasado y la masa de hielo usado como reemplazo de agua de amasado, respectivamente, expresada en kg

Se asume que el agua contenida en el interior de los áridos tiene la misma temperatura que los áridos.

## DURABILIDAD DEL HORMIGÓN

*Junto con la resistencia a la compresión del hormigón, la durabilidad juega un papel importante, ya que éste debe ser capaz de resistir las condiciones para las que fue diseñado durante su vida útil, sin sufrir deterioros.*

### TEMAS TRATADOS

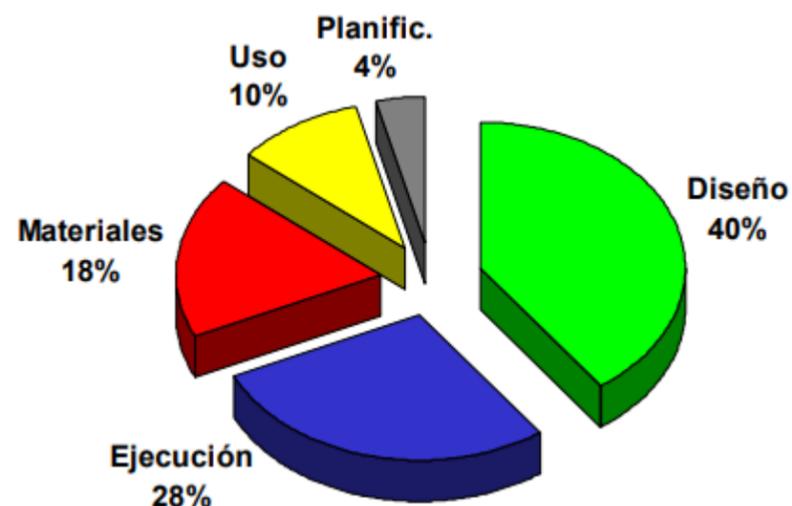
- 3.15.1 Generalidades
- 3.15.2 Ataque químico
- 3.15.3 Ataque físico

### 3.15.1 GENERALIDADES

Durabilidad es la aptitud de una estructura dada de desempeñar su función prevista (mantener la resistencia requerida y su funcionalidad o "serviciabilidad") durante la vida útil especificada o tradicionalmente esperable, en sus condiciones específicas de exposición ambiental.

Son muchos los factores que influyen en la durabilidad, como se muestra en Figura 3.82.

**FIGURA 3.82**  
ORIGEN DE PROBLEMAS DE DURABILIDAD EN OBRAS CIVILES



Fuente: R. Torrent, "Nuevo enfoque para asegurar la vida útil de estructuras de hormigón armado"

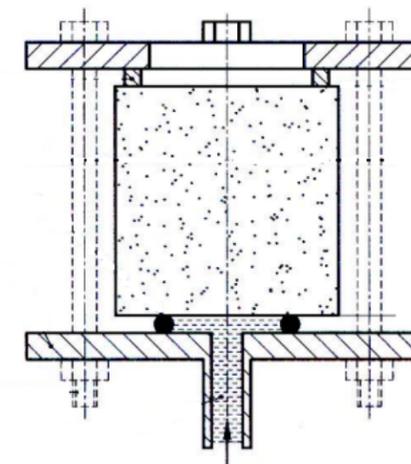
Muchos de los problemas de durabilidad están relacionados con la permeabilidad. La mayoría de las reacciones adversas requieren la presencia de agua para que se produzcan; por tanto, si se logra disminuir la permeabilidad, la durabilidad aumenta.

Es básico, entonces, tener un buen diseño de la mezcla, con adecuado contenido de finos incluido el cemento, el empleo de aditivos para disminuir la cantidad de agua y el empleo de adiciones. Pero un buen hormigón no sirve si es mal colocado, compactado y curado pues se crearán fisuras o grietas por donde entrará el agua y otros contaminantes.

Como se verá más adelante, la norma NCh170-2016, tanto para cloruros, sulfatos o CO<sub>2</sub>, hace exigencias de permeabilidad de los hormigones.

El ensayo de permeabilidad está regulado por NCh2262. Se aplica una presión de agua 0,5 MPa durante tres días a 3 probetas, luego éstas se rompen por hendimiento y se mide la profundidad a la que ha penetrado el agua. Se puede realizar tanto en probetas cúbicas como en cilíndricas y también en testigos. La disposición general del ensayo se muestra en Figura 3.83.

**FIGURA 3.83**  
ENSAYO DE PERMEABILIDAD



Fuente: NCh2262-2009

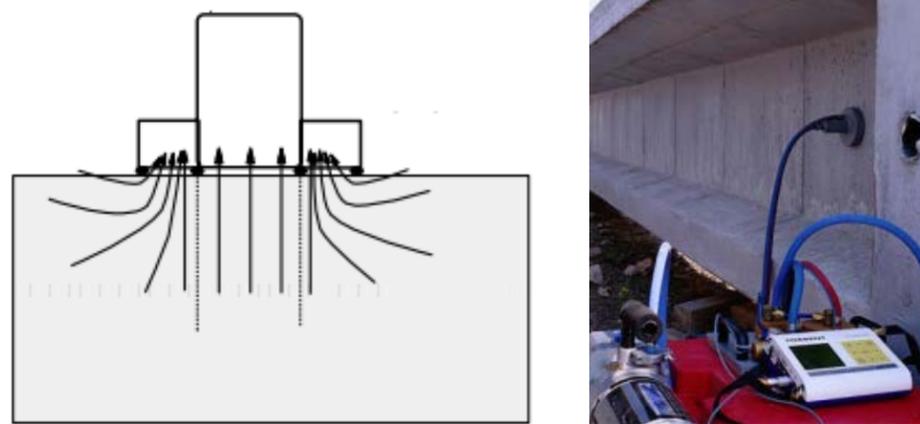
El inconveniente principal que tiene el ensayo es que, en general, se hace en probetas moldeadas en hormigones de prueba. Por tanto, sirve para medir la aptitud de un hormigón, la impermeabilidad potencial, no la real de la estructura.

La misma norma NCh170 hace mención a un método de permeabilidad al aire (norma suiza SIA 262/1) que básicamente consiste en hacer vacío en un equipo de doble cámara, equipo Torrent, y luego medir cuánto aire ingresa a la cámara interior. La gran ventaja del método es que se puede aplicar en terreno, es no destructivo y relativamente rápido.

Aunque se pueden corregir las lecturas, lo ideal es que las superficies estén secas.

El equipo y la disposición general se muestran en Figura 3.84.

**FIGURA 3.84**  
PERMEABILIDAD  
AL AIRE



Fuente: R. Torrent, "Nuevo enfoque para asegurar la vida útil de estructuras de hormigón armado"

### 3.15.2 ATAQUE QUÍMICO

Dado su carácter básico, de alto pH, el hormigón es muy débil frente al ataque de los ácidos.

No tan sólo a los ácidos fuertes como el sulfúrico, el clorhídrico y otros, sino que también a los ácidos débiles como los orgánicos: ácido láctico, orinas y fecas de los animales, jugos de frutas y otros.

Los ataques pueden ser superficiales o pueden venir desde dentro cuando los ácidos penetran por juntas mal cuidadas.

No hay soluciones baratas. Lo más común es cubrir con epoxi las zonas más expuestas.

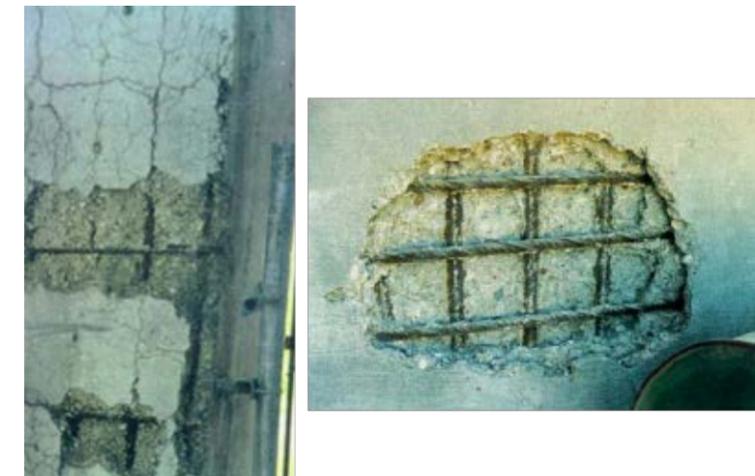
#### A) ATAQUE DE CLORUROS

En presencia de agua, los cloruros que han ingresado al hormigón se ionizan y atacan a las armaduras.

La velocidad con la que penetran los cloruros depende del espesor y de la calidad del recubrimiento de hormigón; por esto en ambientes expuestos el recubrimiento es grande y el hormigón es de alta calidad, aunque por resistencia no fuera necesario. También afecta una mala dosificación y las fisuras y oquedades que hayan quedado por un mal tratamiento.

Se forma una pila eléctrica en la misma barra y se produce reacciones que forman compuestos que aumentan hasta 600% su volumen. Con las expansiones que se producen, primero aparecen manchas, que siguen la dirección de las barras corroídas, después fisuras, luego descascaramiento y destrucción. También hay pérdida de sección de las barras. Todo puede provocar el colapso de toda la estructura. Ver Figura 3.85.

**FIGURA 3.85**  
DAÑO POR ATAQUE  
DE CLORUROS



Fuente: R. Torrent, "Nuevo enfoque para asegurar la vida útil de estructuras de hormigón armado"

Los cloruros pueden provenir de fuentes internas o externas.

Las fuentes internas son los materiales que componen el hormigón y todos pueden aportar cloruros: cemento, áridos, agua, aditivos y adiciones.

Para estas fuentes externas la norma NCh170-2016 especifica lo que se indica en Tabla 3.48.

**TABLA 3.48**  
CONTENIDO  
MÁXIMO DE  
IONES CLORUROS  
SOLUBLES

Tipo de hormigón	Contenido de iones cloruros solubles, kg Cl-/m3 de hormigón
Hormigón reforzado y hormigón en masa que contenga armadura	1,20
Hormigón pretensado	0,25
Para cuantificar el contenido de cloruros, se debe considerar el aporte de cada uno de los constituyentes del metro cúbico del hormigón	

Fuente: NCh170:2016

La mucho mayor exigencia para hormigones pretensados se justifica por el menor diámetro de los cables y porque los elementos trabajados en frío son mucho más sensibles a la corrosión.

Con respecto a las fuentes externas de cloruros, la norma NCh170 clasifica los grados de exposición como se muestra en Tabla 3.49.

**TABLA 3.49**  
GRADOS DE EXPOSICIÓN POR CLORUROS

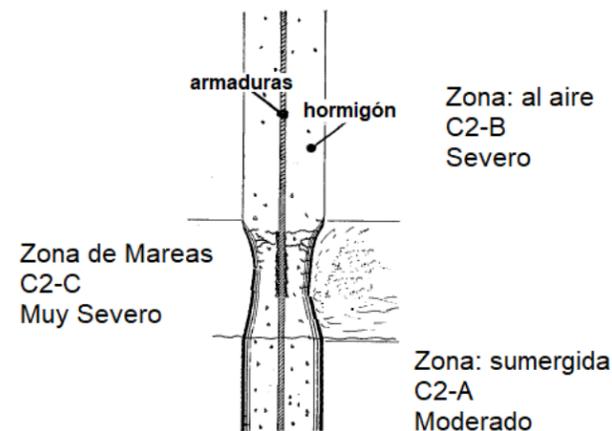
Grado		Exposición en condiciones de servicio
C2-A	Moderado	Hormigón sumergido completamente en agua que contiene cloruros
C2-B	Severo	Hormigón expuesto a aire salino
C2-C	Muy severo	Hormigón expuesto a ciclos de humedad y a una fuente externa de cloruros, proveniente de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen

Fuente: NCh170:2016

Esa clasificación de los grados de exposición se presenta gráficamente en Figura 3.86.

Para los grados de exposición indicados, los requisitos de la norma NCh170 se presentan en Tabla 3.50.

**FIGURA 3.86**  
GRADOS DE EXPOSICIÓN A CLORUROS



Fuente: R. Torrent, "Nuevo enfoque para asegurar la vida útil de estructuras de hormigón armado"

**TABLA 3.50**  
REQUISITO SEGÚN GRADO DE EXPOSICIÓN A CLORUROS

Grado de exposición	Grado mínimo de resistencia especificado, MPa	Dosis mínima de cemento, kg/m <sup>3</sup>	Profundidad de penetración de agua (NCh2262), mm
C2-A	G20	300	≤ 40
C2-B	G25	330	≤ 30
C2-C	G35	360	≤ 20
Se debe cumplir con el grado de resistencia y con uno de los otros dos requisitos			
El proyectista estructural puede disminuir 5 MPa a lo indicado en la tabla si se especifica profundidad de penetración en vez de dosis mínima. En todo caso el mínimo es G17			

Fuente: NCh170:2016

## B) ATAQUE DE SULFATOS

Los sulfatos en presencia de agua se disocian y reaccionan con el aluminato tricálcico (C3A) del cemento. En esta reacción se captan 26 moléculas de agua, por lo que el sólido que se forma (etringita secundaria) es mucho mayor que los sólidos iniciales.

Esta expansión está restringida en el hormigón, lo que genera tensiones que tienden a destruir el hormigón. Además, las fisuras y grietas que se forman pasan a ser una fuente de entrada a otros compuestos que atacan al hormigón o a las armaduras. Figura 3.87.

**FIGURA 3.87**  
DAÑOS POR ATAQUE DE SULFATOS



Fuente: Holcim. "Ensuring concrete durability"

Los grados de exposición por ataque de sulfatos que define la norma NCh170 se muestran en Tabla 3.51.

**TABLA 3.51**  
GRADOS DE EXPOSICIÓN POR SULFATOS

Grado Soluble en el suelo % en peso		Contenido máximo de SO <sub>4</sub>	
		Disuelto en agua ppm	
S0	No agresivo	< 0,10	< 150
S1	Moderado	0,10 ≤ SO <sub>4</sub> < 0,20	150 ≤ SO <sub>4</sub> < 1.500 agua de mar
S2	Severo	0,20 ≤ SO <sub>4</sub> ≤ 2,0	1.500 ≤ SO <sub>4</sub> ≤ 10.000
S3	Muy severo	SO <sub>4</sub> > 2,0	SO <sub>4</sub> > 10.000

Fuente: NCh170:2016

La norma establece requisitos para el cemento, que es el que reacciona, y para el hormigón, que es el que resulta afectado por el ataque.

Los requisitos para el cemento se muestran en Tabla 3.52.

**TABLA 3.52**

REQUISITOS DEL CEMENTO PARA HORMIGÓN EN CONTACTO CON SULFATOS

Grado de exposición	Requisitos del cemento (1)	
	Expansión según ASTM C1012	Contenido de C3A en el cemento
S0	Sin restricción	Sin restricción
S1	0,10 % a 6 meses	≤ 8 %
S2	0,05 % a 6 meses (2)	≤ 6 %
S3	0,05 % a 6 meses (2)	≤ 5 %

(1) El cemento debe cumplir con al menos uno de los dos requisitos  
 (2) En el caso que el cemento no cumpla con el requisito de expansión a 6 meses, se puede utilizar siempre que la expansión a un año no sea mayor a 0,10%

Fuente: NCh170:2016

El ensayo de expansión de ASTM C1012 consiste en preparar unas barras de mortero con el cemento que se analiza y una arena especial (arena Otawa) y mantenerlas sumergidas en una solución al 5% de Na2SO4. Periódicamente, las barras se retiran de la solución y se mide los cambios de longitud.

Los requisitos para el hormigón sometido a ataques de sulfatos que establece la norma NCh170 se presentan en Tabla 3.53.

**TABLA 3.53**

REQUISITOS DEL HORMIGÓN EN CONTACTO CON SULFATOS

Grado de exposición	Grado mínimo de resistencia especificado, MPa	Dosis mínima de cemento, kg/m3	Profundidad de penetración de agua (NCh2262), mm
S0	G17	---	---
S1	G25	320	≤ 40
S2	G30	340	≤ 30
S3	G35	360	≤ 20

Se debe cumplir con el grado de resistencia y con uno de los otros dos requisitos

Fuente: NCh170:2016

### C) CARBONATACIÓN

Cuando el hormigón o mortero es expuesto al CO2, se produce una reacción que genera carbonatos acompañado con retracciones.

En hormigones no armados los efectos pueden ser beneficiosos ya que el hormigón queda más denso, más duro, y más resistente. En hormigones armados, sin embargo, la reacción es dañina ya que baja el pH del hormigón eliminando la capa de pasivación que protege al acero de la corrosión. El CO2 en presencia de humedad se transforma en ácido carbónico (CO3H2) formando CaCO3 y bajando el pH de 13 a 9.

Las fuentes de CO2 pueden ser dos: el atmosférico (aire) o agua que trae disuelto CO2.

La reacción del hormigón con el CO2 del aire es un proceso lento y es muy dependiente de la humedad relativa del ambiente, de la temperatura, de la permeabilidad del hormigón y de la concentración de CO2.

La carbonatación progresa más rápidamente en ambientes con humedad relativa entre 60 y 80%. En ambiente muy seco no hay humedad suficiente para formar ácido carbónico. Si la saturación es muy alta, el sistema de poros está bloqueado, impidiendo la difusión del CO2.

La resistencia del hormigón (bien compactado y curado) influye notoriamente en la velocidad de carbonatación. Con esto se puede predecir el comportamiento. En la Figura 3.88 se ve que un G25 (aproximadamente H30) a los 50 años tendrá una penetración de 21 mm, espesor normal de recubrimiento de estructuras no protegidas especialmente.

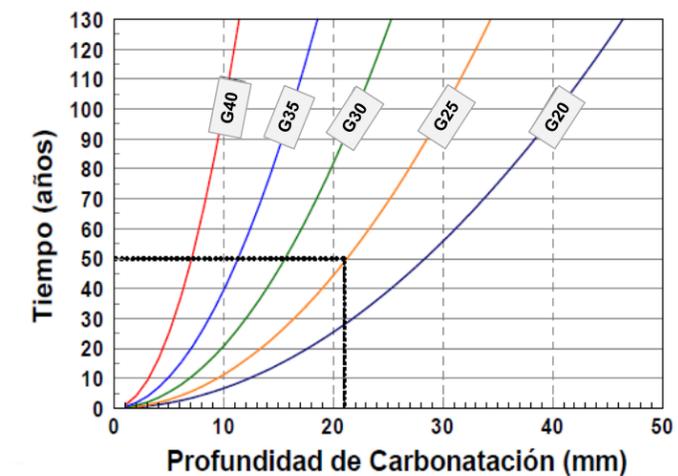
Otra forma de ataque es por el agua en el suelo. El CO2 que es absorbido por la lluvia ingresa al suelo como ácido carbónico. CO2 adicional se genera por descomposición vegetal, generando una alta concentración de CO2 libre.

Al igual que el CO2 atmosférico, la velocidad del ataque depende de las propiedades del hormigón y de la concentración de CO2.

Por el momento no hay consenso en el establecimiento de límites dada la amplia variedad de los subsuelos usados en construcción.

**FIGURA 3.88**

VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE LA CARBONATACIÓN



Fuente: R. Torrent, "Nuevo enfoque para asegurar la vida útil de estructuras de hormigón armado"

La manera más empleada para detectar la presencia de carbonatación es el empleo de fenolftaleína. Es un indicador colorimétrico del pH; queda incoloro con pH ≤ 9 (carbonatado) y toma un color fucsia con pH mayor. En general se extraen testigos, o trozos de hormigón, se limpian y se aplica una solución al 1% de fenolftaleína en alcohol (spray) y se mide la penetración, como se muestra en Figura 3.89.

**FIGURA 3.89**  
ENSAYO DE  
FENOLFTALEÍNA



Fuente: R. Torrent, "Nuevo enfoque para asegurar la vida útil de estructuras de hormigón armado"

Los grados de exposición a carbonatación que define la norma NCh170 se presentan en Tabla 3.54 y los requisitos para esos grados en Tabla 3.55.

**TABLA 3.54**  
GRADOS DE  
EXPOSICIÓN POR  
CARBONATACIÓN

Grado		Exposición en condiciones de servicio
C0	No agresivo	Hormigón seco o protegido de la humedad ambiental
C1	Leve	Hormigón húmedo expuesto a altas concentraciones de CO <sub>2</sub>

Fuente: NCh170:2016

**TABLA 3.55**  
REQUISITOS AL  
HORMIGÓN POR  
CARBONATACIÓN

Grado de exposición	Grado mínimo de resistencia especificado, MPa	Dosis mínima de cemento, kg/m <sup>3</sup>	Profundidad de penetración de agua (NCh2262), mm
C0	G17		
C1	G17	270	≤ 50

Fuente: NCh170:2016

## D) REACCIÓN ÁLCALI-ÁRIDO

Para que se produzca la reacción es necesario la presencia de áridos reactivos, la disponibilidad de iones de Na y K, un hormigón permeable y la presencia de agua.

Con la reacción se produce un gel que se expande en el interior del hormigón, lo que crea tensiones que muchas veces el hormigón no es capaz de resistir. Primero se agrieta y finalmente se puede destruir completamente. Ver Figura 3.90.

**FIGURA 3.90**  
DAÑOS POR  
REACCIÓN  
ÁLCALI-ÁRIDO



Fuente: Holcim. Course of cement applications

La reactividad de los áridos depende básicamente de su composición mineralógica. Están identificados como reactivos el ópalo, la calcedonia, vidrios volcánicos, cuarzo deformado (presente en granito), feldespato, mica.

Aunque el cemento es la principal fuente, otras fuentes de álcalis son los mismos áridos, el agua, los aditivos.

Una vez que empieza, la reacción no se puede detener. Por tanto, sólo queda la prevención: impedir que la reacción se produzca.

La medida de prevención más obvia, aunque no siempre se puede, es no usar áridos reactivos.

Para determinar la reactividad de un árido existen tres métodos.

El análisis petrográfico (ASTM C 295) consiste en determinar la presencia en los áridos (todas las fracciones) de minerales conocidos como reactivos. En Chile prácticamente no se hace pues se requiere de geólogos de mucha experiencia.

Mucho más común es el ensayo químico de reactividad potencial (ASTM C 289). Es un ensayo rápido y económico. Se ataca el árido con una solución de NaOH, durante 24 horas a 80 °C y se mide la sílice disuelta y la reducción de alcalinidad. Para la interpretación se usa el gráfico y los áridos se clasifican como inocuos, potencialmente reactivos y peligrosos. El método no es totalmente confiable.

El ensayo más efectivo es el de barras de mortero (ASTM C227). Se prepara un mortero con los áridos (los gruesos se chancan a tamaño de arena y se reproduce la mezcla que se va a utilizar) y con el cemento que se va a emplear en la obra. Se preparan unas vigas que se sumergen en un gabinete especial (38 °C). Se mide el cambio de largo de las vigas a 1, 2, 4, 6, 9 y 12 meses. En general se considera aceptable una expansión de 0,05% en 3 meses y 0,10% en 6 meses.

Un método acelerado es el de ASTM C 1260.

Se determina la reactividad del árido midiendo la expansión que experimentan barras de mortero preparadas con el árido que se analiza y un cemento no inhibitor de la reacción. Las vigas se sumergen 14 días en una solución de NaOH a 80 °C. De acuerdo a la expansión medida a los 14 días

se tiene:

- 0,2% el árido se considera reactivo
- Entre 0,1 y 0,2% el árido es potencialmente reactivo y se requieren más análisis
- < 0,1% el árido se considera inerte

Otra medida de prevención es emplear cemento con bajo contenido de álcalis. Hay evidencia de que cuando el cemento tiene menos de 0,6% de Na equivalente (Na + 0,658K) no se produce la reacción.

Está demostrado que los cementos puzolánicos inhiben la reacción álcali-árido.

En Chile son muchos los áridos reactivos. Sin embargo, no se ha producido problemas importantes pues hace cerca de 60 años que se emplean, fundamentalmente, cementos con puzolana.

La norma NCh170-2016 indica que los áridos reactivos o potencialmente reactivos, en hormigones en ambiente de alta humedad o sumergidos se pueden emplear si:

- Obras similares, con materiales de la misma fuente, no han presentado problemas. Los cementos con adiciones de Chile han demostrado ser eficaces en este sentido
- Se emplea cemento Portland con menos de 0,6% de sodio equivalente (Na + 0,658K)
- La expansión según ASTM 227, con los materiales de la obra, es menor que 0,05% en 3 meses o menor que 0,10% en 6 meses
- Se cuenta con estudios especiales que permitan su uso

### 3.15.3 ATAQUE FÍSICO

#### A) CICLOS DE CONGELACIÓN Y DESHIELO

El agua, al congelarse, aumenta su volumen en 9%. Al interior del hormigón, al no poder expandirse, el hielo crea grandes tensiones.

Una ocurrencia aislada tiene un efecto insignificante, pero las fluctuaciones de temperatura en la estación fría (congelamiento y descongelamiento) repetidas en varios años puede causar daños considerables. Ver Figura 3.91.

En países del hemisferio norte es común el empleo de sales descongelantes en pavimentos y esto agrava el problema, ya que la zona cerca de la superficie del hormigón cambia en más de 10 °C en uno o dos minutos.

**FIGURA 3.91**  
DAÑOS POR  
CICLOS DE  
CONGELACIÓN Y  
DESHIELO.



Fuente: L. Ebenperger, R. Torrent. "Durabilidad y vida útil del Hormigón. Un enfoque integral basado en mediciones de la permeabilidad al aire".

Desde el punto de vista de la tecnología del hormigón una de las medidas de protección es hacer un hormigón impermeable. Para aumentar la resistencia del hormigón al congelamiento, el agua de ese hormigón debe mantenerse lo más baja posible.

La manera más eficiente de protección es dar espacio a que el agua en el interior del hormigón se expanda, de modo que cuando el volumen crezca debido al congelamiento, esto no provoque tensiones internas. Esto se consigue mediante el empleo de aditivos incorporadores de aire que crean microburbujas, normalmente esféricas, del orden de 0,02 a 0,2 mm. Burbujas mayores a esa dimensión no contribuyen a la resistencia al congelamiento.

Hay un ensayo para determinar la resistencia de un hormigón a ciclos de congelación y deshielo (NCh2185). Normalmente se utilizan viguetas de 75\*75\*250 mm. El ensayo consiste en congelar las probetas a -15 °C y luego descongelarlas llevándolas a 20 °C. Este es un ciclo que dura 24 horas y se hacen 50 ciclos.

Al término del ensayo se mide la expansión que han experimentado. Lo aceptable es una expansión de 0,05%. Si una probeta se deforma de tal manera que no se puede medir, se considera que no cumple.

La norma NCh170-2016 establece los ambientes que se indican con las especificaciones que se muestran en Tabla 3.56.

**TABLA 3.56**  
REQUISITOS  
DEL HORMIGÓN  
SOMETIDO A  
LA ACCIÓN DE  
CONGELACIÓN Y  
DESHIELO

Grado de exposición		Grado mínimo de resistencia, MPa	Aire total, %	Tamaño máximo, mm
F0	Hormigón no expuesto a congelación y deshielo	Sin restricción	Sin restricción	Sin restricción
F1	Hormigón expuesto a congelación y deshielo y ocasionalmente a humedad	G30	6,0	10
			5,0	20
			4,5	40
F2	Hormigón expuesto a congelación y deshielo y en contacto continuo con la humedad	G30	7,5	10
			6,0	20
			5,5	40
F3	Hormigón expuesto a congelación y deshielo y en contacto continuo con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes	G35	7,5	10
			6,0	20
			5,5	40

Fuente: NCh170:2016

## B) ABRASIÓN

Se define la resistencia a la abrasión como la habilidad de una superficie de hormigón de resistir el desgaste por roce, frotamiento y fricción.

Las causas más comunes son el tránsito de peatones y vehículos sobre las veredas y pavimentos y el desgaste producido por el flujo continuo de agua (con o sin sólidos).

La abrasión de pisos y pavimentos también puede resultar de operaciones de producción y es, por tanto, de preocupación en pisos industriales.

Con la abrasión se produce por un desplazamiento de materiales sólidos sobre la superficie, produciendo un desprendimiento de las partículas componentes del hormigón, en forma creciente, pudiendo llegar a una disminución del espesor del elemento.

En la mayoría de los casos, el desgaste por abrasión no ocasiona problemas estructurales, pero puede haber un problema de polvo que puede ser objetable en algunos tipos de operaciones. También puede traer consecuencias en el comportamiento bajo las condiciones de servicio o indirectamente propiciando el ataque de algún otro enemigo de la durabilidad, siendo esto último más evidente en el caso de las estructuras hidráulicas.

Los resultados de los ensayos indican que la resistencia a abrasión está fuertemente relacionada con la resistencia a compresión del hormigón. Una relación agua-cemento baja y el curado adecuado se hacen necesarios para la resistencia a abrasión.

Sin embargo, hay que considerar que la estructura debe contar con un muy buen curado y con adecuadas técnicas de acabado superficial.

El tipo de árido y el acabado de la superficie o el tratamiento usado también tienen gran influencia sobre la resistencia a abrasión.

Por otra parte, la zona expuesta a la abrasión, la superficie, es normalmente la zona más débil de la estructura.

Por eso es común el empleo de endurecedores superficiales, los que se espolvorean sobre la superficie.

Para lograr buena resistencia a la abrasión es necesario:

- Usar la menor razón agua-cemento.
- Hacer una mezcla adecuada de áridos de manera de disminuir la exudación.
- En casos de alta abrasión emplear áridos particularmente duros, como el cuarzo y no considerar los calizos.
- Emplear el menor asentamiento posible compatible con la adecuada colocación.
- En lo posible hacer alisado mecánico.
- Hacer un curado adecuado y no postergarlo.

No hay normas ni de especificaciones ni de ensayos del INN.

El ensayo más conocido es el de arenado (ASTM C418). Este método cubre la evaluación en laboratorio de la resistencia de las superficies de hormigón a la abrasión. Este procedimiento simula la acción de abrasión del agua y del tráfico en superficies de hormigón. Realiza una acción de corte que tiende a desgastar más severamente a los componentes menos resistentes del hormigón.

Una arena, normalmente cuarzosa, se dispara desde 75 mm a la probeta durante 1 minuto. Se hacen al menos 8 ensayos por probeta. Se calcula el volumen de la huella y el coeficiente de pérdida por abrasión es el volumen dividido por la superficie expuesta.

En Figura 3.92 se presenta la disposición del equipo y una probeta ensayada.

**FIGURA 3.92**  
ABRASIÓN POR  
ARENADO



Fuente: Propia

ASTM tiene un método (C1138) especialmente orientado a determinar qué provoca el agua.

Simula cualitativamente el comportamiento de remolinos de agua que contienen objetos sólidos suspendidos que producen abrasión del hormigón.

Se espera que los resultados sean útiles en la selección de materiales, mezclas y prácticas de construcción para su uso donde tal acción es de esperar.

## HORMIGONES ESPECIALES

- 3.16.1. Hormigones livianos
- 3.16.2. Hormigones pesados
- 3.16.3. Hormigón bombeado
- 3.16.4. Hormigón proyectado (shotcrete)
- 3.16.5. Hormigón compactado con rodillo
- 3.16.6. Hormigón masivo
- 3.16.7. Hormigón bajo agua
- 3.16.8. Hormigón con áridos precolocados
- 3.16.9. Hormigón con fibras
- 3.16.10. Hormigón al vacío
- 3.16.11. Hormigón autocompactante
- 3.16.12. Hormigón drenante
- 3.16.13. Hormigón pre y postensado

### 3.16.1. HORMIGONES LIVIANOS

Con bajo peso propio son menores las cargas que se transmiten y se facilitan las operaciones de manejo, transporte y colocación; por otra parte, se obtiene buena aislación térmica. La misma porosidad también está relacionada con baja resistencia y es necesario encontrar un balance entre densidad, aislación y resistencia. En general, el hormigón liviano tiene una densidad inferior a 1.800 kg/m<sup>3</sup>.

Se puede distinguir dos tipos de hormigones livianos:

#### A) HORMIGONES LIVIANOS DE ÁRIDOS LIVIANOS

Los áridos livianos pueden ser naturales o artificiales.

Dentro de los primeros está la piedra pómez, abundante en Chile, pero de difícil acceso, lo que ha impedido su desarrollo. En el mismo grupo se pueden considerar los desechos de madera (lana de madera), estabilizada con cal y aglomerada con cemento, empleada en la fabricación de paneles. Un árido intermedio, entre natural y artificial, es el ladrillo machacado, usado desde el tiempo del imperio romano.

El poliestireno expandido es el árido liviano artificial más difundido. Combinándolo con diferentes proporciones de arena y dosis de cemento de 300 a 350 kg/m<sup>3</sup> se logran resistencias de 0,5 a 6 MPa y densidades entre 600 y 1.200 kg/m<sup>3</sup>. Se emplea en paneles no soportantes y en sobrelosas;

para éstas debe cuidarse que la resistencia, o densidad, esté de acuerdo al recubrimiento: mayor mientras más rígida sea la carpeta (cerámica, madera, alfombra u otra). Ver Figura 3.93.

**FIGURA 3.93**  
POLIESTIRENO  
EXPANDIDO

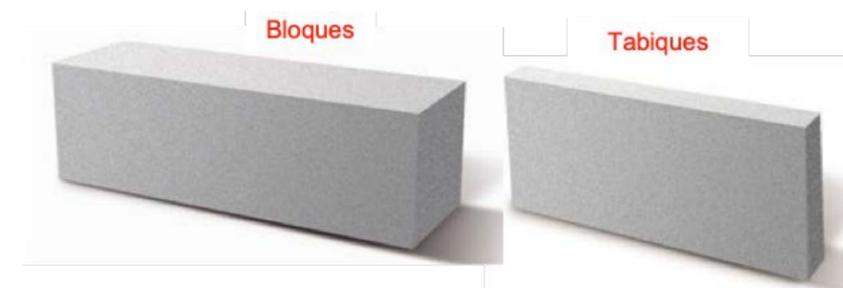


Para uso estructural se emplea arcilla expandida, no disponible en el mercado nacional, aunque hay abundancia de arcillas aptas. En un plato granulador se forman bolas de arcilla fresca que se llevan a un horno horizontal en que se van acercando poco a poco a la zona de más temperatura; es común el empleo de viejos hornos cementeros. Al interior del horno, el aire al interior de las bolas se expande y el resultado es un árido de diferentes tamaños, con una cáscara muy dura (como el baldosín cerámico) con aire en su interior, lo que disminuye la densidad. Las resistencias pueden llegar a 60 MPa con densidades de hasta 1800 kg/m<sup>3</sup>.

#### B) HORMIGONES CELULARES

Es una mezcla de cemento, una arena muy fina (se muele en planta), cal (que se emplea para generar calor) y agua en abundancia formando una mezcla líquida. Cuando se logra una temperatura adecuada, se agrega polvo de aluminio. El polvo de aluminio reacciona con el agua y desprende hidrógeno que al irse a la superficie expande considerablemente la mezcla que se rigidiza rápidamente. Los productos se cortan y tienen curado en autoclave, lo que elimina el riesgo de contracciones posteriores. Por eso se conocen como hormigón celular autoclavado. Ver Figura 3.94.

**FIGURA 3.94**  
HORMIGÓN  
CELULAR  
AUTOCLAVADO



Fuente: Celcon

Los productos tienen buena aislación térmica y acústica, buena resistencia al fuego. Son aserrables y aceptan sin problemas tornillos y clavos. En general se pegan con adhesivos especiales.

Las resistencias varían de 2,5 a 6 MPa y las densidades de 500 a 600 kg/m<sup>3</sup>.

Los productos más conocidos son bloques y tabique. Los bloques están regidos por la norma NCh2432.

### 3.16.2 HORMIGONES PESADOS

Convencionalmente se definen como aquellos con densidad superior a 3.000 kg/m<sup>3</sup>.

Se emplean principalmente como escudo protector contra radiaciones (rayos X y gamma) en plantas nucleares (ver Figura 3.95 del reactor nuclear de La Reina, construido con hormigón pesado) y centros médicos con equipos de alta energía.

En su confección se emplean minerales pesados (de hierro, hematita, o de bario, barita) o desechos metálicos, alcanzándose densidades entre 4.000 y 4.800 kg/m<sup>3</sup>.

Es más común el empleo de arena normal y árido grueso pesado bajando los costos y la densidad, pero aumenta la tendencia a la segregación.

Las resistencias de estos hormigones son similares a las de hormigones tradicionales.

El mayor peso es una exigencia adicional para la betonera y los moldajes y aumenta las dificultades en el transporte, colocación y compactación. Los áridos pesados producen mayor desgaste de las aspas de la betonera o camión mixer. Los áridos gruesos de minerales de hierro son extremadamente rugosos.

**FIGURA 3.95**  
CENTRO DE ESTUDIOS NUCLEARES LA REINA



Fuente: Comisión Chilena de Energía Nuclear

### 3.16.3 HORMIGÓN BOMBEADO

Es un hormigón transportado a presión, a través de una tubería, y que se descarga directamente en el área deseada.

Es especialmente útil en lugares de difícil acceso (ver Figura 3.96) y es ampliamente empleado en edificios. A pesar del mayor costo del hormigón bombeable y del costo del bombeo, en edificios altos, resulta más económico que la combinación capacho-grúa.

**FIGURA 3.96**  
BOMBEO A ZONA DE DIFÍCIL ACCESO



Fuente: Propia

Normalmente se utiliza tubería rígida y debe hacerse un estudio del tendido de la tubería, la que va creciendo con el crecimiento del edificio, para evitar al máximo la presencia de codos, cambios de dirección, cambios de sección y otros que disminuyen el rendimiento, aumentan la presión necesaria y facilitan el atasco del hormigón dentro de la tubería.

Las bombas más utilizadas son las estacionarias, que quedan en obra. También están las bombas plumas, montadas sobre camión que tienen la limitación de distancia a cubrir.

Las bombas usuales pueden transportar a más de 120 m en vertical y más de 450 m en horizontal; en casos especiales se ha llegado a más de 250 m verticales en el país. Los diámetros habituales de las tuberías son de 100 y 150 mm. Dependiendo del equipo y la instalación se pueden alcanzar rendimientos de hasta 120 m<sup>3</sup>/h. La presión necesaria depende del rendimiento que se requiera, del diámetro de la tubería y de las características del hormigón.

Es conveniente usar asentamientos iguales o superiores a 10 cm. El tamaño máximo debe ser, como máximo, 1/3 del diámetro de la tubería.

Para tener una buena lubricación entre el hormigón y las paredes de la tubería, el hormigón debe ser más arenoso que el hormigón tradicional, en particular es mayor la cantidad de finos; en general se recomienda que, incluido el cemento, haya 410 kg de material inferior a 0,25 mm si el tamaño máximo es 40 mm y 480 kg para 20 mm.

Al inicio de la faena, las tuberías deben lubricarse, normalmente, con mortero y posteriormente, al término de la jornada, deben limpiarse, usualmente con una bola de goma que se hace circular por la tubería.

En lo posible hay que asegurar un abastecimiento continuo y una buena comunicación entre el operador de la bomba y la cuadrilla de colocación.

### 3.16.4 HORMIGÓN PROYECTADO (SHOTCRETE)

Es una mezcla de cemento, áridos, agua y aditivo acelerante ultra rápido, que se lanza neumáticamente a alta velocidad contra una superficie determinada para producir una masa densa y homogénea. Con esto se logra una alta compacidad cualquiera que sea la inclinación de la superficie.

Estas características lo hacen muy beneficioso en distintas aplicaciones como:

- Estructuras: Sostenimiento de túneles. Estanques, embalses y piscinas. Revestimientos de canales. Techos plegados o curvos.
- Reparación: Estructuras de muelles, puentes, túneles, silos.
- Consolidación y refuerzo: Entibación. Revestimiento de taludes y estructuras metálicas.

Se requiere de un equipo especial que consta de una cámara sometida a presión por aire comprimido; de ella sale un chorro continuo de hormigón a presión, a través de una manguera con boquilla especial o pitón. Hay dos métodos de aplicación.

1. Vía seca: el hormigón se fabrica sólo con la humedad de los áridos, la que se controla, usa aditivo acelerante en polvo y el agua necesaria la agrega el operador (pitonero) a la salida de la boquilla. Los equipos son más sencillos, más económicos, de menor rendimiento, producen mayor rechazo (hormigón que no se adhiere a la superficie), mayor desgaste de equipos de mezclado y requiere operadores de gran experiencia. La falta de agua permite transportar el hormigón a grandes distancias.
2. Vía húmeda: se emplea un hormigón fabricado en planta, en general premezclado, con las ventajas de control que ello acarrea: mucho mejor control, posibilidad de empleo de otros aditivos, adiciones o fibras. El aditivo acelerante líquido se agrega en la boquilla. Las resistencias alcanzadas son muy superiores a vía seca, menor rechazo, menor contaminación. La homogeneidad del hormigón permite que la operación se robotice (ver Figura 3.97). Los equipos son más caros, de mantención más compleja. Para distancias largas se requiere de aditivos especiales.

**FIGURA 3.97**  
SHOTCRETERA  
ROBOTIZADA



Fuente: Normet

En general los tamaños máximos empleados son 10 y 20 mm.

Para el control de calidad de shotcrete normal se hace mediante la extracción de testigos tomados desde paneles con el hormigón proyectado que se analiza (Figura 3.98). En casos especiales se realiza ensayos de penetración, a los minutos de colocado, y de arrancamiento a las horas de la proyección, ver Figura 3.99.

**FIGURA 3.98**  
PREPARACIÓN  
DE PANELES DE  
SHOTCRETE



Fuente: Propia

**FIGURA 3.99**  
CONTROL DE CALIDAD DE SHOTCRETE



Fuente: Propia

### 3.16.5 HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO

Hasta el proceso de mezclado de los componentes (cemento, áridos, agua, aditivos y adiciones) es un hormigón, pero en cuanto a transporte, colocación, compactación y control se trata como suelo y su característica más relevante es que se compacta mediante rodillos vibratorios.

Para que el hormigón sea capaz de soportar al rodillo vibratorio, de al menos 10 toneladas de peso estático, debe ser extremadamente seco. La trabajabilidad se controla mediante el consistómetro Vebe (ver 3.12 C3). El empleo de poca agua se traduce en que se necesita menos cemento para alcanzar la resistencia lo que, además de bajar los costos, disminuye el calor generado en la hidratación.

El uso principal es en grandes represas. Las tres más grandes centrales hidroeléctricas del país (Ralco, Pangue y Angostura) se realizaron con cemento de Polpaico usando esta tecnología en faenas continuas para evitar juntas. Ver Figura 3.100.

También se emplea en pavimentos de tránsito menor o como base de pavimentos de hormigón o de asfalto.

La vibración del hormigón tradicional es un proceso lento, lo que constituye una traba en la operación. Esta combinación hormigón-suelo hace que se pueda alcanzar muy altos rendimientos de construcción; para lograr esto se requiere un ritmo de abastecimiento de hormigón muy alto. El hormigón normalmente se fabrica con equipos de fabricación continua o batería de betoneras de grandes dimensiones. El transporte se realiza en camiones tolva, traíllas o cintas transportadoras; en terreno se esparce con bulldozer en represas o con tornillo en pavimentos, se compacta con rodillos vibratorios y en pavimentos se termina con rodillos neumáticos.

**FIGURA 3.100**  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA RALCO



Fuente: Consorcio Febrag

En terreno, el control consiste en determinar la densidad mediante densímetro nuclear, como se muestra en Figura 3.101. Usualmente en represas la exigencia es alcanzar una densidad del orden del 95 al 98% de la densidad teórica de la mezcla y en pavimentos, en general, la exigencia es 95% de la densidad máxima seca Proctor modificado.

**FIGURA 3.101**  
MEDICIÓN DE DENSIDAD EN CENTRAL RALCO



Fuente: Consorcio Febrag

### 3.16.6 HORMIGÓN MASIVO

En los procesos de hidratación del cemento se genera calor. En hormigones con gran superficie expuesta esto no es problema ya que el calor generado se disipa fácilmente.

Si la sección del hormigón es pequeña respecto al volumen, el calor desarrollado excederá la rapidez con que se pierde el calor, y la temperatura dentro del hormigón aumentará. El consecuente enfriamiento natural del hormigón hasta alcanzar la temperatura del medio ambiente induce a cambios volumétricos.

Si estos cambios volumétricos son restringidos interna o externamente, se generarán tensiones de tracción y habrá agrietamiento.

Los casos más importantes son:

- muros de contención restringidos en su parte inferior por la fundación
- estribos de puentes
- fundaciones masivas de máquinas con un alto grado interno de restricción
- grandes represas con restricción tanto en la fundación como interna

En el caso de hormigón masivo, la superficie se enfría más rápido que el núcleo generándose además tensiones diferenciales en la sección.

Para disminuir el riesgo, debe emplearse cementos con bajo calor de hidratación y en la menor cantidad posible compatible con la resistencia requerida, la que debe estudiarse detenidamente para disminuirla. Los cementos más finos desprenden más calor y favorecen el agrietamiento. Los aditivos aceleradores aumentan el problema. Los retardadores demorarán el proceso de hidratación, la generación de calor se hace más lenta pero probablemente no reducirán el total de calor generado. Se debe emplear el menor asentamiento posible compatible con la colocación; con eso la resistencia se puede conseguir con menos cemento.

El hormigón debe colocarse con la menor temperatura posible. Es recomendable seguir las recomendaciones indicadas para hormigonado en condiciones de alta evaporación de agua, ver 3.14.2.

Después de descimbrar el hormigón, éste no debe ser curado con agua mediante pulverizadores, puesto que esto disminuirá la temperatura de la superficie del hormigón. Para minimizar las diferencias de temperatura dentro de una misma sección de un hormigón masivo, usualmente se mantienen las superficies exteriores calientes mediante aislaciones.

En hormigones muy masivos tales como represas, la temperatura interna del hormigón debe mantenerse baja usando para ello tuberías de enfriamiento que se colocan en la superficie del hormigón, antes de colocar la nueva capa.

Se han desarrollado softwares, los que, con la geometría de la estructura, las características y dosis de cemento y el ritmo de las operaciones, pueden dibujar mapas de calor dentro de las estructuras. Esto permite predecir las posibles dificultades y, por ejemplo, disponer de armaduras que tomen las tracciones generadas.

### 3.16.7 HORMIGONADO BAJO AGUA

Los principales problemas de operación son la falta de visibilidad, el efecto de lavado que ejerce el agua sobre los finos, incluido el cemento, la casi nula compactación y las dificultades de control.

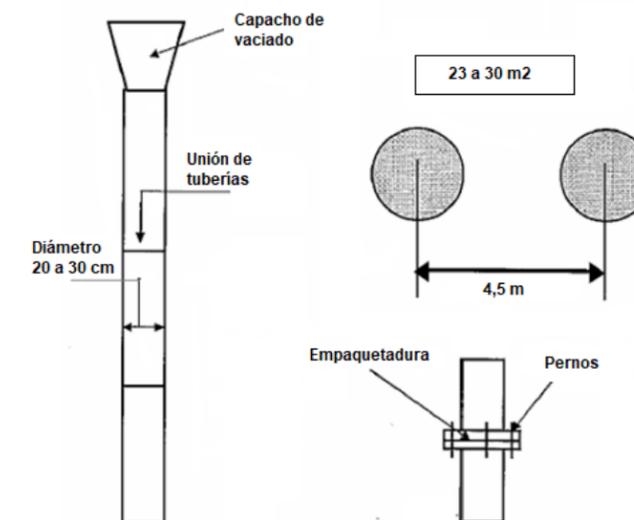
En cuanto a materiales y dosificación se tiene:

- Áridos: el tamaño máximo es 20 mm y si es densamente armado se debe bajar a 12,5 mm. Por la menor cantidad de huecos que dejan, son preferible los áridos rodados que los chancados.

- Cemento: Se emplean altas dosis, por lo que es recomendable el uso de cementos de bajo calor de hidratación. Dado el ataque al que va a estar expuesto, es conveniente el empleo de cementos de alta resistencia al ataque de sulfatos.
- Aditivos: Es recomendable el empleo de aditivos incorporadores de aire hasta estructuras de 15 m de altura. En general se emplean superplastificantes. La colocación es lenta, por lo que se debe usar retardantes. Es común la aplicación de aditivos antilavado y aditivos anticorrosión.
- Dosificación: Dado el efecto de lavado del agua, se debe emplear dosis de cemento mínima de 500 kg/m<sup>3</sup> o un 25% superior a la necesaria para obtener la resistencia requerida. El hormigón debe ser más arenoso que el hormigón tradicional, con un mínimo de 45% de árido fino. El hormigón debe ser fluido, con asentamiento mayor o igual a 18 cm o autocompactante.

Para colocarlo lo más empleado es la técnica del tubo Tremie (ver Figura 3.102). Son tubos de 20 a 30 cm de diámetro que se van uniendo mediante pernos y empaquetaduras para evitar filtraciones; están provistos con un embudo en la parte superior para recibir el hormigón el que, normalmente, es bombeado. Los tubos se disponen cada 4,5 m, aproximadamente. El tubo lleva un tapón y se llena de hormigón; después se va levantando el tubo, el que se mantiene siempre lleno y siempre embebido en el hormigón ya colocado. Otro sistema empleado es hormigón con áridos precolocados.

FIGURA 3.102  
TUBO TREMIE



Fuente: H. Zabaleta. "Tecnología de la construcción en hormigón"

### 3.16.8 HORMIGÓN CON ÁRIDOS PRECOLOCADOS

Es un hormigón producido colocando el agregado grueso en un molde y luego inyectando una lechada de cemento y arena, generalmente con aditivos, para llenar los huecos.

Se utiliza en elementos en que la compactación es difícil. Es particularmente útil para construcción bajo agua, colocación en áreas con refuerzos poco espaciados, reparaciones de hormigón y albañilería donde el reemplazo es para participar en la distribución de tensiones, hormigones pesados y, en general, donde se requiera hormigón con bajos cambios volumétricos. Ver Figura 3.103.

**FIGURA 3.103**  
ÁRIDOS  
PRECOLOCADOS



Fuente: ACI304.1R92 (2005)

Tiene mayor cantidad de árido grueso que el hormigón tradicional ya que las partículas tienen contacto directo. Los áridos pueden ser chancados o rodados, con tamaños máximo de 37,5 o 20 mm. Debe haber especial preocupación por lavar los gruesos. Las arenas son menos importantes y son similares a las del hormigón tradicional.

Es común el empleo de un aditivo fluidificante de mortero ya que elimina el agua de exudación que queda debajo de los áridos, fluidifica la lechada y tiene un agente expansor.

La resistencia a compresión, la bombeabilidad y la capacidad de llenar los vacíos limitan la cantidad de arena que se emplea en el mortero que se inyecta. Para tamaño máximo 12,5 mm la relación cemento:arena en peso normalmente es 1:1; con tamaño máximo 20 mm sube a 1:1,5 y con tamaño máximo 37,5 mm puede aumentarse a 1:3.

Para la preparación de la lechada se emplean los equipos que se describen en 6.6.3.

El sistema de colocación de la lechada más confiable consiste en una línea única desde la bomba a una tubería de inserción que se extiende hacia el agregado precolocado. Para proporcionar un flujo de lechada continuo mientras se cambia una conexión de una tubería a otra, se puede usar un accesorio en Y en las inmediaciones de los insertos.

La línea de alimentación debe tener un diámetro suficiente para mantener la velocidad de la lechada en el rango 0,6 a 1,2 m/s. Velocidades demasiado bajas pueden resultar en la segregación o endurecimiento de la lechada, y en bloqueo de la línea. Las velocidades que son demasiado altas

aumentan la presión de bombeo innecesariamente, aumentan el desgaste y desperdician energía.

Los insertos varían entre 20 a 40 mm de diámetro. Deben extenderse verticalmente hasta cerca de 150 mm de la parte inferior de los áridos previamente colocados o pueden extenderse horizontalmente a través del encofrado en diferentes elevaciones. Usualmente, el espaciado de los tubos de inyección varía de 1,5 a 1,8 m. Como guía conservadora para el diseño de tuberías, se puede suponer que la superficie de la lechada tendrá una pendiente de 1:4 en lugares secos y 1:6 bajo el agua.

### 3.16.9 HORMIGÓN CON FIBRAS

Al incorporar fibras a los hormigones y morteros se obtienen varios beneficios, entre los que se destaca: reducción de la fisuración por retracción, mayor resistencia del hormigón fisurado, menor fragilidad, mayor resistencia a flexión, tracción a los impactos (tenacidad) y a la fatiga. Con ellas puede haber mayor espaciado entre juntas y reducen la permeabilidad por la menor presencia de fisuras.

Hay que considerar que no reemplazan la armadura de refuerzo, no colaboran en la resistencia a compresión e incluso pueden disminuirla, disminuyen considerablemente el asentamiento de cono, por lo que es casi obligatorio el empleo de superplastificante, pueden aparecer en la superficie dificultando las operaciones de acabado.

Sus usos principales son en pisos industriales, en hormigón proyectado para túneles, muros de contención y estabilización de taludes. También en losas de aeropuertos y elementos prefabricados. Es común el empleo de fibras en tabiques prefabricados revestidos con mortero para disminuir la fisuración.

Hay básicamente 2 tipos de fibras, las de acero y las plásticas, normalmente de polipropileno. Ver Figura 3.104.

**FIGURA 3.104**  
TIPOS DE  
FIBRAS



Fuente: Sika. "Hormigón reforzado con fibras"

Las fibras de acero son estructurales, de acero normal o inoxidable, y son las adecuadas cuando las exigencias son altas. Normalmente son de 50 a 80 mm de largo y se utilizan en dosis que van de 40 a 80 kg/m<sup>3</sup>.

Las fibras plásticas estructurales se emplean principalmente para aumentar la resistencia al impacto y la resistencia después de la fisuración. Su mayor facilidad de operación es una ventaja frente a las fibras de acero, aunque sus prestaciones son menores. Son de aproximadamente 5 centímetros de largo, 2 mm de ancho y 0,19 mm de espesor. Se usan en dosis de alrededor de 1,2 a 1,4 kg/m<sup>3</sup>.

Otro tipo de fibras de polipropileno son las microfibras, de espesor despreciable con largo de 6 a 19 mm. Su objetivo es disminuir la fisuración, en particular de estucos o morteros de recubrimiento de paneles. Se emplean en dosis de 0,7 a 0,9 kg/m<sup>3</sup>. Su manejo debe ser cuidadoso ya que se pueden respirar o tragar.

### 3.16.10 HORMIGÓN AL VACÍO

Es un hormigón al que, una vez colocado y compactado, se le extrae parte del agua mediante bombas. Con esto se pretende utilizar las ventajas de un hormigón blando (fácil colocación y compactación) y eliminar las desventajas, bajando la razón agua-cemento del hormigón, aumentando las resistencias, en particular a corto plazo, disminuyendo la retracción y la tendencia a la fisuración. Se aplica principalmente a pavimentos y losas.

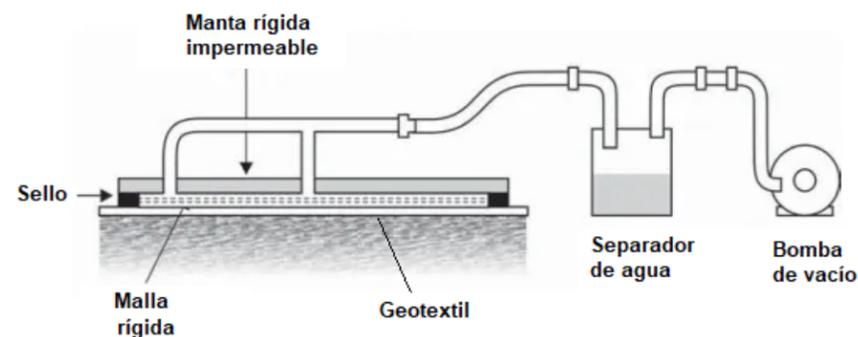
El sistema más común consiste en, una vez compactado el hormigón, extender un filtro tipo geotextil, sobre él una malla plástica y finalmente una manta que tiene las boquillas que se conectan a la bomba, como se muestra en Figura 3.105.

Con la succión se arrastran finos a la superficie, incluyendo cemento, con lo que queda una capa superficial más rica. Con esto se sella la superficie y no se obtiene mayores beneficios si se sigue succionando; en general el proceso de succión dura aproximadamente 20 minutos.

Lo recomendable es emplear un tamaño máximo de 20 mm.

La terminación es muy irregular, lo que obliga a acabado mecánico.

**FIGURA 3.105**  
HORMIGÓN AL VACÍO



Fuente: theconstructor.org

### 3.16.11 HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

Es un hormigón que en estado plástico puede fluir y consolidar por su propio peso, llenando completamente el moldaje, embebiendo las armaduras, aunque haya alta densidad de ellas, sin requerimiento de equipos vibratorios.

Mantiene su homogeneidad durante y después del transporte, distribución y colocación.

Posee baja probabilidad de segregación y exudación, a pesar de su fluidez. Ver Figura 3.106.

**FIGURA 3.106**  
HORMIGÓN  
AUTOCOMPACTANTE



Fuente: Propia

Entre sus características principales se destaca:

- Altas resistencias.
- Baja razón agua / cemento.
- Alta impermeabilidad.
- Alta durabilidad.
- Compactación propia.
- Excelente fluidez.
- Baja o nula segregación.

Con las características señaladas, sus principales usos son:

- Estructuras densamente armadas.
- Estructuras de geometría compleja.
- Hormigones masivos.
- Elementos vistos o arquitectónicos.

- Viviendas industrializadas.
- Obras de rápida colocación.
- Hormigonado bajo agua.
- Relleno en socavaciones.

Entre sus ventajas y desventajas se puede mencionar:

- Hormigonado más rápido y sencillo.
- Fácilmente bombeable.
- Relleno perfecto en elementos a hormigonar.
- Mejor acabado para hormigones a la vista.
- Menor contaminación acústica.
- Reducción de costos en equipos de compactación y su mantenimiento.
- Reducción de costos en mano de obra y faenas.
- Reducción de materiales y mano de obra para reparaciones post hormigonado.
- Menor esfuerzo de los operarios.
- Mayor costo de producto.
- Mayor costo por diseños de moldajes.
- Mayor costo mano de obra para instalación de moldajes apropiados.
- Mayor costo por capacitación de personal calificado.

Se requiere una gran cantidad de finos para mantener homogeneidad y sin segregación.

Muchas veces se emplea cemento para aumentar la cantidad de finos, por lo que es muy difícil obtener hormigón autocompactante con baja resistencia.

Se emplea bajo tamaño máximo: 19 – 12,5 – 10 mm.

Además del plastificante-retardador de uso habitual, se emplean otros dos aditivos: un hiperplastificante y un viscosante (a veces vienen juntos en uno). Se requiere personal calificado para la preparación de la dosificación y para la confección del hormigón; un mal manejo de los aditivos, en particular del hiperplastificante, puede llevar a la inutilización del producto.

En obra se controla mediante el escurrimiento de cono, descrito en 3.12.2 C2.

### 3.16.12. HORMIGÓN DRENANTE

El hormigón drenante, permeable o poroso, es diseñado para facilitar la evacuación de aguas directamente hacia terrenos naturales o encauzarlas a través de elementos prediseñados.

En el hormigón tradicional lo que se busca es lograr la máxima compacidad, lo contrario de lo que se persigue en el hormigón drenante.

Este tipo de hormigón es pobre en cantidades de áridos finos, incluso puede carecer de ellos, lo que lo hace más ligero al ser menos denso producto de su gran índice de vacíos que se generan en su creación, permitiendo así su permeabilidad. Ver Figura 3.107.

Entre sus aplicaciones principales se tiene:

- Drenajes longitudinales y laterales.
- Drenajes de aguas lluvias para viviendas y edificios.
- Drenajes de agua para ciclovías.
- Drenajes para vías de circulación peatonal.
- Drenajes de senderos para parques.

**FIGURA 3.107**  
HORMIGÓN  
DRENANTE



Fuente: Propia

Es un hormigón de fácil colocación, que se compacta con rodillos livianos o placas vibratoras usadas en suelos.

Mitiga considerablemente la formación de charcos, y como tiene superficie rugosa da mayor seguridad ante deslizamientos.

La idea general es que el agua pase la carpeta de hormigón y llegue a las capas inferiores por tanto estas capas, en particular la capa de apoyo del hormigón, también debe ser porosa; en caso contrario pierde sentido la aplicación.

Las resistencias son bajas dada la gran cantidad de huecos que contiene. La resistencia aumenta a medida que aumenta el contenido de finos, pero con eso disminuye la permeabilidad que es el objetivo principal.

Es preferible el empleo de áridos gruesos chancados que rodados, ya que tienen mayor cantidad de huecos.

Uno de los problemas principales es la obstrucción que se produce en los huecos del hormigón por efecto de los distintos contaminantes a los que está expuesto. Esto implica una mantención periódica.

### 3.16.13. HORMIGÓN PRE Y POSTENSADO

#### A) PRETENSADO

El hormigón pretensado es un sistema estructural en el cual se introducen esfuerzos internos de tal magnitud y distribución, que los esfuerzos resultantes de las cargas externas se equilibran hasta un grado deseado. Gracias a la combinación del hormigón y el acero traccionado es posible producir, en un elemento estructural, esfuerzos y deformaciones que contrarresten total o parcialmente a los producidos por las cargas gravitacionales que actúan en el elemento y también las cargas vivas, lográndose así diseños más eficientes.

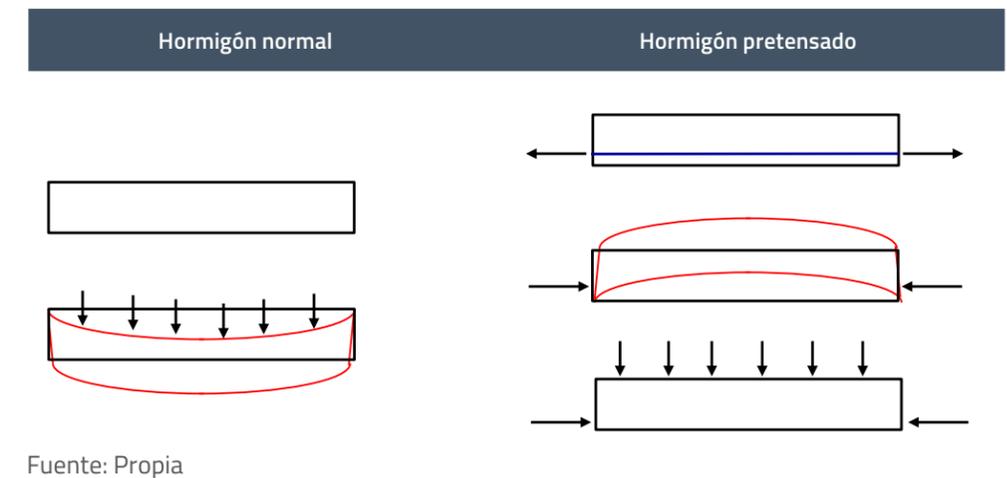
Básicamente, la técnica consiste en colocar, además de la armadura normal, cables de acero de pequeño diámetro, normalmente del orden de 4 mm, de alta resistencia y alta ductilidad. Estos cables tienen un anclaje pasivo por un lado y se tensan, dentro de su límite elástico, por el otro lado. El elemento se hormigona y compacta de la manera tradicional; cuando adquiere una resistencia adecuada, dada por cálculo, se cortan los cables. Estos tratan de volver a su dimensión original y como no pueden hacerlo, crean fuerzas de compresión en el hormigón. Es común el empleo de curado a vapor para acelerar el proceso y poder anticipar el corte de los cables; es recomendable el uso de la madurez para determinar la resistencia del hormigón. En una viga, la deforman, creando una contraflecha, como se ve en Figura 3.108.

Entre las aplicaciones más usuales están estructuras de puentes, pasos sobre nivel y elementos prefabricados estructurales en general como vigas, losas, muros, columnas, y otros.

Entre los beneficios del pretensado se destaca:

- Se tiene una mejoría del comportamiento bajo la carga de servicio por el control del agrietamiento y la deflexión.
- Mayor luz entre distintos apoyos de estructuras de hormigón.
- Materiales de alta resistencia y calidad.
- Aumenta su capacidad resistente y reduce las deformaciones.
- Elementos más eficientes y esbeltos, menos material (ahorro de acero, mayor espacio libre).
- El fabricar muchos elementos con las mismas dimensiones permite tener mayor rapidez.
- Terminación de alta calidad, hormigones impermeables, lo que incide en una mayor durabilidad de las estructuras.
- Docilidad del hormigón, de acuerdo a los requerimientos del proyecto.

FIGURA 3.108  
HORMIGÓN  
PRETENSADO



#### B) POSTENSADO

Los objetivos son los mismos que con el pretensado, es decir, tensionar el elemento antes de su puesta en obra.

En el postensado, se dejan ductos dentro de la estructura en la dirección que se fija por cálculo. En muchos elementos prefabricados estos ductos son parte de la estructura.

Se hormigona el elemento y, después, se hacen pasar barras por los ductos. Cuando el hormigón tiene suficiente resistencia, la que se puede determinar por medio de la madurez, se traccionan las barras, tensionando la estructura.

Se requiere piezas metálicas para anclar los torones de postensado en ambos extremos de la estructura. Normalmente las piezas quedan rehundidas en la estructura.

Los usos pueden ser los mismos que en el pretensado. Además, se emplea para postensar losas de pavimentos industriales, evitando juntas y eliminando fisuras. Otro uso común es la unión de elementos pretensados.

Los elementos postensados permiten salvar grandes luces, logrando vanos más largos, y permitiendo construir espacios con menos columnas.

Posee una alta reducción en deflexiones y control de vibraciones. Debido a la precompresión a la que es sometida el hormigón durante el proceso de postensado, se incrementa la rigidez del elemento. Así, toda la sección de hormigón trabaja de manera efectiva.

Ayudan a controlar y a contrarrestar la contracción y las fisuras por flexión. Así, se evita que el agua y agentes contaminantes ingresen por las fisuras y afecten la matriz del hormigón.

En muchas ocasiones las vainas o ductos de los cables de postensado se deben rellenar con una lechada de cemento para proteger a las barras de la corrosión y limitar el efecto de la relajación del acero. Para ello se deja vacío uno o más de los orificios de la pieza metálica de anclaje y se inyecta a presión. La lechada normalmente lleva un súperplastificante para disminuir la decantación. A veces se espesa con bentonita u otro fino.

## C) DIFERENCIAS

En el pretensado la adherencia es la encargada de transmitir las fuerzas del cable al hormigón, en el postensado se transmite mediante los anclajes.

En el postensado pueden obtenerse trayectorias parabólicas que permiten que la carga equivalente compense la acción del momento de flexión actuante exterior, manteniendo la totalidad de las secciones en el rango de tensiones admisibles.

En el pretensado la trayectoria del cable es siempre recta, lo que limita su uso en determinados rangos de luces, debido a las elevadas tensiones que se generan en las zonas cercanas a los apoyos.

En el pretensado la inversión inicial es más elevada, se requiere una cancha de pretensado, incluyendo macizos y anclajes. Los elementos postensados no requieren este tipo de inversión.

Los postensados necesitan insertos metálicos (piezas para tensar y conos de traba), los que necesitan protegerse contra la corrosión.

En el postensado los cables son más susceptibles a la corrosión.

## 3.17

# REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

### TEMAS TRATADOS

3.17.1 Generalidades

3.17.2 Pasos previos

3.17.3 Reparaciones

3.17.4 Inyección de fisuras

3.17.5 Refuerzo estructural

### 3.17.1 GENERALIDADES

El hormigón es uno de los materiales más nobles para obras de construcción y las edificaciones realizadas con este material que están bien proyectadas y construidas, en condiciones de uso y ambientes normales, permiten asegurar que responderán adecuadamente a la acción del tiempo. Es común esperar que las estructuras presten adecuadamente los servicios para los que fueron diseñadas por más de 50 años.

Sin embargo, un inadecuado diseño, fallas durante la construcción, mal uso y causas imprevistas, hacen que se puedan presentar daños o defectos que, frecuentemente, tienen origen en un exceso de porosidad del hormigón, bajo recubrimiento de la armadura, fisuras, entre otras patologías.

Este tipo de fallas, que se manifiestan en aspectos que vemos cotidianamente como: permeabilidad, oxidación de armaduras, desgaste prematuro, bajas resistencias mecánicas, fisuras y otros, que finalmente reducen la vida útil; hace necesario el evaluar las posibilidades de reconstituir, reparar o demoler las estructuras deterioradas.

Antes de materializar una protección o reparación de una estructura de hormigón, es recomendable y necesario conocer su estado, las causas que originaron su deterioro e, indudablemente, el costo que implicará dicha intervención, ya que esta evaluación puede determinar incluso la factibilidad de demoler.

Para que el hormigón sea capaz de mantener su funcionalidad durante su vida útil, es imprescindible llevar a efecto un programa de mantenimiento y reparación de los elementos. Fallas pequeñas, tales como fisuras o grietas, si no son reparadas, podrían llegar hasta comprometer la estabilidad de las estructuras por debilitamiento de la masa del hormigón y/o corrosión de las armaduras.

Periódicamente hay que realizar una inspección visual que sirve para obtener una orientación rápida sobre el estado general del hormigón, con respecto a daños que están a la vista. Del examen visual se registran magnitud y extensión de los daños. Esta inspección visual debiera considerar, a lo menos:

- Fisuras y grietas: Su localización, orientación, ancho y profundidad, sirven para determinar posibles causas de fallas.
- Manchas de óxido: Es una señal de corrosión de las armaduras
- Espesor de recubrimiento (si corresponde): En aquellas zonas donde la armadura oxidada ha destruido al hormigón, se puede medir con facilidad el espesor del recubrimiento, determinando si éste es adecuado o no para las condiciones imperantes
- Desgaste superficial: Falla típica de pisos industriales, originada por el tránsito de equipos y también por ataque químico. Su efecto se observa con una exposición de los áridos del hormigón en la superficie, los cuales se van desprendiendo a medida que el desgaste progresa, pudiendo llegar a comprometer espesores importantes
- Erosión por agentes químicos externos: Los agentes agresivos normalmente atacan al cemento produciendo una expansión que tiende a agrietar y finalmente a destruir al hormigón
- Eflorescencias: Depósito de sales en la superficie del hormigón. Deben ser eliminadas ya que su permanencia produce efectos nocivos
- Manchas de humedad (y/o filtraciones de agua): Las zonas más críticas son todos los sellos de pasadas de ductos, encuentros en general, como cubierta-muro, muros con puertas y ventanas y otros, traslapes y pendientes de elementos de la cubierta, sistemas de desagüe, pasadas de cañerías y otros

### 3.17.2 PASOS PREVIOS

Antes de proceder a proteger o reparar los defectos que se hayan producido en los elementos, es preciso conocer las causas que han originado su deterioro o falla y los factores que han influido en su propagación. Determinar además si las causas del daño están activas o no. Por ejemplo, una forma práctica de verificar si una fisura o grieta está en movimiento es colocando yeso en ésta y verificando si éste se fisura o no.

Si los daños son del tipo estructural, tal como insuficiencia de armadura, baja calidad del hormigón, daños por sobrecargas no previstas y otros, será necesario la evaluación por parte de un proyectista y la supervisión de los trabajos por profesionales calificados.

Identificado el problema se procede a la reparación. Para la reparación propiamente tal se deben considerar los siguientes aspectos:

#### A) PREPARACIÓN DE LA BASE

La efectividad de una reparación está íntimamente condicionada a una adecuada preparación de la base.

Esta deberá estar libre de polvo, partículas sueltas, grasas, aceite, membranas de curado u otras materias que impidan una buena adherencia y no deberá presentar bordes o esquinas del hormigón quebrados.

Su textura deberá ser rugosa, lo que se puede lograr con medios manuales o mecánicos, inclusive chorro de agua o arena. Asegurar una limpieza adecuada después de operaciones como esta.

Al momento de la aplicación de la reparación, la superficie debe estar húmeda si se utiliza productos con cemento; si se trata de productos poliméricos, muchas veces la superficie debe estar seca.

#### B) SELECCIÓN DEL SISTEMA DE REPARACIÓN

Las características más relevantes que se deben tener en cuenta para la selección del sistema de reparación son las siguientes:

- Espesor y área del material a aplicar.
- Resistencia mecánica requerida y temperatura máxima ambiental a que va a exponerse.
- Agresividad química a que ha de someterse.
- Condiciones de temperatura y humedad, tanto ambiental como de la base, durante el proceso de reparación.
- Tiempo disponible para que la reparación pueda llevarse a cabo. (Tiempo de puesta en servicio).
- Costo de los diferentes sistemas de reparación.

La reparación de fisuras y grietas se realiza normalmente con inyecciones de productos de origen epóxico o lechadas de cemento.

Para recuperar el volumen de hormigón se debe tener en cuenta que se debe usar materiales de una calidad igual o superior a la del hormigón base o primitivo. Se puede optar básicamente por tres tipos de morteros de reparación:

- Morteros hidráulicos (morteros de cemento)
- Morteros hidráulicos poliméricos (morteros de cemento modificados con resinas): Mayor adherencia sobre la superficie a reparar, menor permeabilidad al agua y CO<sub>2</sub> y mayor resistencia a la tracción y flexotracción
- Morteros epóxicos: Bajos espesores de aplicación, elevadas resistencias mecánicas, resistencia a la mayoría de los agentes químicos externos, gran impermeabilidad, muy rápida puesta en servicio, mayor adherencia, mayor durabilidad y mayor costo directo a corto plazo

#### C) COLOCACIÓN DE LOS PRODUCTOS DE REPARACIÓN

La colocación de los productos de reparación debe realizarse estrictamente de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes y/o a las recomendaciones que la tecnología del hormigón indica.

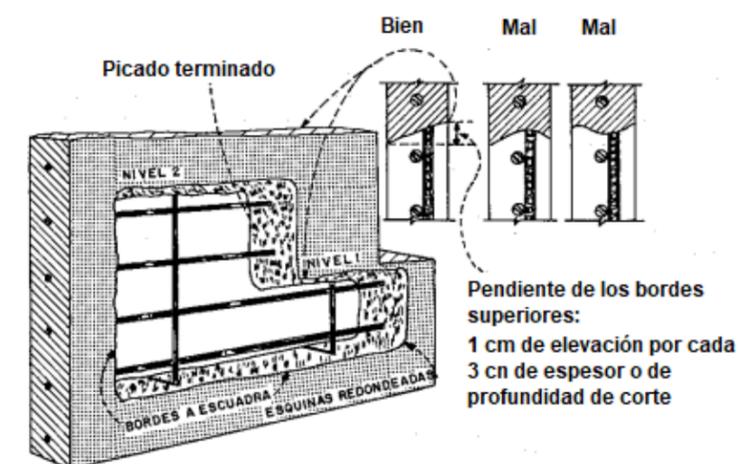
### 3.17.3 REPARACIONES

Los pasos recomendados para hacer la reparación son los siguientes:

- Retirar todo material dañado, procurando no dejar elementos sueltos y polvo que impidan una buena adherencia. Se debe llegar a dejar las armaduras descubiertas.
- Limpiar las barras de acero, quitando las lechadas y otros elementos adheridos sobre su superficie.
- Dejar la superficie de hormigón, en lo posible, con una forma regular, con esquinas redondeadas. Ver Figura 3.109.
- Aplicar un puente de adherencia epóxico, que tenga un pot life (tiempo de trabajabilidad para el tratamiento) suficiente, que permita colocar el moldaje cuando fuese necesario y colocar el mortero, hormigón o producto de reparación.
- Colocar cuando es necesario, un moldaje estanco. En caso de superficie vertical dejar, sobre el nivel de reparación, unos 10 a 20 cm, de modo que el mortero rellene toda la superficie a reparar. Posteriormente, el exceso de material debe ser removido. Ver Figura 3.110.
- Aplicar el mortero de reparación, el cual debe tener una resistencia igual o superior a la del hormigón a reparar. Para ello existe una serie de productos preparados, de base cementicia o epóxica, los cuales poseen altas resistencias iniciales y finales y no deben tener retracción. Es común el empleo de aditivos expansores cuando la reparación se realiza con mortero u hormigón.
- Hay en el mercado morteros y hormigones de reparación de altas prestaciones.
- Procurar una adecuada compactación, haciendo que el producto rellene todas las cavidades y salga el aire de la mezcla.
- Curar la reparación humedeciéndola periódicamente y protegiéndola del viento, lluvia, vibraciones y temperaturas extremas.
- Finalmente, desbastar los excesos sobre la superficie, caso del hombro en reparaciones verticales, y colocar en servicio una vez que se alcance la resistencia necesaria especificada por el fabricante del producto o la indicación del proyectista.

FIGURA 3.109

PICADO DEL HORMIGÓN



Fuente: Manual de inspección ACI

En elemento de grandes dimensiones, como un estribo de puente, después de desbastar llegando hasta las armaduras, las que deben quedar libres, muchas veces se aplica hormigón proyectado para recuperar la estructura.

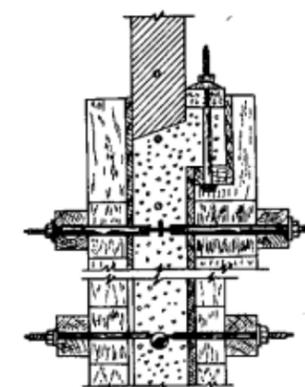
### 3.17.4 INYECCIÓN DE FISURAS

La aparición de fisuras en las estructuras de hormigón puede ser motivada por varios factores, incluyendo un inadecuado diseño, proceso constructivo o protección. Este tipo de fallas se presenta cuando, por diferentes motivos, es superada la resistencia a tracción del hormigón.

La presencia de este tipo de fallas, en muchos casos no pasa de tener sólo una importancia estética, pero en otros, compromete el monolitismo de la estructura, o son la vía para la entrada de líquidos o el avance de la carbonatación, los que en muchos casos, son el comienzo del proceso de corrosión de las armaduras.

FIGURA 3.110

MOLDAJE DE REPARACIÓN



Fuente: Manual de inspección ACI

Cuando estas fisuras son sólo estéticas, muchas veces es recomendable sólo la aplicación de lechadas o morteros cementicios que la cubran y la sellen. En otros, cuando se compromete el monolitismo, es recomendable el tratamiento mediante inyección epóxica o de lechadas de cemento, por gravedad o presión.

En tratamientos sobre piso puede utilizarse alternativamente inyección por gravedad o por presión; en el resto, vertical o sobrecabeza, sólo puede ser utilizado el tratamiento a presión. La reparación de nidos de piedra también se realiza mediante la inyección por presión de lechadas de cemento.

A continuación, se presenta, como ejemplo, el tratamiento de fisuras sobre pavimentos de hormigón utilizando los métodos por gravedad y presión.

### A) POR GRAVEDAD

En el caso de pavimentos, antes de comenzar el tratamiento de inyección, se recomienda repasar, con sierra diamantada o esmeril, todos los cortes de las juntas adyacentes a la fisura, evitando la penetración de partículas o polvo en la grieta. Es conveniente emplear aire comprimido para limpiar.

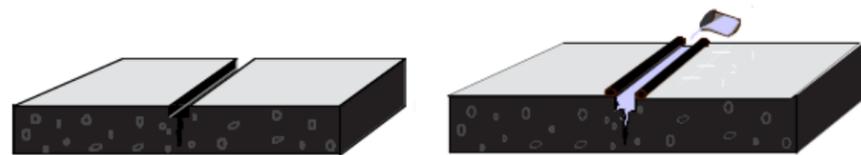
Abrir la grieta formando una pequeña canal a lo largo de la fisura, limpiar con aire comprimido y colocar un cordón de masilla a ambos lados. Esto se realiza para evitar derrames de la lechada hacia los costados de la fisura.

Si es con lechada de cemento la superficie debe estar húmeda y si es con resina debe estar seca.

Si se aplica resina definir tramos de 6 a 15 cm de longitud.

Preparar la lechada, siguiendo las recomendaciones que se detallan en el Capítulo 6, punto 6.6, y verterla. Si es lechada epóxica hacerla por tramos alternados para permitir que escape el aire. Ver Figura 3.111.

**FIGURA 3.111**  
INYECCIÓN POR GRAVEDAD



Fuente: Propia

### B) POR PRESIÓN

Limpiar la grieta con aire comprimido para asegurar una buena adherencia.

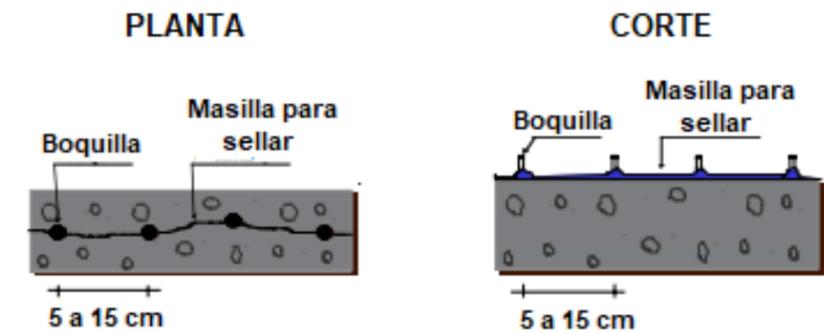
Sellar la grieta en todo su largo con una masilla. Colocar boquillas de inyección cada 6 a 16 cm de distancia, adheridas con pegamento, como se muestra en Figura 3.112.

Una vez que los materiales de los tratamientos mencionados hayan endurecido, se puede

comenzar el proceso de inyección por la primera boquilla a una presión moderada, hasta que el líquido de inyección comience a salir por la segunda boquilla. En este momento tapan la primera y continuar inyectando desde la segunda y así, sucesivamente, hasta completar todo el proceso.

Finalmente, desbastar los excesos sobre la superficie y colocar en servicio una vez que se alcance la resistencia necesaria, especificada por el fabricante del producto o la indicación del proyectista.

**FIGURA 3.112**  
INYECCIÓN POR PRESIÓN



Fuente: Propia

### 3.17.5 REFUERZO ESTRUCTURAL

Muchas veces es necesario recurrir a un reforzamiento de las estructuras. Por ejemplo, por cambio de uso, para aumentar la capacidad de puentes, daños producidos por corrosión, sismos u otros. También limitar la vibración de losas, o fallas de diseño como armadura insuficiente o espesor insuficiente; se puede dar el caso de necesidades de operación como eliminación de muros o columnas, remoción de secciones de losas y muros para materializar pasadas, entre otros.

Lo más empleado en el reforzamiento de losas y vigas son las láminas de fibra de carbono, de elevada resistencia y durabilidad. Son de bajo espesor y de largo, ilimitado lo que elimina las juntas.

Los anchos más comunes de las láminas son de 50 a 150 mm, con espesores de 1,2 a 1,4 mm. Lo más empleado es la lámina de 50\*1,2 mm. En general se expenden en rollos.

El hormigón debe ser preparado y limpiado hasta alcanzar una superficie de textura abierta y libre de lechada y contaminación. Debe verificarse la resistencia a la tracción directa de la superficie ya tratada (pull out), la que debe ser como mínimo 1,5 MPa, con un promedio de 2 MPa.

El hormigón debe tener generalmente a lo menos 28 días de edad (dependiendo de las condiciones de curado y el tipo de hormigón, etc.).

La lámina se corta a la longitud requerida con sierra diamantada o sierra para metal. Se le aplica un adhesivo epóxico y se adhiere a la superficie inferior de la losa. La instalación debe ser realizada por personal especializado. De acuerdo a cálculo, ocasionalmente la losa se levanta mediante gatos antes de colocar la lámina de fibra de carbono.

La lámina debe protegerse de la luz del sol, por lo que después de colocada se recubre con un estuco o similar. Su bajo espesor facilita las operaciones.

Para columnas, pilares y muros el refuerzo se puede realizar con mallas de fibra de carbono, aumentando la resistencia y ductilidad. También se emplea en muros de albañilería para mejorar el comportamiento sísmico.

Es un tejido flexible que se adapta a diferentes geometrías, lo que facilita su colocación.

El sustrato de hormigón debe estar sano, seco, limpio y libre de lechada, hielo, acumulación de agua, grasa, aceite y cualquier partícula no adherida. El hormigón debe limpiarse y prepararse para lograr una superficie libre de contaminación y textura libre de contaminantes. Debe tener una resistencia a tracción directa mínima de 1 MPa.

El tejido es fácil de cortar en las dimensiones que se requiera y se adhieren mediante epoxi. El sustrato puede estar seco o húmedo.



# 4.

## EL ACERO

- 4.1 Barras para hormigón armado
- 4.2 Acero estructural



## 4.1

### BARRAS PARA HORMIGÓN ARMADO

*El propósito de este apartado es entregar los antecedentes más relevantes de uso práctico del acero para hormigón.*

TEMAS TRATADOS	4.1.1. Características generales
	4.1.2. Manejo en obra
	4.1.3. Recomendaciones de colocación
	4.1.4. Barras especiales

#### 4.1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

##### A) NORMAS CORRESPONDIENTES

En el hormigón armado, las barras lisas y con resaltes deben cumplir con la norma NCh204 "Acero - Barras laminadas en caliente para hormigón armado". Los ensayos correspondientes se realizan según NCh200 "Productos metálicos - Ensayo de tracción" y NCh201 "Acero - Ensayo de doblado de planchas de espesor superior o igual a 3 mm, barras y perfiles".

##### B) CLASIFICACIÓN

La norma NCh204 clasifica el acero en cuatro grados de resistencia, que se designan como sigue:

- A440-280H
- A630-420H
- A700-520H
- A730-550H

La "A" indica acero al carbono y la "H" es que se trata de acero para hormigón armado.

El primer número es el límite de fluencia mínimo en MPa y el segundo número, la resistencia a la tracción mínima en MPa.

Adicionalmente las barras se clasifican según su diámetro o si son lisas o con resaltes.

Las barras lisas son barras cuya sección transversal es circular y uniforme en todo su largo y que se caracteriza por sus valores de diámetro y sección, que son coincidentes con los valores nominales respectivos.

Las barras con resaltes son barras cuya sección transversal es circular no uniforme debido a la presencia de nervios perpendiculares o inclinados con respecto a su eje y que se caracteriza mediante los valores de su diámetro nominal y su sección nominal.

##### C) DIÁMETROS NOMINALES, SECCIONES, MASAS NOMINALES

En Tabla 4.1 se presenta la sección, perímetro y masa nominales de las barras según su diámetro.

**TABLA 4.1**  
BARRAS PARA HORMIGÓN  
ARMADO

Diámetro nominal, Dn (mm)	Sección nominal, Sn (mm <sup>2</sup> )	Perímetro nominal, Pn (mm)	Masa nominal, Mn (kg/m)
6	28,3	18,9	0,222
8	50,3	25,1	0,395
10	78,5	31,4	0,617
12	113	37,7	0,888
14	154	44,0	1,21
16	201	50,3	1,58
18	254	56,5	2,00
20	314	62,8	2,47
22	380	69,1	2,98
25	491	78,5	3,85
28	615	88,0	4,83
32	804	101	6,31
36	1017	113	7,99
40	1256	126	9,87
50	1963	157	14,4
60	2826	188	22,2
Diámetro nominal, Dn (mm) = 12,73* raíz (Mn)			
Sección nominal, Sn (mm <sup>2</sup> ) = 0,785*Dn <sup>2</sup> (Dn en mm)			
Perímetro nominal, Pn (mm) = 3,1416*Dn (Dn en mm)			
Masa nominal, Mn (kg/m) = 0,00785*Sn (Sn en mm <sup>2</sup> )			
NOTA: Para barras lisas sólo diámetro 6 mm			

Fuente: NCh 204-2020

##### D) REQUISITOS MECÁNICOS

Las barras se someten a ensayos de tracción y doblado. En Tabla 4.2 se muestra los requisitos del ensayo de tracción, el que se realiza utilizando un trozo de barra con una longitud inicial de 200 mm.

El ensayo de doblado se realiza a 90° y no se permite grietas en la zona sometida a tracción. Los diámetros de doblado están en Tabla 4.5.

**TABLA 4.2**  
REQUISITOS  
MECÁNICOS

Característica	A440-280H	A630-420H	A700-520H	A730-550H
Tensión de fluencia $F_y$ , MPa	280 mín.	420 mín. 580 máx.	520 mín. 645 máx.	550 mín. 675 máx.
Resistencia a la tracción $F_u$ , MPa	440 mín.	630 mín.	700 mín.	730 mín.
Relación $F_u/F_y$ mínimo	1,25	1,25	1,25	1,25
Alargamiento mínimo, % (LO 200 mm)	16	7000/ $F_u-K$	7500/ $F_u-K$	8100/ $F_u-K$

K es un factor que depende del diámetro nominal de la barra. Para los aceros A630-420H, A700-520H y A730-550H el alargamiento mínimo es 8%.

Fuente: NCh 204-2020

## E) FORMAS DE ENTREGA

En Tabla 4.3 se presenta las formas de entrega de un fabricante nacional.

**TABLA 4.3**  
FORMAS DE ENTREGA

Diámetro barras (mm)	Rollos		Barras rectas
	Peso aproximado, kg	Largo aproximado, m	Largos disponibles, m
8	1 500	3797	6-7-8-9-10-11-12
10	1 500	2431	6-7-8-9-10-11-12
12	1 500	1689	6-7-8-9-10-11-12
16	1 500 *	949	6-7-8-9-10-11-12
18			6-7-8-9-10-11-12 *
22			6-7-8-9-10-11-12 *
25			6-7-8-9-10-11-12 *
28			6-7-8-9-10-11-12 *
32			6-7-8-9-10-11-12 *
36			6-7-8-9-10-11-12 *
40 **			12 *

Fuente: Aza.cl

### OBSERVACIONES A TABLA 4.2

Hay proveedores que tienen rollos de 500 a 1000 kg.

(\*) Disponibles sólo en A630

(\*\*) Disponible sólo a pedido

## 4.1.2. MANEJO EN OBRA

Las armaduras deben colocarse estrictamente de acuerdo con lo especificado en los planos.

### A) ALMACENAMIENTO

Las barras deben almacenarse sobre superficies planas, niveladas, provistas de drenajes adecuados y separadas del suelo.

Su almacenamiento debe hacerse con las barras separadas por diámetros y grados (si están cortadas y dobladas según planos, deben identificarse adecuadamente). La calidad de las barras con resalte, su diámetro y la identificación del fabricante se indican mediante marcas sobre relieve que se repiten a lo largo de las barras a distancias no superiores a 2 m.

En Tabla 4.4 se muestra la identificación exigida por la norma NCh 204.

**TABLA 4.4**  
MARCAS SOBRE RELIEVE  
DE LAS BARRAS

Grado de acero	Marcas
A440-280H	A440
A630-420H	A630
A700-520H	A700
A730-550H	A730

Fuente: NCh 204-2020

### B) DOBLADO

- El doblado de las barras debe hacerse en lo posible a temperatura ambiente y sobre 0 grados.
- Es conveniente que la velocidad de dobladura sea lenta, especialmente en tiempo frío, particularmente en las barras A630-420H.
- No se debe trabajar en base a golpes o movimientos bruscos.
- Es conveniente usar un mandril (pivote) de diámetro "D", no inferior al especificado en la NCh204 para el «Ensayo de doblado» que se efectúa en laboratorio; este diámetro "D" depende del diámetro de la barra "dn" y del grado del acero. Los diámetros de doblado de dicha norma se indican en Tabla 4.5.

**TABLA 4.5**  
DIÁMETRO DE  
DOBLADO DE BARRAS

Diámetro nominal dn, mm	Barras con resaltes, doblado a 90°			
	A440-280H	A630-420H	A700-520H	A730-550H
Hasta 18	D = 3 dn	D = 4 dn	D = 4 dn	D = 4 dn
18 a 25	D = 4 dn	D = 5 dn	D = 5 dn	D = 5 dn
Sobre 25	D = 5 dn	D = 6 dn	D = 6 dn	D = 6 dn
D = diámetro del cilindro o mandril de doblado				
Las barras lisas se doblan en 180° y el diámetro de doblado es D = 2 dn				

Fuente: NCh 204-2020

### 4.1.3 RECOMENDACIONES DE COLOCACIÓN

#### A) GENERALIDADES

Las armaduras deben colocarse limpias, sin manchas de aceite, grasas, tierra y óxido suelto. En caso de requerirse limpieza se puede realizar con una escobilla de acero y tanto el aceite o grasa se pueden eliminar con detergente y un enjuague con bastante agua.

Periódicamente debe controlarse el banco de doblado para verificar que se cumpla lo indicado en 4.1.2 B.

Referencia colocación de armaduras. Capítulo 3, pto. 3.7.1., Hormigonado - Preparación previa a la colocación.

Para mantener la separación de las barras antes del hormigonado se utilizan amarras, generalmente hechas de alambre negro N° 18. El rendimiento aproximado de éste es de 7 kg por tonelada de acero.

Antes de ser colocadas, debe verificarse que la forma y la calidad de las barras de acero están de acuerdo con lo exigido en los planos.

Para mantener la separación de las barras con el moldaje, asegurar el recubrimiento especificado en los planos y mantener la posición de las armaduras se utilizan separadores, de mortero («calugas») o de plástico.

La soldabilidad de las barras no es garantizada por la norma NCh202, y es conveniente evitarla. Hay barras especiales que son soldables (Ver 4.1.4 A).

#### B) UBICACIÓN DE LAS BARRAS

Las barras se deben instalar dentro de los elementos de hormigón cumpliendo las dos condiciones generales siguientes:

- B.1 Suficientemente lejos de las caras de la pieza para asegurar la existencia de una capa de hormigón que proporcione una buena adherencia y proteja la armadura de la corrosión y del eventual efecto del fuego.
- B.2 Suficientemente separadas entre sí para permitir un hormigonado fácil y un vibrado completo

##### B.1 Recubrimientos mínimos

La primera de las condiciones anteriores se cumple respetando los recubrimientos mínimos. Estos recubrimientos dependen de las condiciones de exposición a las que va a estar expuesto el hormigón, del elemento de que se trata y, muchas veces, del tipo y diámetro de la armadura que se quiere proteger.

En Tabla 4.6 se muestran los recubrimientos mínimos para hormigón no preesforzado construido en sitio.

**TABLA 4.6**  
RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS.  
HORMIGÓN NO PREESFORZADO

Exposición del hormigón	Miembro	Refuerzo	Recubrimiento especificado, mm
Construido contra el terreno y permanentemente en contacto con él	Todos	Todos	75
Expuesto a la intemperie o en contacto con el terreno	Todos	Barras diámetro > 16 mm	50
		Barras diámetro ≤ 16 mm	40
No expuesto a la intemperie ni en contacto con el terreno	Losas, viguetas y muros	Barras diámetro > 40 mm	40
		Barras diámetro ≤ 36 mm	20
	Vigas, columnas, pedestales y amarres a tracción	Armadura principal, estribos, espirales y estribos cerrados para confinamiento	40

Fuente: ACI 318-2019

Para hormigón preesforzado (por ejemplo, pretensado) construido en sitio, los recubrimientos se muestran en Tabla 4.7.

**TABLA 4.7**  
RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS.  
HORMIGÓN PREESFORZADO  
CONSTRUIDO EN SITIO

Exposición del hormigón	Miembro	Refuerzo	Recubrimiento especificado, mm
Construido contra el terreno y permanentemente en contacto con él	Todos	Todos	75
Expuesto a la intemperie o en contacto con el terreno	Losas, viguetas y muros	Todos	25
	Todos los demás	Todos	40
No expuesto a la intemperie ni en contacto con el terreno	Vigas, columnas y amarres a tracción	Refuerzo principal	40
		Estribos, espirales y estribos cerrados de confinamiento	25

Fuente: ACI 318-2019

Para hormigón prefabricado preesforzado o no preesforzado los requisitos de recubrimientos se presentan en Tabla 4.8.

**TABLA 4.8**  
RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS.  
HORMIGÓN PREFABRICADO

Exposición del hormigón	Miembro	Refuerzo	Recubrimiento especificado, mm
Expuesto a la intemperie o en contacto con el suelo	Muros	Barras, tendones $\phi > 40$ mm	40
		Barras $\phi \leq 36$ mm, tendones y torones $\phi \leq 40$ mm	20
	Todos los demás	Barras y tendones $\phi > 40$ mm	50
		Barras $\phi$ 19 a 36 mm, tendones $\phi > 40$ mm	40
		Barras, tendones y torones $\phi \leq 16$ mm	30
No expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo	Losas, viguetas y muros	Barras, tendones $\phi > 40$ mm	30
		Tendones y torones $\phi \leq 40$ mm	20
		Barras $\phi \leq 36$ mm	16
	Vigas, columnas, pedestales, y amarres y tensores a tracción	Refuerzo principal	El mayor diámetro de la barra, con un mínimo de 16 mm y no necesita ser $> 40$ mm
		Estribos, espirales y estribos cerrados de confinamiento	10

Fuente: ACI 318-2019

Por último, para miembros de cimentaciones profundas el ACI 318-2019 especifica los recubrimientos mínimos que se indican en Tabla 4.9.

**TABLA 4.9**  
RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS PARA MIEMBROS DE CIMENTACIONES PROFUNDAS

Exposición del hormigón	Tipo de miembro de cimentación profunda	Refuerzo	Recubrimiento especificado, mm
Construido contra y en contacto permanente con el terreno, no rodeado por tubo de acero, sin camisa metálica permanente, ni en perfil de roca estable	Construido en sitio	Construido en sitio	75
	Rodeado por tubo de acero, con camisa permanente, o en perfil de roca estable	Construido en sitio	40
Permanente en contacto con el terreno	Prefabricado no preesforzado	Todos	40
	Prefabricado preesforzado		
Expuesto a agua marina	Prefabricado no preesforzado	Todos	60
	Prefabricado preesforzado	Todos	50

Fuente: ACI 318-2019

## B.2 Separación de las barras

La separación de las barras tiene por objeto permitir un adecuado flujo y una buena penetración del hormigón dentro de los espacios comprendidos entre las barras o entre las barras y el encofrado sin crear nidos.

Además, el espaciamiento deber ser tal que permita el correcto vibrado del hormigón.

El Manual Detallamiento Hormigón Armado, del ICH, indica:

La distancia mínima entre barras debe ser mayor o igual al diámetro de la barra y, en todo caso, no inferior a 25 mm.

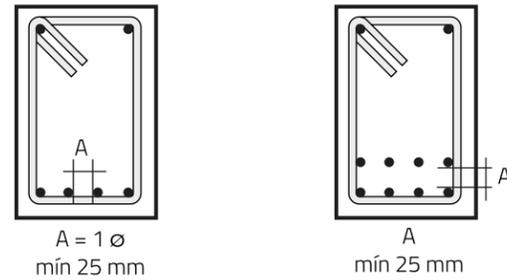
En elemento sometidos a compresión, el espaciamiento mínimo es 1,5 veces el diámetro de la barra y, en todo caso, no inferior a 40 mm.

Cuando el refuerzo se coloque en dos o más capas, las barras de las capas superiores deben colocarse exactamente sobre las barras de las capas inferiores con una distancia libre entre capas no inferior a 25 mm.

En muros y losas, la separación de las barras de refuerzo principal por flexión no debe ser mayor a 3 veces el espesor de muro o losa y, en todo caso, no superior a 450 mm.

En Figura 4.1 se muestra un detalle de espaciamento.

**FIGURA 4.1**  
SEPARACIÓN DE LAS BARRAS



Hay que considerar que el espaciamento de las barras muchas veces determina el tamaño máximo del árido a emplear en el hormigón. La norma NCh 170 especifica que el tamaño máximo, entre otros requisitos, debe ser inferior a  $\frac{3}{4}$  de la distancia libre entre armaduras.

## C) ANCLAJES, GANCHOS Y EMPALMES

### C1) Anclajes

Los refuerzos deben estar debidamente anclados en sus extremos. Esto se obtiene prolongando la armadura en un largo que se denomina longitud de desarrollo.

Las longitudes de desarrollo (anclajes) que se presentan en este acápite fueron calculadas siguiendo las pautas del ACI 318 y resuelven sólo casos simples. En Tabla 4.10 y Tabla 4.11 se presenta las longitudes de desarrollo en tracción y en compresión, respectivamente.

**TABLA 4.10**  
LONGITUD DE DESARROLLO  
(ANCLAJE) EN TRACCIÓN, LD.

Tipo	f'c	Número de diámetros de barra (db)			
		Diámetro ≥ 22 mm		Diámetro ≤ 19 mm	
		A440-280H	A630-420H	A440-280H	A630-420H
Caso A	20	37	55	30	45
	25	33	49	27	40
	30	30	45	24	37
	35	28	42	23	34
	40	26	39	21	32
Caso B	45	25	37	20	30
	50	23	35	19	28
	20	57	85	45	67
	25	51	76	40	60
	30	46	70	37	55
Caso B	35	43	65	34	51
	40	40	60	32	47
	45	38	57	30	45
	50	36	54	28	42

La longitud mínima es de 300 mm

Caso A: espaciamento entre barras que se están desarrollando o empalmando ≥ db, recubrimiento libre ≥ db, con al menos los estribos mínimos o espaciamento ≥ 2b y recubrimiento libre ≥ db

Caso B: los otros casos

Si el refuerzo termina en gancho estándar, ver C2

Fuente: calculado en base a ACI318-2019

**TABLA 4.11**  
LONGITUD DE  
DESARROLLO (ANCLAJE)  
EN COMPRESIÓN, LDC.

f'c	Número de diámetros de barra (mínimo 200 mm)	
	A440-280H	A630-420H
20	15	23
25	13	20
30	12	18
35	12	18
40	12	18
45	12	18
50	12	18

La longitud mínima es 200 mm

Fuente: calculado en base a ACI318-2019

## C2) Ganchos estándar

Las longitudes de anclaje indicadas en Tablas 4.10 y 4.11 se pueden reducir considerablemente, terminando la barra en forma de gancho. Las características de los ganchos estándar para barras en tracción que propone ACI 318 se muestran en Tabla 4.12.

Los ganchos no se deben emplear para desarrollar barras en compresión.

Para estribos y estribos cerrados de confinamiento, las características de los ganchos estándar se presentan en Tabla 4.13.

**TABLA 4.12**  
GANCHO ESTÁNDAR PARA BARRAS EN TRACCIÓN

Tipo de gancho estándar	Diámetro de la barra, db	Diámetro de doblado, D	Extensión recta, l <sub>ext</sub> , mm	Caracterización
Gancho de 90 grados	10 a 25 mm	6 db	12 db	
	> 25 mm	8 db		
Gancho de 180 grados	10 a 25 mm	6 db	Lo mayor entre 4 db y 65 mm	
	> 25 mm	8 db		

db = diámetro de la barra  
l<sub>dh</sub> = longitud de desarrollo de ganchos en tracción: lo mayor entre 8 db y 150 mm

Fuente: ACI318-2019

**TABLA 4.13**  
GANCHO ESTÁNDAR PARA ESTRIBOS Y ESTRIBOS CERRADOS DE CONFINAMIENTO

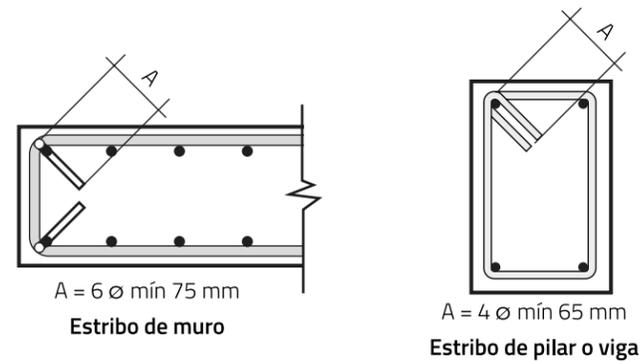
Tipo de gancho estándar	Diámetro de la barra, db	Diámetro de doblado, D	Extensión recta, l <sub>ext</sub> , mm	Caracterización
Gancho de 90 grados	10 a 16 mm	4 db	Lo mayor de 6 db y 75 mm	
	19 a 25 mm	6 db	12 db	
Gancho de 135 grados	10 a 16 mm	4 db	Lo mayor de 6 db y 75 mm	
	19 a 25 mm	6 db		
Gancho de 180 grados	10 a 16 mm	4 db	Lo mayor de 4 db y 65 mm	
	19 a 25 mm	6 db		

Se permite usar una extensión recta más larga en el extremo del gancho. No se considera que esta extensión aumente la resistencia de anclaje del gancho

Fuente: ACI318-2019

En Figura 4.2 se presenta ejemplos de ganchos estándar para estribos.

**FIGURA 4.2**  
GANCHOS PARA ESTRIBOS



### C3) Empalmes

Las armaduras se pueden empalmar por simple traslape de las barras. Los empalmes por traslapes deben ubicarse preferentemente en zonas comprimidas del hormigón.

En Tabla 4.14 se muestra los largos de traslape para barras traccionadas.

Para la longitud de empalme en compresión ( $l_{sc}$ ) se toma lo mayor entre 300 mm y 20 diámetros para A440-280H y 30 diámetros para A630-420H. Si  $f'_c$  es menor a 21 MPa, la longitud se aumenta en un tercio.

**TABLA 4.14**  
LONGITUD DE EMPALME EN TRACCIÓN (LST)

As colocado/ As requerido en la longitud de empalme	% máximo de As empalmado dentro de la longitud de traslape requerida	Tipo de empalme	Longitud de empalme $l_{st}$	
≥ 2,0	50	Clase A	Lo mayor de	1,0 $l_d$ o
				300 mm
< 2,0	Todos los casos	Clase B	Lo mayor de	1,3 $l_d$ o
				300 mm
As: área del refuerzo longitudinal en mm <sup>2</sup>				
ld: longitud de desarrollo en tracción				

Fuente: ACI318-2019

## 4.1.4. BARRAS ESPECIALES

### A) BARRAS SOLDABLES

Las barras normales no se deben soldar ya que se puede producir una fragilidad excesiva. De acuerdo con la norma NCh 204, estas barras no tienen soldabilidad asegurada.

Para lograr la soldabilidad se requiere cambios en la composición química del acero. La norma ASTM A706 "Barras de acero de baja aleación, deformadas y lisas para refuerzo de hormigón" y la norma NCh 3334 "Acero - Barras laminadas en caliente soldables para hormigón armado - Requisitos", exigen para los aceros soldables un carbono equivalente  $\leq 0,55\%$  para barras y para rollos. El carbono equivalente se calcula a base del contenido de carbono, manganeso, cobre, níquel, cromo, molibdeno y vanadio.

Estas barras pueden ser una buena alternativa en zonas de alta congestión de armaduras, disminuyendo los traslapes.

La soldadura puede ser al arco o electrosoldada, pero debe ser ejecutada por un soldador calificado y con equipamiento que permita un proceso controlado en condiciones prefijadas y estables.

En el mercado nacional este acero está disponible en el grado A630-420H. Se identifican colocando al final de la identificación de calidad la letra "S", es decir, sobre relieve sería "A630 S".

Se distribuyen en rollos de 8 a 16 mm de diámetro, y en barras rectas de 16 a 36 mm de diámetro.

### B) BARRAS ANTICORROSIVAS

Estas barras tienen cromo en su composición, lo que las hace más resistentes a la corrosión, cinco veces más que las barras normales.

Las barras cumplen con ASTM A1035 "Barras de acero de bajo carbono, con cromo, deformadas y lisas para refuerzo de hormigón" y NCh3329-2016 "Acero - Barras laminadas en caliente con cromo para hormigón armado. Requisitos".

Además de su mayor resistencia a la corrosión, estas barras se caracterizan por su muy elevada resistencia mecánica: 690 MPa a fluencia con una tensión máxima de 1050 MPa. La relación tensión máxima/fluencia de estas barras cumplen con el requisito de mínimo 1,25 que exige la norma NCh 204.

Esta mucho mayor resistencia, más del 60% que al A630-420H, permite disminuir las secciones de acero y disminuir congestión de barras.

A pesar de su resistencia, las barras se pueden cortar y doblar con los procedimientos normales.

## 4.2

### ACERO PARA USO ESTRUCTURAL

*Estos aceros se emplean en barras para usos diferentes al hormigón, productos planos (planchas) y perfiles ya sean laminados, plegados, conformados en frío o soldados.*

A diferencia del acero para refuerzos de hormigón, los aceros para uso estructural tienen una composición química que asegura su soldabilidad. La composición química es parte de las exigencias que debe cumplir el acero estructural.

#### 4.2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

##### A) NORMAS CORRESPONDIENTES

Este tipo de acero está regulado por la norma NCh203 "Acero para uso estructural - Requisitos". Los ensayos correspondientes se realizan según NCh200 "Productos metálicos - Ensayo de tracción", NCh201 "Acero - Ensayo de doblado de planchas de espesor superior o igual a 3 mm, barras y perfiles".

Otras normas relacionadas son la NCh701 "Acero - Planchas delgadas de acero al carbono laminadas en caliente - Tolerancias", NCh702 "Acero - Planchas delgadas de acero al carbono laminadas en frío - Tolerancias", NCh703 "Acero - Planchas gruesas de acero al carbono laminadas en caliente - Tolerancias".

##### B) CLASIFICACIÓN

La codificación general que establece la norma NCh 203 tiene la siguiente codificación:

{A o M o Y} ZZZ ESPN {RH o RP}TO

En que, A o M o Y definen el acero especificado, "A" acero al carbono, "M" acero microaleado, "Y" acero de alta resistencia y baja aleación, "ZZZ" es la resistencia a fluencia en MPa, "E" que se trata de acero estructural, "S" que tiene soldabilidad asegurada, "P" que tiene propiedades especiales para diseño sísmoresistente, "N" que se ha sometido al tratamiento térmico de normalizado, "RH" o "RP" es que el acero tiene ensayo de tenacidad a una cierta temperatura "T", RH por hornada y RP por pieza. Las designaciones N, RH y RP son opcionales.

##### C) REQUISITOS

Los aceros estructurales se pueden dividir en aceros para construcciones generales y aceros para construcciones sometidas a cargas dinámicas.

Los requisitos para los aceros de construcciones generales se presentan en Tabla 4.15. En Tabla 4.16 se muestra los requisitos de acero de construcciones con carga dinámica.

Se destaca que, para todos los grados de acero, la resistencia a tracción del acero estructural tiene un límite superior.

**TABLA 4.15**  
ACEROS ESTRUCTURALES  
PARA CONSTRUCCIONES  
GENERALES

Designación	Tensión de fluencia, mínima Fy, MPa (1)(2)	Resistencia a la tracción, Fu, MPa	% Alargamiento en 50 mm, mínimo		
			e ≤ 5	e 5 a 16	e > 16
A240ES	240	360 a 460	24	22	20
A270ES	270	410 a 510	22	20	18
A345ES	345	510 a 610	20	18	16
M345ES	345	510 a 610	20	18	16
Y345ES	345	Mín 480	20	18	16

Se debe satisfacer el normalizado en planchas con espesor ≥ 30 mm

(1) Para espesores <16 hasta 32 mm se puede reducir Fy en 10 MPa  
Sobre 32 mm se puede reducir Fy en 20 MPa  
(2) Fy corresponde a la tensión en el punto de fluencia en aceros con fluencia definida o tensión que produce una deformación permanente de 0,2%

Fuente: NCh203.Of2006

**TABLA 4.16**  
ACEROS ESTRUCTURALES  
PARA CONSTRUCCIONES  
SOMETIDAS A CARGAS DE  
ORIGEN DINÁMICO

Designación	Tensión de fluencia, mínima Fy, MPa (1)	Resistencia a la tracción, Fu, MPa	% Alargamiento en 50 mm, mínimo	% Alargamiento en 200 mm, mínimo
A250ESP	250 a 350	400 a 550	23	20
A345ESP	345 a 450	450 mínimo	21	18

Se debe satisfacer la relación Fy/Fu ≤ 0,85  
Se debe satisfacer uno de los dos requisitos de alargamiento  
El acero debe ser normalizado en los grados ESP en planchas

(1) Estos aceros deben tener una meseta de fluencia definida

Fuente: NCh203.Of2006

Además de los requisitos mecánicos ya presentados, los aceros de uso estructural deben cumplir requisitos químicos en cuanto al contenido máximo de carbono, manganeso, fósforo, azufre y silicio, principalmente.

Al igual que las barras para hormigón, el acero para uso estructural se somete a ensayo de doblado; en este caso es a 180°. No se aceptan grietas en la zona de tracción.

El doblado se realiza en torno a un mandril que depende del tipo de acero y del espesor del elemento. En Tabla 4.17 se muestra los diámetros de doblado para aceros para construcción general y en Tabla 4.18 los correspondientes a aceros con sollicitaciones sísmicas.

Muchos productos se obtienen por doblado de planchas, por lo que es conveniente que se controle que no se usen diámetros menores a los indicados en las Tablas recién mencionadas.

**TABLA 4.17**  
DIÁMETRO DE DOBLADO EN ACEROS PARA CONSTRUCCIONES GENERALES

Espesor e, mm	A240ES	A270ES	A345ES M345ES	Y345ES
Hasta 16	e	1,5 e	2,5 e	2,5 e
Sobre 16 a 32	2 e	2,5 e	3,5 e	3,5 e
Sobre 32 a 50	3 e	3,5 e	4,5 e	4,5 e
El espesor es la menor dimensión en la sección transversal				

Fuente: NCh 203.Of2006

**TABLA 4.18**  
DIÁMETRO DE DOBLADO EN ACEROS PARA CONSTRUCCIONES SOMETIDAS A CARGAS DE ORIGEN DINÁMICO

Espesor e, mm	A250ESP	A345ESP
Hasta 20	0,5 e	e
Sobre 20 a 25	e	1,5 e
Sobre 25 a 40	1,5 e	2,5 e
Sobre 41 a 50	2,5 e	3,0 e
El espesor es la menor dimensión en la sección transversal		

Fuente: NCh 203.Of2006

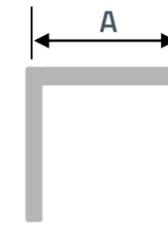
## 4.2.2 PRODUCTOS

Si bien son muchos los productos que utilizan acero estructural se destacan los perfiles y las planchas.

### A) PERFILES

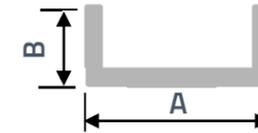
Muchos perfiles pueden ser obtenidos mediante laminación o mediante doblado. Las opciones de forma y dimensionamiento son muchas. En las figuras 4.3 a 4.7 se muestran los perfiles más empleados en el país y los principales grados de acero y dimensiones disponibles en el mercado.

**FIGURA 4.3.**  
PERFIL ÁNGULO



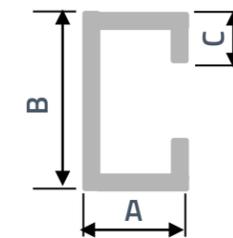
ACERO A270ES – A240ES  
LARGO 6 M  
ESPESOR 3 A 12 MM  
A 20 A 100 MM

**FIGURA 4.4.**  
PERFIL CANAL



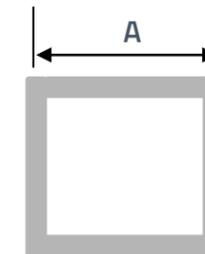
ACERO A270ES – A240ES  
LARGO 6 M  
ESPESOR 2 A 6 MM  
A 20 A 350 MM  
B 50 A 100 MM

**FIGURA 4.5.**  
PERFIL COSTANERA



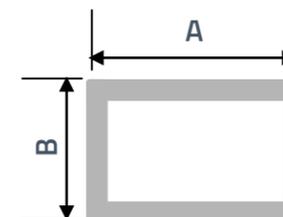
ACERO A270ES – A240ES  
LARGO 6 M  
ESPESOR 2 A 6 MM  
A 100 A 500 MM  
B 25 A 100 MM  
C 15 A 30 MM

**FIGURA 4.6.**  
PERFIL CUADRADO



ACERO A270ES – A240ES  
LARGO 6 M  
ESPESOR 1 A 10 MM  
A 15 A 300 MM

**FIGURA 4.7.**  
PERFIL RECTANGULAR



ACERO A270ES – A240ES  
LARGO 6 M  
ESPESOR 1 A 10 MM  
A 20 A 300 MM  
B 10 A 200 MM

## B) PLANCHAS

Los fabricantes de acero del país, ya sea a partir de mineral de hierro o de chatarra, no están laminando planchas por lo que en el mercado hay una gran variedad de dimensiones.

Es necesario considerar que en general estas planchas cumplen con normativa extranjera y la mayoría de las veces estas normas no concuerdan con la normativa nacional (NCh 203-2006).

En cuanto a las planchas laminadas en caliente, se encuentran espesores desde 2 a 18 mm. Las menores con sección de 1 m de ancho por 2 a 4 m de largo. Para los espesores mayores es común secciones de 2 m de ancho por 3 a 6 m de largo.

Con respecto a las planchas laminadas en frío se encuentran espesores desde 0,4 a 1,9 mm, con secciones de 1 m de ancho por 2 a 3 m de largo.

En Tabla 4.19 se presenta los pesos por metros cuadrados, aproximados, de las planchas según sea su espesor.

**TABLA 4.19**  
MASA POR METRO  
CUADRADO DE PLANCHA

Esp, mm	Masa, kg	Esp, mm	Masa, kg	Esp, mm	Masa, kg
0,4	3,1	1,8	14,1	22	173
0,5	3,9	1,9	14,9	25	200
0,6	4,7	2,0	15,7	28	220
0,7	5,5	2,5	19,6	30	240
0,8	6,3	3	23,6	32	250
0,9	7,1	5	39,3	35	270
1,0	7,9	6	47	38	300
1,1	8,6	8	63	40	310
1,2	9,4	10	79	45	350
1,3	10,2	12	94	50	390
1,4	11	14	110	75	590
1,5	11,8	16	126	100	790
1,6	12,6	18	141		
1,7	13,3	20	157		

# 5.

## LA MADERA

---

- 5.1. Características generales
  - 5.2. Diseño en madera
  - 5.3. Moldajes
- 



## 5.1

### CARACTERÍSTICAS GENERALES

*El propósito de este capítulo es entregar los antecedentes más relevantes asociados al uso práctico de la madera, en función de establecer las características que se deben tener en cuenta para una correcta especificación de este material en función de los requerimientos normativos establecidos en las Normas chilenas pertinentes.*

TEMAS TRATADOS	5.1.1 Definiciones
	5.1.2 Unidades de medida
	5.1.3 Dimensiones
	5.1.4 Especificación de la madera

#### 5.1.1 DEFINICIONES

La NCh2824.Of2003 (reemplazada en 2019) establece una serie de definiciones básicas asociadas a la correcta caracterización de la madera de Pino Radiata, además de NCh174.Of1985 (reemplazada en 2019) que establece unidades, dimensiones nominales, tolerancias y especificaciones para piezas de madera aserradas y cepilladas.

El espesor y el ancho se miden en milímetros, lo que corresponde a la Denominación Nominal (DN) según la norma mencionada; sin embargo por uso y costumbre en nuestro país, la madera que se comercializa utiliza como unidad para espesor y ancho la pulgada (Denominación Comercial – DC), y para el volumen la “pulgada maderera”; esta última en franco desuso.

A partir de lo anterior, se establece el grado de preparación de la madera, concepto que vincula la dimensión nominal o comercial, con el grado de humedad, lo que se establece en detalle en la Tabla 5.1 con base en la NCh2824.Of 2003 (reemplazada en 2019) y la NCh174.Of1985 (reemplazada en 2019):

**TABLA 5.1**  
GRADOS DE  
PREPARACIÓN  
DE LA MADERA

<b>ASERRADA VERDE</b>	Pieza cortada longitudinalmente por medio de sierra manual o mecánica, con el fin de darle caras planas y escuadra. En general se le denomina como “madera en bruto”. Madera cuyo contenido de humedad es superior al 30%.
<b>ASERRADA SECA</b>	Pieza cortada longitudinalmente por medio de sierra manual o mecánica, con el fin de darle caras planas y escuadra. En el caso general de cualquier madera, se define como “Seca” aquella con un contenido de humedad menor al 20%; en el caso de madera de Pino Radiata, se considera un 12%.
<b>CEPILLADA SECA</b>	Es una pieza de madera trabajada con máquina cepilladora en sus caras o cantos (una o varias).
<b>ELABORADA</b>	Es la que ha recibido una etapa más de preparación, para darle una forma especial. Por ejemplo: madera machihembrada.
<b>TRATADA</b>	Es la que ha sido sometida a tratamientos químicos o físicos.

Fuente: Propia en base a Normas chilenas indicadas

El detalle de la correspondencia entre la dimensión nominal con la real –para los distintos grados de preparación de la madera– se encuentra en la tabla 5.20, así como la equivalencia entre las dimensiones nominales y comerciales, que se encuentran en la Tabla 5.21.

#### 5.1.2. UNIDADES DE MEDIDA VIGENTES

Las unidades de medida vigentes se han confeccionado a partir de las mismas normas indicadas previamente, es decir se han comparado las definiciones generales de unidades de medida indicadas en la NCh174.Of1985 (reemplazada en 2019) y la NCh2824.Of2003 (reemplazada en 2019). Se ha tomado esta consideración debido a que esta última está más actualizada, pero aplica específicamente sobre el Pino Radiata, especie de amplio uso en nuestro país.

Se indican a continuación los criterios establecidos:

- El espesor y el ancho se miden en milímetros, y se expresan sin decimales con aproximación al entero inmediatamente inferior.
- La longitud se mide y expresa en metros con dos decimales.
- El volumen se expresa en metros cúbicos con tres decimales, siendo el tercero una aproximación a la milésima más cercana (Pino Radiata), resto de las especies con cinco decimales.
- Las dimensiones se presentan en el siguiente orden: espesor, ancho y largo.

### 5.1.3. DIMENSIONES VIGENTES

La NCh174.Of1985 (reemplazada en 2019) establece las 3 dimensiones indicadas a continuación en la Tabla 5.3, como medidas básicas asociadas a la especificación de un elemento de madera; se establece su definición y su unidad de medida.

**TABLA 5.3**  
DIMENSIONES  
VIGENTES

<b>ESCUADRÍA</b>	<p>La escuadría corresponde a la dimensión nominal del espesor y ancho. Se expresa en mm enteros.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Madera aserrada: Escuadría en pulgadas. Ejemplo de denominación y escuadría: "Pieza de madera de pino radiata de 2x2" en estado seco". Su denominación comercial (DC) sería 2x2 pulgadas y su dimensión nominal (DN) correspondería a 50x50 milímetros. El tamaño real de la sección es de 45x45 milímetros.</li> <li>Madera cepillada y elaborada: Escuadría en pulgadas, seguida de su equivalencia real en milímetros. Ejemplo de denominación y escuadría: "Pieza de madera cepillada seca de pino radiata de 2x2" – 41x41 mm". Su denominación comercial (DC) sería 2x2 pulgadas y su dimensión nominal (DN) correspondería a 50x50 milímetros. El tamaño real de la sección es de 41x41 milímetros.</li> </ul>
<b>LONGITUD NOMINAL</b>	<p>Se expresa en metros con dos decimales y con variaciones desde 1,20 m hasta 6,0 m, con incrementos de 0,30 m. Para la madera aserrada, cepillada o elaborada se establece en metros con dos decimales, en largos de 3,2 m. Ejemplo de longitud nominal: "Pieza de madera de pino radiata de 2x2" en estado seco y largo de 3,20 m".</p>
<b>VOLUMEN</b>	<p>Se expresa en metros cúbicos con 3 y 5 decimales según se detalla en subcapítulo previo.</p>

Fuente: Propia en base a Normas chilenas indicadas

- Tipo de elaboración: Se debe especificar si la pieza es aserrada o cepillada.
- Contenido de humedad: Se debe especificar en % con una cifra decimal.
- Preservación: Se deben indicar los componentes utilizados en unidades de penetración en % y retención en kg/m<sup>3</sup>.

Ejemplo: Especificación de vigas estructurales de madera, de Pino Radiata, en tamaño 2x8" cepillada, estructural impregnada seca:

- Especie: Pino Radiata – pino.
- Grado: G2 (Clasificación estructural visual) y C16 (clasificación estructural mecánica).
- Dimensiones nominales: 50x200 en 3,20 m.
- Tipo de elaboración: Cepillada.
- Contenido de humedad: Máximo 12%.
- Preservación: Boro, 100% y retención de 4,4 kg/m<sup>3</sup>.

### 5.1.4 ESPECIFICACIÓN DE LA MADERA

Para cada pieza de madera, conforme a la NCh174.Of1985 (reemplazada en 2019), se debe indicar los siguientes antecedentes para una correcta especificación:

- Especie: Se debe indicar por su nombre científico y su nombre común.
- Grado: Se debe identificar por el tipo de clasificación (aspecto, resistencia, despiece y otros), al cual pertenece y por su nombre.
- Dimensiones nominales: Se representan en el siguiente orden: espesor, ancho y longitud.

## 5.2

### DISEÑO EN MADERA

*Este capítulo tiene como finalidad entregar al profesional en obra, herramientas para el diseño de piezas de madera simples, pero comunes a diversos tipos de proyectos de edificación.*

Las recomendaciones indicadas se entregan sólo a modo de orientación, debiendo ser chequeadas por un especialista, de acuerdo con las condiciones del proyecto; por otra parte, se han utilizado como base las condiciones establecidas en la NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014).

TEMAS TRATADOS

- 5.2.1. Definiciones
- 5.2.2. Procedimiento para determinar las tensiones de diseño
- 5.2.3. Ejemplos de diseño
- 5.2.4. Tensiones de diseño para piezas de uso corriente en obra
- 5.2.5. Cargas máximas de trabajo recomendadas para piezas de uso corriente en obra
- 5.2.6. Uniones
- 5.2.7. Tablas

#### 5.2.1 DEFINICIONES

A continuación, en Tabla 5.4, se presenta las definiciones básicas para cualquier proceso de diseño estructural en madera.

**TABLA 5.4**  
DEFINICIONES  
BÁSICAS  
ASOCIADAS  
AL DISEÑO  
ESTRUCTURAL

Estado de la madera	
<b>VERDE</b>	Para efectos de diseño, es aquella cuyo contenido de humedad es igual o superior al 20%.
<b>SECA</b>	Para efectos de diseño, es aquella cuyo contenido de humedad es igual a un 12%.
Tensiones	
<b>ADMISIBLE</b>	Corresponde a la carga por unidad de sección transversal de una pieza de madera, en la cual se consideran los defectos de ésta (nudos, grietas y otros), el contenido de humedad de la madera en el momento de la construcción y puesta en servicio, la sección, el grado y otros aspectos indicados en el presente documento.
<b>DISEÑO</b>	Corresponde a la carga por unidad de sección transversal de una pieza de madera, en la cual se consideran las condiciones de carga y servicio a los que estará sometida. Es la resultante del producto de la tensión admisible por el o los "factores de modificación" que tengan a lugar según se presenta en 5.2.2.
Factores de modificación	
Coeficiente(s) de carga(s) que modifica(n) la tensión admisible según las condiciones de carga y servicio a las que estará sometido el elemento estructural.	
Humedad de equilibrio	
Corresponde al contenido de humedad de la madera que permanece constante, si ésta es sometida a condiciones tales que la temperatura ambiente y la humedad relativa del medio ambiente no varían. (La madera absorbe o entrega agua, hasta llegar a una humedad tal que esté en equilibrio con el medio ambiente del lugar donde ella prestará servicio).	
Razón de resistencia	
Razón entre el valor de la resistencia de piezas de madera que satisfacen los requisitos de un grado determinado (en cuanto a las magnitudes de los defectos que ese grado admite) y el valor de resistencia de este mismo material, libre de defectos. La NCh1198 establece cuatro razones de resistencias para todas las especies, excepto para el Pino Radiata, para el cual establece tres.	

Fuente: Propia en base a NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014)

#### 5.2.2 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LAS TENSIONES DE DISEÑO

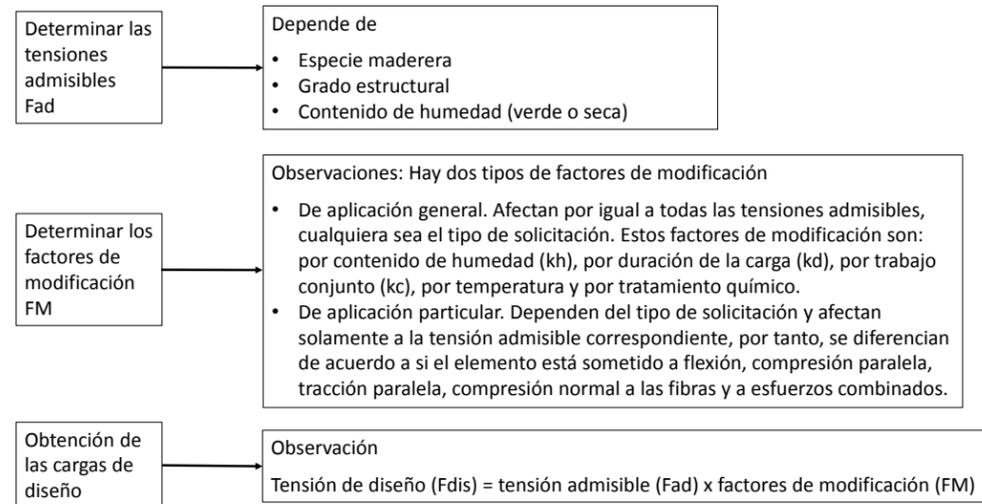
##### FACTORES A CONSIDERAR

- A - Procedimiento
- B - Determinación de los factores de modificación

## A - PROCEDIMIENTO

En Figura 5.1 se presenta un esquema simplificado del cálculo de tensiones de diseño.

**FIGURA 5.1.**  
PROCEDIMIENTO  
SIMPLIFICADO  
DE CÁLCULO DE  
TENSIONES DE  
DISEÑO



Fuente: Propia en base a NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014)

## B - DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN

B1) Para piezas estructurales de madera aserrada, los 2 grupos de factores de modificación principales, de aplicación general y particular, son:

**TABLA 5.5**  
DETERMINACIÓN  
DE LOS  
FACTORES DE  
MODIFICACIÓN

Observaciones:
Ver Tablas N° 1 a N° 7 de NCh1198
<ul style="list-style-type: none"> <li>Para piezas aserradas de madera con un espesor mayor a 100 mm, se considera tensiones admisibles en estado verde.</li> <li>Para piezas aserradas de madera con contenido de humedad inferior a 12%, se considera tensiones admisibles en estado seco.</li> <li>Para piezas de madera aserrada con contenido de humedad entre 12 y 20%, y espesores menores o iguales a 100 mm, se recomienda considerar tensiones admisibles en estado seco y aplicar factor de modificación por contenido de humedad.</li> </ul>

<b>POR CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	<p>La asignación de las tensiones admisibles y del módulo elástico a piezas de madera aserrada con espesores menores o iguales a 100 mm, y que se construye con un contenido de humedad (Hc) comprendido entre 12% y 20%, se puede obtener por interpolación lineal entre los valores de tensión admisible para madera en estado verde (ver Tablas 5 y 6 de la NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014)) y madera en estado seco (ver Tablas 5 y 7 de la misma norma), aplicando sobre la tensión admisible en condición seca el factor de modificación siguiente:</p> <p><math>KH = (1 - DH \times DR)</math>, donde:</p> <p>KH = factor de modificación por humedad, aplicable a las tensiones admisibles y módulo elástico, definidos para una humedad de 12% (ver Tablas 5 y 7 de la norma previamente indicada). DH = diferencia entre el valor de contenido de humedad de servicio (Hs) y 12%. DR = variación de la resistencia por cada 1% de variación del contenido de humedad (ver Tabla 8 de la NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014)).</p>
<b>POR DURACIÓN DE LA CARGA</b>	<p>La resistencia de la madera varía inversamente proporcional a la duración de la carga. Las tensiones admisibles entregadas son aplicables cuando la pieza alcanza la tensión admisible en un período de 10 años. Según sea la duración de la carga, se debe aplicar el siguiente FM:</p> <p><math>K_D = \frac{1,747}{t^{0,454}} + 0,295</math> con t = duración de la carga en segundos</p> <p>NOTA: El módulo de elasticidad en flexión y la tensión admisible de compresión normal no deben afectarse por el factor KD. Para valores de KD, ver gráfico de Figura N°5.2.</p>
<b>SOLICITACIÓN DE FLEXIÓN</b>	<p>Se debe aplicar un FM por altura (K<sub>hf</sub>) para determinar la tensión de diseño en la zona traccionada en: Todas las especies forestales, excepto el Pino Radiata (Pino Insigne), cuya altura sea superior a 50 mm:</p> <p><math>K_{hf} = \left(\frac{50}{h}\right)^{1/9} \leq 1</math></p> <p>Piezas de Pino Radiata de altura superior a 90 mm:</p> <p><math>K_{hf} = \left(\frac{90}{h}\right)^{1/5} \leq 1</math></p> <p>Con K<sub>hf</sub> = factor de modificación por altura. h = altura de la viga en mm.</p> <p>Para evitar problemas de volcamiento, si la viga no tiene apoyos laterales, salvo en los extremos, usar razón máxima: h/b = 3, con b = ancho de la viga.</p>

<b>COMPRESIÓN PARALELA</b>	Para elementos que no presentan problemas de inestabilidad lateral ( $\lambda < 5$ ), el factor de modificación de aplicación particular es 1; en caso contrario se debe aplicar el FM por esbeltez ( $K\lambda$ ) definido en NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014).
	$\lambda = l_p / i$
	$l_p$ = longitud efectiva de pandeo para elemento con libertad de giro e impedimento de desplazamiento en ambos extremos, se tiene:
	$l_p = l$ , con "l" longitud real del elemento; otros (ver Tabla N° 18 de NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014)).
	$i$ = Radio de giro mínimo = $\sqrt{I_{\min} / A}$
	$I_{\min}$ = Momento de inercia menor. $A$ = Área de la sección.

Fuente: Propia en base a NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014)

B2) Para piezas estructurales de madera de sección transversal circular, los de uso práctico para este manual son:

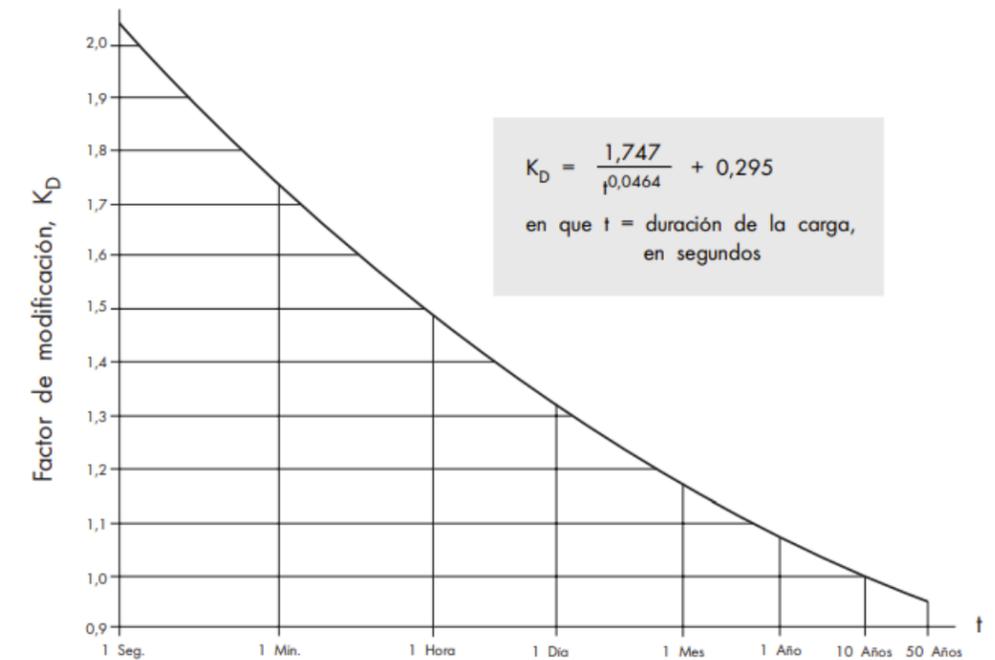
**TABLA 5.6**  
FACTORES DE MODIFICACIÓN PARA ELEMENTOS DE SECCIÓN CIRCULAR

<b>DE APLICACIÓN GENERAL</b>	Por duración de carga	Se debe aplicar el FM "KD" definido en el punto B1) de la página anterior.
<b>DE APLICACIÓN PARTICULAR</b>	Por uso en Estado seco	Las tensiones admisibles y el módulo de elasticidad de piezas utilizadas en estado seco, se deben afectar por el factor "Ks", definido en la Tabla N° 5.21 del presente capítulo (La NCh1198.Of91, reemplazada en 2014) entrega valores de tensiones admisibles y módulo de elasticidad en estado verde, los que deben modificarse si corresponde).

Fuente: Propia en base a NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014)

A continuación, en Figura 5.2, se presenta un gráfico que presenta la evolución del factor de modificación  $K_D$  por duración de la carga, respecto al tiempo.

**FIGURA 5.2**  
EVOLUCIÓN DEL FACTOR DE MODIFICACIÓN POR DURACIÓN DE LA CARGA EN EL TIEMPO



Fuente: NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014)

### 5.2.3 EJEMPLOS DE DISEÑO

- Calcular las tensiones de diseño de una pieza de madera aserrada de Pino Radiata de acuerdo con las siguientes características:
  - Humedad : 18%
  - Espesor pieza : 50 mm
  - Grado supuesto : G2
  - Duración de la carga : 14 días

Con los antecedentes dados, y aplicando la metodología para el cálculo de tensiones admisibles del ítem 6.2 de la NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014), se obtienen los valores de tensiones admisibles en Flexión, Cizalle y el módulo de elasticidad; además de los factores de modificación establecidos en el ítem 7 de la misma Norma, en función de establecer las tensiones de diseño de los 2 casos presentados a continuación.

**TABLA 5.7**  
DESARROLLO DEL  
EJEMPLO 1

Tensiones admisibles Valor* (kgf/cm <sup>2</sup> )		Factores de modificación		Tensiones de diseño (kgf/cm <sup>2</sup> )
		Contenido de humedad	Duración de carga	
Flexión	40	1 - 6 x 0,0205	1,21	40 x 0,88 x 1,21 = 43
Cizalle	4	1 - 6 x 0,0160	1,21	4 x 0,90 x 1,21 = 4,4
Módulo elasticidad	7 x 10 <sup>4</sup>	1 - 6 x 0,0148	-	7 x 10 <sup>4</sup> x 0,91 = 6,4 x 10 <sup>4</sup>

Fuente: Propia en base a NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014)

- 2 Calcular las tensiones de diseño para una pieza de Pino Radiata, en estado verde, de sección transversal circular. Duración de la carga: 1 mes.

**TABLA 5.8**  
DESARROLLO DEL  
EJEMPLO 2

Tensiones admisibles		Factores de modificación Duración de carga	Tensiones de diseño (kgf/cm <sup>2</sup> )
Tensión	Valor* (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Flexión	138	1,18	163
Compresión paralela	54	1,18	64
Cizalle	7,1	1,18	8,4
Módulo elasticidad	6,42 x 10 <sup>4</sup>	-	6,42 x 10 <sup>4</sup>

Fuente: Propia en base a NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014)

## 5.2.4. TENSIONES DE DISEÑO PARA PIEZAS DE USO CORRIENTE EN OBRA

Las siguientes tensiones de diseño se han obtenido a partir de la metodología establecida en detalle en la NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014) de acuerdo con las características de humedad, grado y tipo de madera.

Se entregan tensiones de diseño para piezas de Pino Radiata, en los estados verde (H <sup>3</sup> 20%) y seco (H = 12%).

Para el Pino Radiata se consideró grado estructural G2 (Ver notas de Tabla número 5.15 del presente capítulo).

**TABLA 5.9**  
TENSIONES  
DE DISEÑO EN  
KGF/CM2

	Pino Radiata aserrado					
	Verde (h = 20%)			Seco (h = 12%)		
Duración de la carga	3 días	6 meses	1 año	3 días	6 meses	1 año
Flexión	42,5	37,1	36,1	50,8	44,4	43,2
Compresión paralela	42,5	37,1	36,1	50,8	44,4	43,2
Cizalle	4,4	3,9	3,8	5,1	4,4	4,3
Módulo elasticidad	6,2 x 10 <sup>4</sup>	6,2 x 10 <sup>4</sup>	6,2 x 10 <sup>4</sup>	7,0 x 10 <sup>4</sup>	7,0 x 10 <sup>4</sup>	7,0 x 10 <sup>4</sup>

Fuente: NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014)

## 5.2.5. CARGAS MÁXIMAS DE TRABAJO RECOMENDADAS PARA PIEZAS DE USO CORRIENTE EN OBRA

Las cargas de trabajo recomendadas se entregan a modo de orientación, debiendo ser chequeadas por un especialista.

Estos valores responden a procesos de cálculo estático a partir de escuadría, luz y los períodos de tiempos indicados, además de apoyos simples. El valor de "q" está asociado a una carga distribuida y el de "p" a carga puntual según corresponda para entablados, pilares o vigas. Todos los casos han sido desarrollados en función de una condición de apoyo simplemente apoyados.

### FACTORES A CONSIDERAR

#### A) Entablados Pino Radiata aserrado

A.1 Estado Verde (H ≥ 20%)

A.2 Estado Seco (H = 12%)

#### B) Vigas Pino Radiata aserrado

B.1 Estado Verde (H ≥ 20%)

B.2 Estado Seco (H = 12%)

#### C) Pilares Pino Radiata aserrado

**TABLA 5.10**  
CARGAS MÁXIMAS DE TRABAJO PARA EL ENTABLADO DE PINO RADIATA ASERRADO

Características de la pieza		Cargas de trabajo para duración de la carga					
		3 días		6 meses		1 año	
Escuadría	Luz (cm)	q (kgf/m)	P (kgf)	q (kgf/m)	P (kgf)	q (kgf/m)	P (kgf)
<b>A.1. Estado verde (H = 20%)</b>							
1" x 4"	60	98	30	86	26	84	25
2" x 4"	60	394	118	344	103	334	100
1" x 5"	60	123	37	107	32	104	31
2" x 5"	60	492	148	429	129	418	125
1" x 4"	100	35	18	31	15	30	15
2" x 4"	100	142	71	124	62	120	60
1" x 5"	100	44	22	39	19	38	19
2" x 5"	100	177	89	155	77	150	75
1" x 4"	150	16	12	14	10	13	10
2" x 4"	150	63	47	55	41	53	40
1" x 5"	150	20	15	17	13	17	13
2" x 5"	150	79	59	69	52	67	50
<b>A.2. Estado seco (H = 12%)</b>							
1" x 4"	60	118	35	103	31	100	30
2" x 4"	60	470	141	411	123	400	120
1" x 5"	60	147	44	128	39	125	38
2" x 5"	60	588	176	514	154	500	150
1" x 4"	100	42	21	37	19	36	18
2" x 4"	100	169	85	148	74	144	72
1" x 5"	100	53	26	46	23	45	23
2" x 5"	100	212	106	185	93	180	90
1" x 4"	150	19	14	16	12	16	12
2" x 4"	150	75	56	66	49	64	48
1" x 5"	150	24	18	21	15	20	15
2" x 5"	150	94	71	82	62	80	60

Fuente: NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014)

**TABLA 5.11**  
CARGAS MÁXIMAS DE TRABAJO PARA VIGAS DE PINO RADIATA ASERRADO

Características de la pieza		Cargas de trabajo para duración de la carga					
		3 días		6 meses		1 año	
Escuadría	Luz (cm)	q (kgf/m)	P (kgf)	q (kgf/m)	P (kgf)	q (kgf/m)	P (kgf)
<b>B.1. Estado verde (H ≥ 20%)</b>							
2" x 4"	100	283	142	247	124	241	120
2" x 5"	100	443	221	386	193	376	188
2" x 6"	100	638	319	557	278	542	271
2" x 8"	100	1133	567	989	495	963	481
2" x 4"	150	126	94	110	82	107	80
2" x 5"	150	197	148	172	129	167	125
2" x 6"	150	283	213	247	186	241	181
2" x 8"	150	504	378	440	330	428	321
<b>B.2. Estado seco (H = 12%)</b>							
2" x 4"	100	339	169	296	148	288	144
2" x 5"	100	529	265	463	231	450	225
2" x 6"	100	762	381	666	333	648	324
2" x 8"	100	1355	677	1184	592	1152	576
2" x 4"	150	151	113	132	99	128	96
2" x 5"	150	235	176	206	154	200	150
2" x 6"	150	339	254	296	222	288	216
2" x 8"	150	602	452	526	395	512	384

Fuente: NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014)

**TABLA 5.12**  
CARGAS MÁXIMAS DE TRABAJO PARA PILARES DE PINO RADIATA ASERRADO

Características de la pieza		Cargas de trabajo para duración de la carga					
		Estado verde (h ≥ 20%)			Estado seco (h = 12%)		
		3 días	6 meses	1 año	3 días	6 meses	1 año
Escuadría	Luz (cm)	P (kgf)	P (kgf)	P (kgf)	P (kgf)	P (kgf)	P (kgf)
3" x 3"	200	975	851	828	1135	992	965
3" x 3"	250	720	629	612	832	728	708
3" x 3"	300	544	475	462	626	547	532
3" x 4"	200	1300	1135	1105	1513	1322	1287
3" x 4"	250	960	838	816	1110	970	944
3" x 4"	300	725	633	616	834	729	710
4" x 4"	200	2352	2053	1998	2763	2415	2350
4" x 4"	250	1873	1635	1591	2184	1909	1858
4" x 4"	300	1487	1298	1263	1724	1507	1466

Fuente: NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014)

## 5.2.6 UNIONES

Debido a que el presente manual se orienta a proyectos de pequeña escala, se detallarán las uniones en base a clavos –que son justamente las más utilizadas en esta tipología constructiva– y que han sido fabricados conforme a la NCh1269.Of90.

Además, es importante considerar que se permite el uso de uniones con clavos especiales (diferentes a los tipos especificados en NCh1269.Of90) si la aptitud y resistencia de éstas se puede comprobar por medio de un certificado de ensayo emitido por una institución oficial de ensayo de resistencia de materiales.

Todo lo presentado a continuación, se fundamenta en el capítulo 10 de la NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014).

**TABLA 5.13**  
TIPOS DE SOLICITACIONES EN UNIONES DE MADERA

RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN DIRECTA
El diseño estructural debe evitar el uso de clavos sometidos a la acción de solicitaciones paralelas al eje del clavo. Cuando esto no sea posible, se deben aplicar las disposiciones que se indican en 10.9.12.2 y 10.9.12.3 de la NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014)
RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN LATERAL
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Carga que soporta un elemento de unión (clavo) cuando se le solicita con una fuerza de dirección normal a su eje (cizalle)</li> <li>· En general se exige la presencia de al menos cuatro clavos en cada uno de los planos de cizalle que se presenten en una unión clavada de dos o más piezas de madera</li> </ul>

Fuente: Propia en base a Normas chilenas indicadas

Respecto a lo anterior, se presentan las fórmulas asociadas a cada tipo de solicitación tal como lo indica la NCh indicada.

**TABLA 5.14**  
CARGA ADMISIBLE DE EXTRACCIÓN LATERAL

Tipo de solicitación	Carga admisible (n)	Observaciones
Cizalle simple	$P_{cl, ad} = (3,5) \times (D 1,5) \times (r_{o,k} 0,5)$	D = Diámetro en mm. r <sub>o,k</sub> = Densidad anhidra característica en kg/m <sup>3</sup> (ver Tabla número 5.19 del presente Manual)
Cizalle múltiple	$P_{clm, ad} = (m - 0,25) \times P_{cl, ad}$	m = número de planos de cizalle que atraviesa el clavo

Fuente: Propia en base a Normas chilenas indicadas

## OBSERVACIONES:

- Las tensiones admisibles deben afectarse por los FM de duración de la carga (referencia punto 5.2.2 del presente manual).
- Las relaciones anteriores son válidas siempre que el menor espesor de los elementos que se unen sea mayor a 7 veces el diámetro del clavo, en uniones de clavado directo (sin perforación guía).
- Las cargas admisibles son para madera seca que se mantendrá seca (después de construida). Para madera verde o semiseca durante la construcción y para madera seca durante construcción, la cual en su período de servicio incrementa su contenido de humedad a semiseca o verde, se debe aplicar un factor de modificación de 0,75 sobre las cargas admisibles.
- En general, se exige la presencia de, al menos, cuatro clavos en cada uno de los planos de cizalle que se presenten en la unión de dos o más piezas de madera.

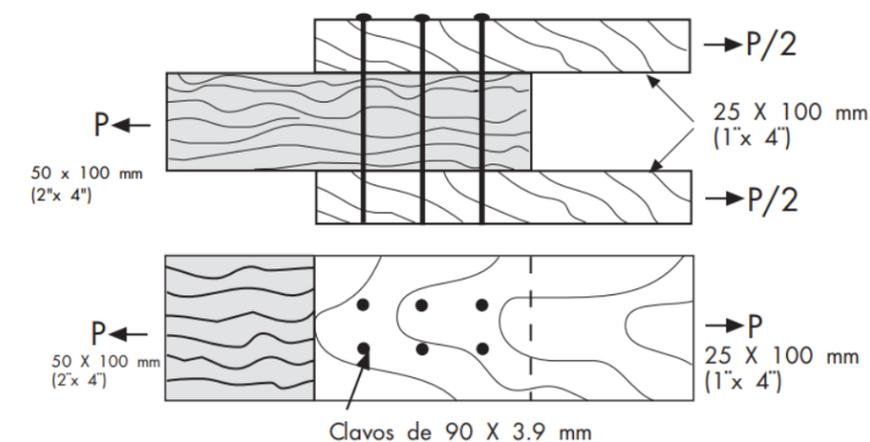
## EJEMPLOS DE DISEÑO

### Ejemplo 1:

Calcular la capacidad de carga que tiene la unión clavada de la figura, sabiendo que la carga P actuará por 1 mes. Se usará Pino Radiata verde aserrado.

$\rho = 370 \text{ kg/m}^3$  (ver Tabla número 5.23 del presente capítulo)

**FIGURA 5.3**  
IMAGEN DEL EJEMPLO 1 A DESARROLLAR



Fuente: De los autores

## DESARROLLO DEL EJEMPLO:

### A) Carga admisible por clavo:

$$\text{Cizalle simple} = P_{cl, ad} = 3,5 \times D_{1,5} \times r$$

$$= 3,5 \times (3,9)_{1,5} \times (370)_{0,5} = 519 \text{ N} = 51,9 \text{ kgf}$$

$$\text{Cizalle doble} = P_{clm, ad} = (m-0,25) \times P_{cl, ad} = (2 - 0,25) \times 51,9 \text{ kgf} = 90,8 \text{ kgf}$$

### B) Factores de modificación:

$$\text{Por duración de la carga} = 1,18$$

$$\text{Por estado de madera (verde)} = 0,75$$

### C) Carga de diseño por clavo:

$$90,8 \times 1,18 \times 0,75 = 80 \text{ kgf}$$

### D) Capacidad de carga de la unión:

$$80 \text{ kgf/clavo} \times 6 \text{ clavos} = 480 \text{ kgf}$$

## 5.2.7 TABLAS

A continuación, se presenta un conjunto de tablas que provienen desde la Norma chilena principalmente utilizada en el presente capítulo de madera, la NCh1198.Of91 (reemplazada en 2014).

**TABLA 5.15**

TENSIONES ADMISIBLES Y MÓDULO DE ELASTICIDAD EN FLEXIÓN PARA PINO RADIATA SECO (H = 12%) ASERRADO

Grado estructural (*)	Tensiones admisibles en kgf/cm <sup>2</sup> para sollicitación de:					
	Flexión	Compresión paralela	Compresión normal	Cizalle	Tracción paralela	Módulo elasticidad
G5	110	83	25	9	66	10,5 x 10 <sup>4</sup>
G1	75	56	25	7	45	9,0 x 10 <sup>4</sup>
G2	40	40	25	4	20	7,0 x 10 <sup>4</sup>

(\*) Definido en NCh1207.Of90 (reemplazada en 2017).  
Depende de los defectos de la pieza donde:

GRADO: G5: Para piezas de gran capacidad resistente.

G1: Para piezas usadas en tipologías constructivas normales.

G2: Para piezas de baja capacidad resistente.

NOTA: Para efectos prácticos de diseño, se recomienda el uso del grado G2.

**TABLA 5.16**

TENSIONES ADMISIBLES Y MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA PIEZAS ESTRUCTURALES DE MADERA DE SECCIÓN TRANSVERSAL CIRCULAR, USADAS EN SU FORMA NATURAL. ESTADO VERDE

Especie Maderera	Tensiones admisibles en kgf/cm <sup>2</sup> para sollicitación de:					
	Flexión	Compresión paralela	Compresión normal	Cizalle	Tracción paralela	Módulo elasticidad
Pino Radiata	138	54	24,5	7,1	83	6,42 x 10 <sup>4</sup>
Eucalipto	325	177	84,7	17,3	195	12,43 x 10 <sup>4</sup>

**TABLA 5.17**

FACTOR DE MODIFICACIÓN POR USO EN ESTADO SECO (KS)

Aplicar a la tensión admisible	Ks para especie maderera	
	Pino Radiata	Eucalipto
Flexión	1,25	1,25
Compresión paralela	1,25	1,25
Compresión normal	1,25	1,25
Cizalle	1,12	1,06
Tracción paralela	1,25	1,25
Módulo de elasticidad	1,12	1,12

**TABLA 5.18**

VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES RESISTENTES PARA UNA VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD IGUAL A 1%

Solicitud	Variación de la resistencia, Dr
Flexión	0,0205
Compresión paralela	0,0205
Compresión normal	0,0267
Cizalle	0,0160
Tracción paralela	0,0205
Módulo de elasticidad	0,0148

**TABLA 5.19**

DENSIDAD ANHÍDRIDA DE ALGUNAS ESPECIES

Especie maderera (Nombre común)	Densidad anhídrida característica, r, (kg/m <sup>3</sup> )
Álamo	357
Pino Radiata	370
Eucalipto	543

**TABLA 5.20**  
ESPEORES Y ANCHOS NOMINALES PARA MADERA ASERRADA Y MADERA CEPILLADA CON 12% DE CONTENIDO DE HUMEDAD.

DN ancho espesor	Espesor x ancho											
	Madera	50	63	75	88	100	125	150	175	200	225	250
13	Aserrada verde	11 x 48	11 x 60	11 x 73	11 x 86	11 x 98	11 x 123	11 x 148	11 x 173	11 x 200	11 x 223	11 x 248
	Aserrada seca	10 x 45	10 x 57	10 x 69	10 x 82	10 x 94	10 x 118	10 x 142	10 x 166	10 x 190	10 x 214	10 x 235
	Cepillada seca	8 x 41	8 x 53	8 x 65	8 x 78	8 x 90	8 x 114	8 x 138	8 x 162	8 x 185	8 x 210	8 x 230
19	Aserrada verde	18 x 48	18 x 60	18 x 73	18 x 86	18 x 98	18 x 123	18 x 148	18 x 173	18 x 200	18 x 223	18 x 248
	Aserrada seca	17 x 45	17 x 57	17 x 69	17 x 82	17 x 94	17 x 118	17 x 142	17 x 166	17 x 190	17 x 214	17 x 235
	Cepillada seca	14 x 41	14 x 53	14 x 65	14 x 78	14 x 90	14 x 114	14 x 138	14 x 162	14 x 185	14 x 210	14 x 230
25	Aserrada verde	22 x 48	22 x 60	22 x 73	22 x 86	22 x 98	22 x 123	22 x 148	22 x 173	22 x 200	22 x 223	22 x 248
	Aserrada seca	21 x 45	21 x 57	21 x 69	21 x 82	21 x 94	21 x 118	21 x 142	21 x 166	21 x 190	21 x 214	21 x 235
	Cepillada seca	19 x 41	19 x 53	19 x 65	19 x 78	19 x 90	19 x 114	19 x 138	19 x 162	19 x 185	19 x 210	19 x 230
38	Aserrada verde	38 x 48	38 x 60	38 x 73	38 x 86	38 x 98	38 x 123	38 x 148	38 x 173	38 x 200	38 x 223	38 x 248
	Aserrada seca	36 x 45	36 x 57	36 x 69	36 x 82	36 x 94	36 x 118	36 x 142	36 x 166	36 x 190	36 x 214	36 x 235
	Cepillada seca	33 x 41	33 x 53	33 x 65	33 x 78	33 x 90	33 x 114	33 x 138	33 x 162	33 x 185	33 x 210	33 x 230
50	Aserrada verde	48 x 48	48 x 60	48 x 73	48 x 86	48 x 98	48 x 123	48 x 148	48 x 173	48 x 200	48 x 223	48 x 248
	Aserrada seca	45 x 45	45 x 57	45 x 69	45 x 82	45 x 94	45 x 118	45 x 142	45 x 166	45 x 190	45 x 214	45 x 235
	Cepillada seca	41 x 41	41 x 53	41 x 65	41 x 78	41 x 90	41 x 114	41 x 138	41 x 162	41 x 185	41 x 210	41 x 230
63	Aserrada verde		60 x 60	60 x 73	60 x 86	60 x 98	60 x 123	60 x 148	60 x 173	60 x 200	60 x 223	60 x 248
	Aserrada seca		57 x 57	57 x 69	57 x 82	57 x 94	57 x 118	57 x 142	57 x 166	57 x 190	57 x 214	57 x 235
	Cepillada seca		53 x 53	53 x 65	53 x 78	53 x 90	53 x 114	53 x 138	53 x 162	53 x 185	53 x 210	53 x 230
75	Aserrada verde			73 x 73	73 x 86	73 x 98	73 x 123	73 x 148	73 x 173	73 x 200	73 x 223	73 x 248
	Aserrada seca			69 x 69	69 x 82	69 x 94	69 x 118	69 x 142	69 x 166	69 x 190	69 x 214	69 x 235
	Cepillada seca			65 x 65	65 x 78	65 x 90	65 x 114	65 x 138	65 x 162	65 x 185	65 x 210	65 x 230
88	Aserrada verde				86 x 86	86 x 98	86 x 123	86 x 148	86 x 173	86 x 200	86 x 223	86 x 248
	Aserrada seca				82 x 82	82 x 94	82 x 118	82 x 142	82 x 166	82 x 190	82 x 214	82 x 235
	Cepillada seca				78 x 78	78 x 90	78 x 114	78 x 138	8 x 162	78 x 185	78 x 210	78 x 230
100	Aserrada verde					98 x 98	98 x 123	98 x 148	98 x 173	98 x 200	98 x 223	98 x 248
	Aserrada seca					94 x 94	94 x 118	94 x 142	94 x 166	94 x 190	94 x 214	94 x 235
	Cepillada seca					90 x 90	90 x 114	90 x 138	90 x 162	90 x 185	90 x 210	90 x 230

Los valores contenidos en esta tabla corresponden a los que común y actualmente son utilizados en la comercialización de pino radiata.

**TABLA 5.21**  
TABLA DE EQUIVALENCIA ENTRE DIMENSIONES NOMINALES Y DENOMINACIÓN COMERCIAL.

DN mm	13	19	25	38	50	63	75	88	100	125	150	175	200	225	250
Aserrada verde	11	18	22	38	48	60	73	86	98	123	148	173	200	223	248
Aserrada seca	10	17	21	36	45	57	69	82	94	118	142	166	190	214	235
Cepillada seca	8	14	19	33	41	53	65	78	90	114	138	162	185	210	230
DC (adimensional)	1/2	3/4	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4	5	6	7	8	9	10

Los valores contenidos en esta tabla corresponden a los que común y actualmente son utilizados en la comercialización de pino radiata.

## 5.3

### MOLDAJES

*La finalidad de este capítulo es entregar los antecedentes más relevantes para uso en obra relativos a moldajes. Las recomendaciones indicadas se entregan a modo de orientación, debiendo ser chequeadas por un especialista.*

TEMAS TRATADOS	5.3.1	Consideraciones generales
	5.3.2	Principales factores que considerar en el diseño
	5.3.3	Ejemplo de diseño
	5.3.4	Moldajes típicos

#### 5.3.1 CONSIDERACIONES GENERALES

##### FACTORES PARA CONSIDERAR

- A) Fabricación y colocación
- B) Materiales

##### A) FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN

Los moldajes deberán construirse y colocarse tan exactamente como sea posible, respecto de las alineaciones, pendientes y dimensiones indicadas (excepto cuando sea necesario construir una contraflecha, indicada más adelante), tal que el hormigón recién terminado cumpla con las tolerancias especificadas en el proyecto o en su defecto con las recomendadas en el Capítulo 3, punto 3.7.1 C2).

Durante y después del montaje de los moldajes, es necesario llevar a cabo una inspección visual cuidadosa con el fin de detectar irregularidades que afectarán la terminación del hormigón; la superficie interior de los moldajes será de una calidad tal que permita obtener la terminación especificada en el proyecto.

Es recomendable instalar «testigos» (cuerdas de alineación y de plomada puestas en sitio durante las operaciones de colocación), en varios lugares de los moldajes, particularmente en aquellos donde pueda esperarse asentamiento o deflexión debido al volumen del elemento. Estos testigos darán advertencia oportuna de cualquier irregularidad, pudiendo entonces tomarse acciones inmediatas. Para este efecto, se sugiere un trabajador dedicado todo el tiempo de colocación del

hormigón a verificar estos testigos; detener eventuales filtraciones, verificar y apretar los moldajes, accesorios y arriostramientos según se requiera.

En elementos de luces importantes se considerará, en el diseño de los moldajes, la contraflecha que establezcan las especificaciones del proyecto. Independientemente de lo anterior, cuando la luz de un elemento sobrepasa los 6 m, se recomienda usar una contraflecha del orden de 1/500 de la luz, para conseguir un aspecto agradable.

Para evitar la adherencia entre moldajes y hormigón, la superficie de contacto debe tratarse con algún desmoldante, los que generalmente corresponden a productos comerciales orientados a ese uso. La elección del desmoldante va a depender de las características requeridas, por ejemplo, si se desea fabricar hormigón a la vista, deberá usarse desmoldante especial para aquello. Existen en el mercado desmoldantes especialmente diseñados para moldajes de madera, como para metal.

El retiro de los moldajes debe efectuarse con suavidad para no deteriorar ni al moldaje ni al hormigón, especialmente en los bordes y esquinas; antes de volver a usarlos deben limpiarse, y en caso de ser necesario reacondicionarlos (llenar costuras abiertas, aplanar los tableros alabeados, enderezar las caras metálicas y hacer coincidir nuevamente las juntas con otras). Los moldajes deben ser reemplazados cuando el uso los haya deteriorado.

## B) MATERIALES

Los materiales más utilizados en nuestra Industria –para los moldajes– son la madera y el acero, donde la madera se utiliza generalmente para requerimientos de superficies a tratar en proyectos de menor escala, y el acero se utiliza generalmente en proyectos de escala intermedio o de gran escala. En el último tiempo se han implementado también moldajes en base a aluminio, los que generalmente se fabrican a medida para el proyecto, los que son beneficiosos en facilidad de montaje, debido a su peso, pero se debe tener en cuenta que el aluminio es un material que se puede dañar más fácilmente cuando se utiliza de manera inadecuada; a continuación se presentarán los moldajes asociados a los materiales madera y acero.

### Maderas

Lo más común es utilizar maderas en bruto, en general de Pino, debido a su resistencia y duración:

- Lo típico es usar tableros confeccionados con tablas de 25 mm x 150 mm (1" x 6") y 25 mm x 175 mm (1" x 7"), listones de 25 mm x 50 mm (1" x 2") y 25 mm x 75 mm (1" x 3") y, generalmente, se les puede dar dos o tres usos dependiendo del cuidado que hayan tenido (limpieza, buen desmoldante, cuidados al descimbrar).
- Cuando se requiere hormigón a la vista, se utilizan maderas cepilladas, machihembradas (por ejemplo, el pino) o bien tablas en bruto revestidas con un terciado o madera prensada; todo esto dependiendo de la terminación que se le quiere dar a dicho elemento.

En cuanto a elementos complementarios, estos sistemas de moldajes requieren principalmente de clavos y amarras; los primeros de dimensiones comprendidas entre 2 1/2" a 4" y los segundos de alambre negro #14, y para muros se utilizan pernos.

### Acero

Se utilizan preferentemente cuando se requiere hormigón a la vista, debido a la planeidad que generará; aunque son de un costo inicial más alto, éste se compensa en función del número de usos. En general se utilizan planchas de 1,5 mm a 2,0 mm de espesor, reforzadas con perfiles de acero.

Al igual que los moldajes de madera, su duración dependerá de los cuidados que se tenga con ellas; son ideales para faenas en donde se utilizan moldajes prefabricados con modulaciones definidas.

## 5.3.2 PRINCIPALES FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO

Para una correcta coordinación y ejecución del proceso de moldajes de un proyecto, se requiere definir de manera correcta una serie de aspectos asociados a las características del proyecto, los que se indican a continuación:

### A) DIMENSIONES Y CANTIDAD DE MATERIAL

Se deben establecer las dimensiones óptimas a las cuales deben ajustarse los elementos principales de los moldajes que van a montarse. La unidad básica de moldaje, ya sea un pequeño tablero tipo modular o un conjunto grande, desmontable o movable por medio de grúa, podrá ser usada con modificaciones para sucesivas operaciones de hormigonado en toda la obra; es decir, es conveniente considerar dimensiones de moldaje que permitan ser extrapoladas a su uso en diversos elementos; de esta forma es común definir tamaños de moldajes en divisiones enteras asociadas al tamaño de la plancha de madera.

La cantidad de unidades básicas dependerá del ciclo o programa de trabajo establecido (por ende, del método constructivo) y del manejo y grado de mecanización que se haya incorporado al sistema.

### B) MANO DE OBRA

El diseño de un sistema de moldajes puede verse seriamente afectado por la calidad y disponibilidad de la mano de obra, como también por la experiencia de los trabajadores. Se debe usar con eficiencia la habilidad del equipo y concebir el sistema que mejor se adapte a ella, ya que esto puede determinar el sitio de fabricación de los moldajes, los materiales que se utilizarán y la forma de manejo.

De esto, y de la supervisión de este proceso, dependerá el logro del estándar de calidad, la posibilidad de un uso eficiente y exacto de los trabajos.

### C) INSTALACIONES Y EQUIPOS

Gran parte del diseño de los moldajes depende de las instalaciones y equipos que se disponen en la obra. Se debe prever, en el diseño, la disponibilidad de equipos en el caso que éstos se usen tanto para el montaje de los moldajes como para el proceso de colocación de armaduras y hormigón, asegurando que exista continuidad en las labores y la mejor utilización de la mano de obra.

Además, se debe considerar el método y la velocidad de colocación del hormigón, como también los equipos de compactación utilizados.

### D) MATERIALES

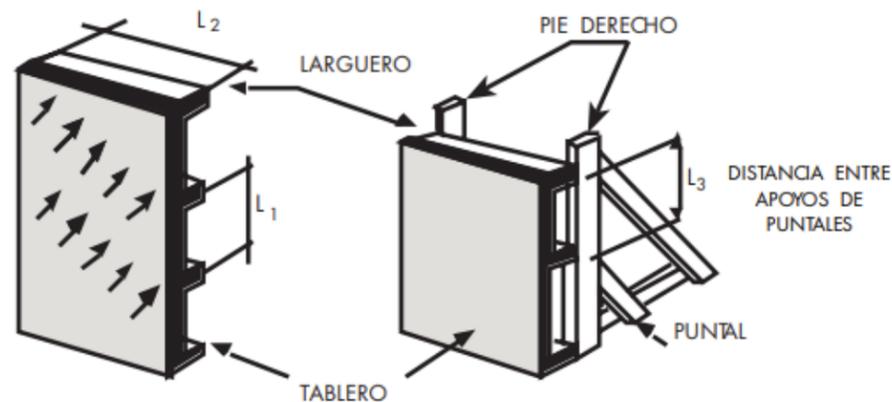
Para la selección de los materiales, se debe considerar tanto la cantidad de usos que se dará a los moldajes, los requisitos para el acabado superficial del hormigón estipulados en las especificaciones y la velocidad requerida para dicho proceso, entre otros factores.

#### 5.3.3 EJEMPLO DE DISEÑO

A modo de orientación, se indica un ejemplo básico de diseño. El diseño debe ser realizado por un especialista.

Diseñar el moldaje para un muro de 2,1 m de alto, con una densidad del hormigón de 2.400 kg/m<sup>3</sup> y una temperatura de colocación de 15 °C. El muro será hormigonado uniformemente en 1 hora.

**FIGURA 5.5**  
IMAGEN DEL EJEMPLO DE DISEÑO A DESARROLLAR



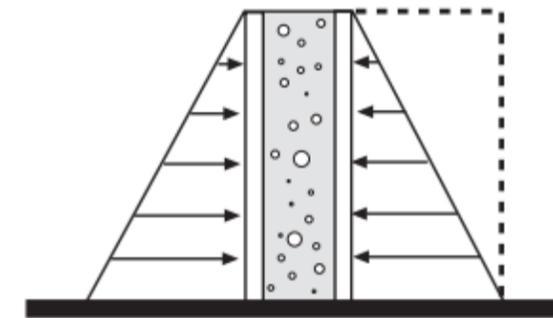
Fuente: Propia

Desarrollo:

#### A) DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN DE DISEÑO (P):

- Velocidad de hormigonado = (altura de vaciado: tiempo de llenado)
- De la tabla 5.22, para R = 2,1 y T = 16 °C, se obtiene que la presión es 5.597 kgf/m<sup>2</sup>
- La distribución de esfuerzos sobre el moldaje se comporta de manera similar a lo indicado en la imagen siguiente:

**FIGURA 5.6**  
IMAGEN DEL EJEMPLO DE DISEÑO A DESARROLLAR

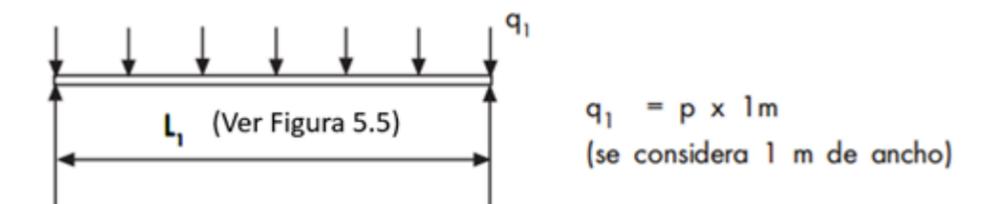


Fuente: Propia

#### B) DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DEL TABLERO:

Se puede suponer espaciamientos entre los largueros cada 30 a 50 cm y calcular el tablero como sigue:

**FIGURA 5.7**  
IMAGEN REPRESENTATIVA PARA LA DEFINICIÓN DEL ESPESOR DEL TABLERO

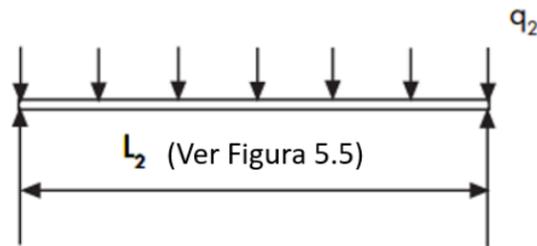


Fuente: Propia

### C) DETERMINACIÓN DE LA ESCUADRÍA DE LOS LARGUEROS:

Carga sobre larguero = (presión hormigón x L1) = q2

**FIGURA 5.8**  
IMAGEN REPRESENTATIVA PARA LA DEFINICIÓN DE LAS ESCUADRÍAS

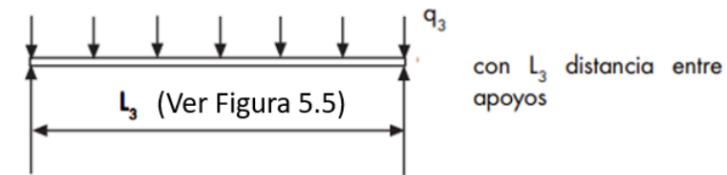


Fuente: Propia

### D) DETERMINACIÓN DE LOS PIES DERECHOS:

Carga sobre cada uno = (presión hormigón x L2/2) = q3

**FIGURA 5.9**  
IMAGEN REPRESENTATIVA PARA LA DEFINICIÓN DE LAS ESCUADRÍAS

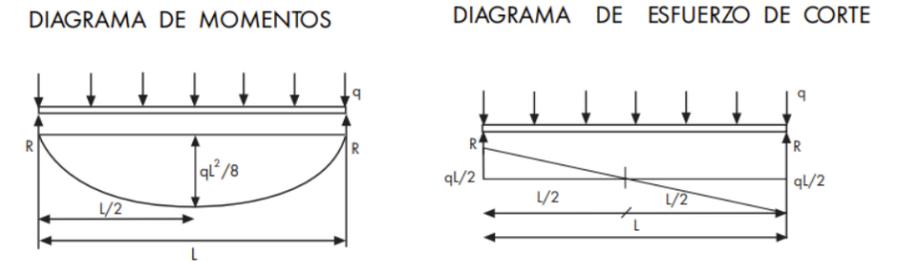


Fuente: Propia

### E) DISEÑO:

#### E1 - Determinación de esfuerzos

**FIGURA 5.10**  
IMAGEN REPRESENTATIVA PARA LA DEFINICIÓN DE LAS ESCUADRÍAS



$$M \text{ máx} = qL^2/8$$

$$V \text{ máx} = qL/2$$

$$\Delta \text{ máx} = 5qL^4/384 EI$$

con E : módulo de elasticidad de flexión.

I : momento de inercia de la viga.

Para sección rectangular:  $I = (1/12) bh^3$

Fuente: Propia

#### E2 - Tensiones

##### Tensión de flexión

$$\sigma = \frac{M_{\text{máx}}}{W} \leq \sigma_{\text{dis}}$$

con  $W = bh^2/6$  para sección rectangular de ancho b y altura h.  
 $\sigma_{\text{dis}} = \sigma_{\text{adm}} \times K_h \times K_D \times K_{hf}$  (Ref. capítulo 5. pto. 5.2.).

##### Tensión de cizalle

$$\tau = \frac{3V_{\text{máx}}}{2bh} \leq V_{\text{dis}}$$

con  $\tau$  = Tensión máxima de corte.  
 $V_{\text{dis}} =$  Tensión de diseño por corte.  
 $= V_{\text{adm}} \times K_h \times K_D$  (Ref. capítulo 5. pto. 5.2.).

### E3 – Deformación admisible

$$\text{Suponer } \Delta_{adm} = L/300$$

$$\Delta_{m\acute{a}x.} \leq \Delta_{adm}$$

NOTA: Con respecto a las tablas indicadas a continuación, se han utilizado los lineamientos indicados en la ACI 347-04 a partir de la siguiente ecuación:

$$P_{max} = C_w C_c \left[ 7.2 + \frac{785R}{T + 17.8} \right] \quad (2.2)$$

Donde:

C<sub>w</sub>: Coeficiente asociado a la densidad del concreto (se utilizó valor igual a 1,0)

C<sub>c</sub>: Coeficiente asociado al tipo de cemento (se utilizó valor igual a 1,0)

R: Tasa de colocación altura de vaciado (m) / Tiempo de llenado (h)

T: Temperatura de colocación en grados Celsius

**TABLA 5.22**  
MÁXIMA PRESIÓN LATERAL EN EL DISEÑO DE MOLDAJE DE MUROS

Velocidad de vaciado, R (m/h)(*)	P, Presión lateral máxima (kgf/m2) a la temperatura indicada (°C)					
	32	27	21	16	10	4
0,3	1193	1246	1327	1417	1567	1800
0,6	1666	1771	1934	2113	2414	2881
0,9	2139	2297	2541	2810	3261	3961
1,2	2612	2823	3148	3507	4108	5041
1,5	3084	3348	3755	4204	4956	6121
1,8	3557	3874	4362	4900	5803	7202
2,1	4030	4400	4969	5597	6650	8282
2,4	4503	4925	5576	6294	7497	9362
2,7	4976	5451	6183	6991	8344	10442
3,0	5449	5977	6790	7687	9191	11523
3,4	6079	6678	7599	8616	10321	12963
3,7	6552	7203	8206	9313	11168	14043
4,0	7025	7729	8813	10010	12015	15124

(\*) R = Altura de vaciado (m)/Tiempo de llenado (h)

Fuente: Propia en base a ecuación 2.2 ACI347

**TABLA 5.23**  
MÁXIMA PRESIÓN LATERAL EN EL DISEÑO DE MOLDAJE DE COLUMNAS

Velocidad de vaciado, R (m/h)(*)	P, Presión lateral máxima (kgf/m2) a la temperatura indicada (°C)					
	32	27	32	16	32	4
0,3	1193	1246	1327	1417	1567	1800
0,6	1666	1771	1934	2113	2414	2881
0,9	2139	2297	2541	2810	3261	3961
1,2	2612	2823	3148	3507	4108	5041
1,5	3084	3348	3755	4204	4956	6121
1,8	3557	3874	4362	4900	5803	7202
2,1	4030	4400	4969	5597	6650	8282
2,4	4503	4925	5576	6294	7497	9362
2,7	4976	5451	6183	6991	8344	10442
3,0	5449	5977	6790	7687	9191	11523
3,4	6079	6678	7599	8616	10321	12963
3,7	6552	7203	8206	9313	11168	14043
4,0	7025	7729	8813	10010	12015	15124

(\*) R = Altura de vaciado (m)/Tiempo de llenado (h)

Fuente: Propia en base a ecuación 2.2 ACI347

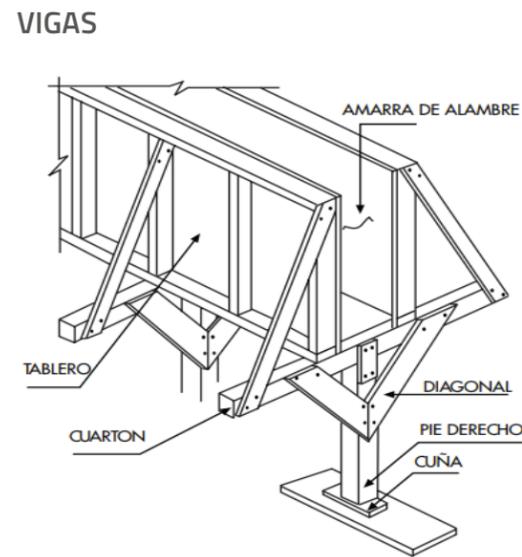
### 5.3.4 MOLDAJES TÍPICOS

Los moldajes típicos, sus dimensiones y formas se entregan a modo de orientación, debiendo ser chequeados por un especialista.

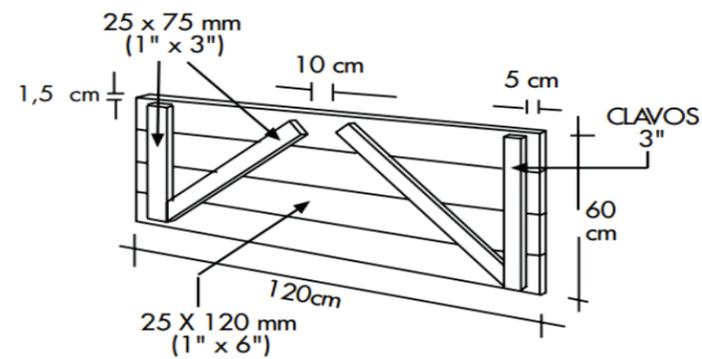
Las dimensiones presentadas responden a los sistemas de moldaje en madera.

#### 5.3.4.1 VIGAS Y TABLERO DONATH

**FIGURA 5.11**  
IMAGEN REPRESENTATIVA DE MOLDAJES TIPO VIGAS Y TABLERO MODULADO DONATH



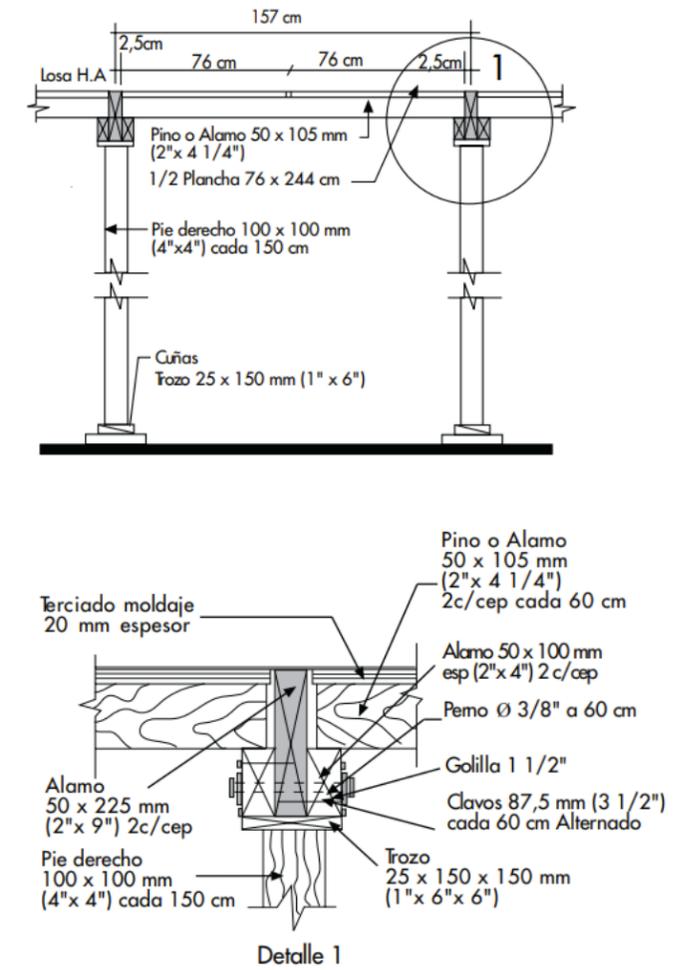
**TABLERO DONATH (Modulado)**



Fuente: Propia

#### 5.3.4.2 LOSAS

**FIGURA 5.12**  
IMAGEN REPRESENTATIVA DE MOLDAJES TIPO LOSA

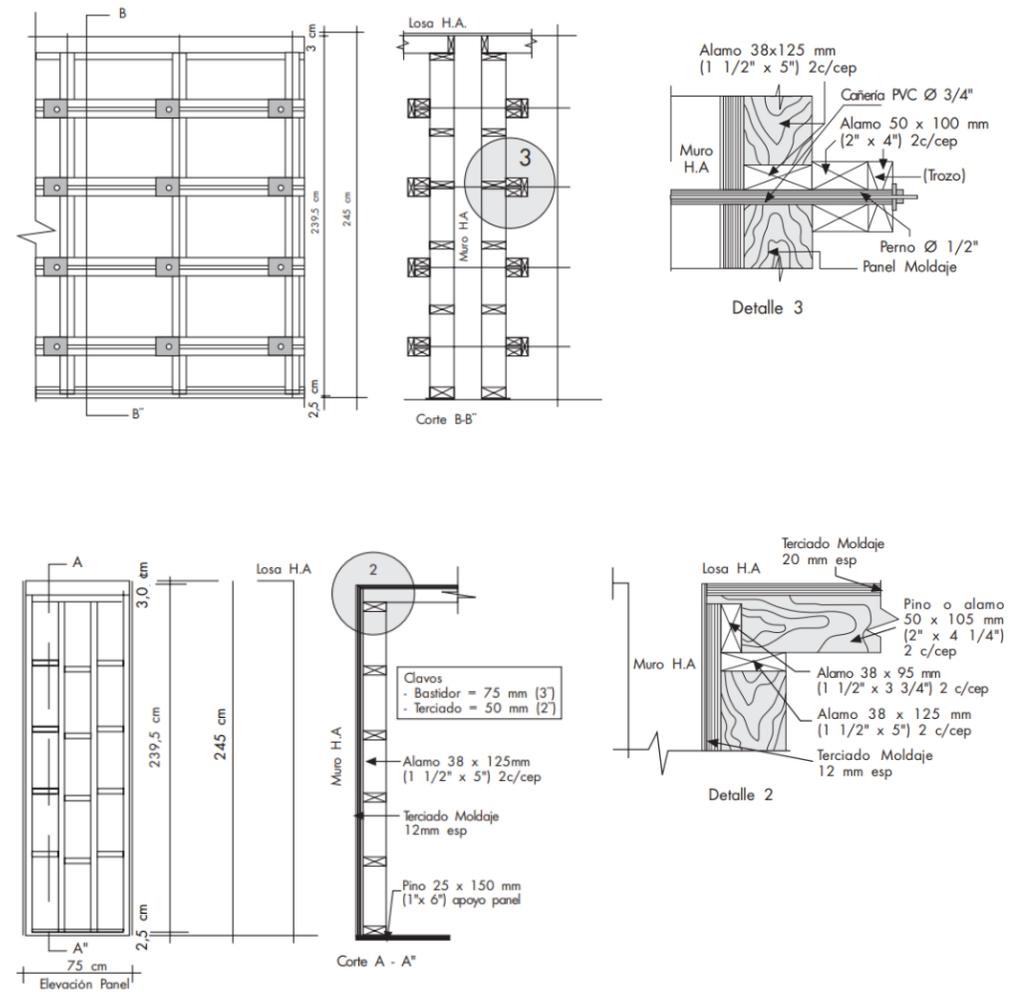


Fuente: Propia

### 5.3.4.3 MUROS

FIGURA 5.13

IMAGEN REPRESENTATIVA DE MOLDAJES TIPO PARA MUROS



Fuente: Propia

# 6.

## MORTEROS Y ALBAÑILERÍAS

---

- 6.1 Morteros
  - 6.2 Albañilerías de ladrillos cerámicos
  - 6.3 Albañilerías de bloques huecos de hormigón
  - 6.4 Materialización de las albañilerías
  - 6.5 Estucos
  - 6.6 Lechadas para inyecciones
- 



## 6.1

### MORTEROS

*El mortero es una mezcla constituida por cemento, arena y en algunos casos otro material conglomerante como la cal que, con adición de agua, reacciona y adquiere resistencia. También puede tener algún aditivo y/o adición para modificar sus propiedades, siempre que éste cumpla los requisitos según su uso.*

Si bien son muchos los tipos de morteros, los principales son:

Morteros de albañilería (ver 6.2 y 6.3)

Morteros de revestimientos o estucos (ver 6.5)

En esta primera parte se tratará los siguientes temas.

#### TEMAS TRATADOS

6.1.1. Materiales componentes

6.1.2. Propiedades de los morteros

6.1.3. Clasificación y requisitos de los morteros

#### 6.1.1. MATERIALES COMPONENTES

##### A) CEMENTO

Se usa cemento de uso normal, que cumple con las especificaciones de la norma NCh148.

##### B) ARENAS

Las arenas deben cumplir con los requisitos granulométricos establecidos en la norma NCh 163 y que se muestran en Tabla 6.1.

**TABLA 6.1**  
REQUISITOS  
GRANULOMÉTRICOS  
DE LA ARENA

Abertura tamiz (mm)	Tamaño máximo, Dn, mm		
	Hormigón y mortero	Mortero	
	4,75	2,36	1,18
9,5	100	--	--
4,75	95 - 100	100	--
2,36	80 - 100	95 - 100	100
1,18	50 - 85	70 - 100	95 - 100
0,600	25 - 60	40 - 75	50 - 100
0,300	5 - 30	10 - 35	15 - 40
0,150	0 - 10	2 - 15	2 - 20
Módulo de finura	3,45 - 2,15	2,83 - 1,75	2,38 - 1,40
% Retenido entre 0,315 y 0,160	--	< 25	< 25
% Retenido en dos mallas sucesivas	--	< 45	

Fuente: NCh163:2013

Los áridos con la granulometría adecuada reducen la segregación de los materiales en el mortero plástico, lo que a su vez reduce la exudación y mejora la trabajabilidad. Una arena con pocos finos produce morteros ásperos, mientras que las arenas con exceso de finos producen morteros débiles y aumentan la contracción.

Por otra parte, para los morteros de albañilería, la arena debe tener un tamaño máximo nominal Dn que sea menor o igual a 1/3 del espesor de la junta.

##### C) AGUA

El agua debe cumplir con los requisitos de la norma NCh1498 Hormigón y mortero - Agua de Amasado - Clasificación y Requisitos.

Estos requisitos son válidos tanto para el amasado como para el curado de los morteros.

Se destaca que el agua potable que proviene directamente de la red pública y que no se ha contaminado antes de su uso, no requiere de una verificación previa de los requisitos para ser usada en la confección de hormigones y morteros.

##### D) CAL

La cal es un producto obtenido por descomposición térmica (calcinación) de minerales calcáreos, que da origen al óxido de cal (cal viva). El posterior apagado con agua de la cal viva origina la cal hidratada.

Esta cal hidratada pasa a ser cal hidráulica si tiene cantidades apropiadas de compuestos hidráulicos sílico-aluminosos cálcicos, que permiten su endurecimiento bajo agua; la cal hidráulica puede ser "natural" si se obtiene a partir de calizas arcillosas o "compuesta" cuando el material sílico-aluminoso (por ejemplo, puzolana) se agrega posterior a la calcinación.

La cal aérea se obtiene de calizas bastante puras y cuando está hidratada reacciona con el CO<sub>2</sub> del aire.

Los requisitos que debe cumplir la cal están establecidos en la norma NCh2256/1, y se presentan en Tabla 6.2 y Tabla 6.3.

**TABLA 6.2**  
REQUISITOS QUÍMICOS  
PARA LAS CALES DE USO  
EN MORTEROS (%)

Componente		Cal aérea	Cal hidráulica	
			Natural	Compuesta
CaO + MgO	mín.	80	30	--
Ca(OH) <sub>2</sub>	mín.	50	25	10
MgO	máx.	5	5	5
SiO <sub>2</sub>	mín.	--	12	--
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + SiO <sub>2</sub>	mín.	--	15	--
CO <sub>2</sub> , en fábrica	máx.	5	8	8
CO <sub>2</sub> , en obra	máx.	7	--	--
Residuo insoluble	mín.	5	--	--

Fuente: NCh2256/1:2013

**TABLA 6.3**  
REQUISITOS FÍSICOS  
Y MECÁNICOS PARA  
LAS CALES DE USO  
EN MORTEROS

Características		Cal aérea	Cal hidráulica		Norma de ensayo
			Natural	Compuesta	
Finura					
Retenido 0,600 mm	% máx.	0,5	0,5	1,0	ASTM C110
Retenido 0,150 mm	% máx.	--	5		
Retenido 0,075 mm	% máx.	10	15	20	
Finura Blaine	cm <sup>2</sup> /g mín.	14000	--	--	NCh159
Índice de plasticidad	% mín.	12	--	--	NCh1517
Inicio de fraguado	h, mín.		2	2	NCh152
Fin de fraguado	h, máx.		48	48	NCh152
Retentividad de agua	% mín.	85	75	70	NCh2259
Resistencia a compresión a 28 días, MPa, mín.		--	2	2,5	NCh158

Fuente: NCh2256/1:2013

## E) ADITIVOS Y ADICIONES

Los aditivos deben cumplir con NCh2182. Se pueden utilizar otros aditivos no contemplados en la norma si se comprueba que no afectan el cumplimiento de los requisitos.

Las adiciones deben cumplir con lo especificado en NCh170.

Los ensayos de verificación de requisitos se deben realizar en morteros de prueba confeccionados según NCh2260.

## 6.1.2. PROPIEDADES DE LOS MORTEROS

Los morteros tienen dos grupos distintos de propiedades: las propiedades en estado plástico y las propiedades en estado endurecido. Las propiedades en estado plástico determinan la adaptabilidad del mortero en la obra y están relacionadas con las propiedades en estado endurecido y por tanto con los elementos estructurales terminados. Las propiedades en estado plástico ayudan a determinar si un mortero es adecuado para la obra. Las propiedades de los morteros endurecidos ayudan a determinar el comportamiento de la albañilería terminada.

Las propiedades más relevantes son las siguientes:

### A) TRABAJABILIDAD

Un mortero trabajable se puede esparcir fácilmente con una plana en las irregularidades superficiales y entre las unidades de albañilería. Un mortero trabajable soporta el peso de las unidades de albañilería colocadas y también facilita la alineación de éstas. Se adhiere a la superficie vertical de albañilería y rápidamente sale de entre las juntas cuando el albañil presiona una unidad para alinearla. La trabajabilidad es una combinación de varias propiedades, incluyendo plasticidad, consistencia, cohesión y adhesión, las cuales han desafiado a una medida exacta de laboratorio. El albañil es quien mejor puede medir la trabajabilidad y observar la respuesta del mortero cuando usa la plana.

Al igual que en el hormigón lo que se mide es la consistencia. Los métodos para hacerlo son el extendido en mesa de sacudidas (NCh2257/1) y el asentamiento de cono reducido (NCh2257/3).

En la mesa de sacudidas se llena un molde troncocónico; se compacta y se levanta. Entonces se dan 25 golpes a la mesa, la que cae 13 mm. Se miden 4 diámetros del mortero extendido. Se calcula el promedio aproximando al mm; también se puede expresar como porcentaje del diámetro inicial (100 mm). Es un método internacionalmente reconocido; sin embargo, sólo es aplicable para medidas de laboratorio. Ver Figura 6.1.

En obra se utiliza el asentamiento de cono. Se emplea un molde troncocónico que es la mitad del cono de Abrams: 15 cm de altura, 10 y 5 cm de diámetro inferior y superior, respectivamente (ver Figura 6.2). Se compacta en dos capas con 20 golpes de pisón de 10 mm de diámetro. Se enrasa, se levanta y se mide el descenso. El cono de Abrams no es apto para morteros.

Ambas medidas están relacionadas, como se muestra en Tabla 6.4.

**FIGURA 6.1**  
MESA DE SACUDIDAS



Fuente: P. U. Católica de Chile. Laboratorio Virtual

**FIGURA 6.2**  
CONO REDUCIDO



Fuente: ICH. Manual del albañil de ladrillos cerámicos

**TABLA 6.4**  
CLASIFICACIÓN DE  
MORTEROS POR  
CONSISTENCIA

Típos	Extendido, mm	Cono, mm
Seca	< 180	< 10
Plástica	180 - 220	10 - 30
Fluida	> 220	< 30

Fuente: NCh2256/1:2013

## B) RETENTIVIDAD.

La retentividad de agua es una medida de la capacidad de un mortero, sometido a succión, de retener su agua de mezclado. Esta propiedad entrega al albañil el tiempo necesario para colocar y ajustar una unidad de albañilería sin que el mortero se rigidice. Cuando hay pérdida de mucha agua por baja retentividad, el mortero es incapaz de adherirse antes de colocar la siguiente unidad de albañilería.

El ensayo está definido por NCh2259. Primero se mide el extendido en la mesa de sacudidas, el mortero de ese ensayo se somete a una succión de 51 mm de columna de mercurio durante un minuto (ver Figura 6.3). Después de la succión se realiza de nuevo el ensayo de extendido.

La retentividad está dada por  $(B - 100)/(A - 100)$ , en porcentaje. A y B son los extendidos inicial y final, respectivamente, ambos en mm.

En general los morteros cemento-arena que se emplean en el país no cumplen con los requisitos mínimos que establece la norma NCh2256/1 y que se verán más adelante. Para mejorar la retentividad es recomendable el uso de cal, incorporadores de aire o aditivos especialmente diseñados para ese fin.

**FIGURA 6.3**  
EQUIPO DE SUCCIÓN NCH2259



Fuente: Holcim. Course of Cement Applications

## C) RESISTENCIA MECÁNICA

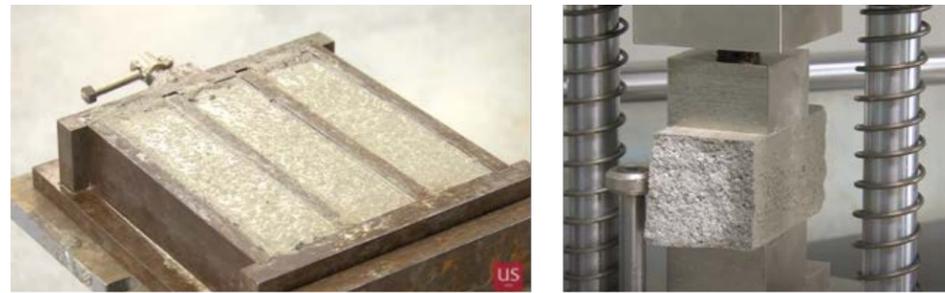
La resistencia a compresión del mortero es usada, casi siempre, como el criterio principal para seleccionar el tipo de mortero, dado que la resistencia a compresión es relativamente fácil de medir y generalmente está relacionada con otras propiedades, como la resistencia a tracción y la absorción del mortero.

La resistencia a la compresión de un mortero aumenta con el aumento del contenido de cemento y disminuye con el aumento de arena, agua o contenido de aire, o con el reemplazo de cemento por cal. El ajuste de trabajabilidad con agua (que hacen los albañiles en obra), es asociado con la disminución de la resistencia a la compresión del mortero.

Para determinar la resistencia de mortero en obra, se utiliza moldes prismáticos (molde RILEM) de 4x4x16 cm, que se llenan en dos capas las que se compactan, cada una, con 25 golpes de un pisón de base cuadrada de 12 mm de lado. El molde tiene 3 vigas las que, normalmente, se ensaya 1 a 7 días y dos a 28 días. No se debe emplear otro tipo de moldes; con probetas cúbicas de 15 cm o cilindros normales, los resultados pueden ser significativamente menores.

En el ensayo (NCh158), primero las probetas se rompen a flexión y cada trozo resultante se ensaya a compresión, con una sección de 4x4 cm. Ver Figura 6.4.

**FIGURA 6.4**  
MOLDE RILEM  
Y ENSAYO A  
COMPRESIÓN



Fuente: Universidad de Sevilla. Recursos audiovisuales

## D) ADHERENCIA

La adherencia es probablemente la propiedad más importante del mortero endurecido, considerada individualmente. Son muchas las variables que influyen en la adherencia, como contenido de aire y cohesividad del mortero, tiempo transcurrido entre la distribución del mortero y colocación de la unidad de albañilería, succión de la unidad de albañilería, retentividad de agua del mortero, presión aplicada a la unión de albañilería durante la colocación de la unidad y la terminación de la unión, textura de las superficies de la unidad en contacto con la unión y las condiciones de curado.

No hay un ensayo universalmente aceptado para medir la adherencia con los ladrillos. Los ensayos de ASTM E 518 consisten en cargar hasta rotura un prisma de ladrillos y mortero, ensayado como viga simplemente apoyada, con carga en los tercios o con carga uniforme.

La norma NCh2471 define un ensayo de adherencia mediante tracción directa, muy útil para mortero de revestimiento. Se prepara el mortero en análisis y se coloca sobre un sustrato horizontal. Con el mortero aún fresco, se presiona unos anillos de 50 mm de diámetro hasta el sustrato, formando así la probeta de ensayo. Con el mortero endurecido se debilita la sección alrededor de la probeta mediante corte; con epoxi se pega un disco fijador de acero sobre la probeta. Se utiliza una máquina que se conecta al disco fijador y provoca una tracción perpendicular a la superficie en forma manual o mecánica (ver Figura 6.5). Si la rotura se produce en el mortero o en el sustrato, el resultado no es válido.

**FIGURA 6.5**  
EQUIPO DE  
ADHERENCIA  
POR TRACCIÓN



Fuente: Holcim. Course of cement applications

## E) ABSORBENCIA

La absorbencia es una medida de la impermeabilidad. La humedad puede seguir un camino vertical u horizontal. El movimiento es vertical cuando el agua asciende por capilaridad desde el suelo y es horizontal cuando la lluvia golpea el paramento.

El ensayo está regido por el Método de ensayo 11.4 de la RILEM. Se aplica a estucos, morteros de albañilería y también a las unidades como ladrillos o bloques. También sirve para determinar el efecto de tratamientos de protección. Se utiliza la llamada pipeta Karsten que se muestra en Figura 6.6. Después de limpiar la superficie, se fija la base de la pipeta con masilla elastomérica (por ejemplo, silicona). Se llena la pipeta hasta la marca 0 y se mide el agua absorbida a los 5, 10, 15, 20, 30 y 60 minutos. Se va agregando agua de manera de tener una carga constante.

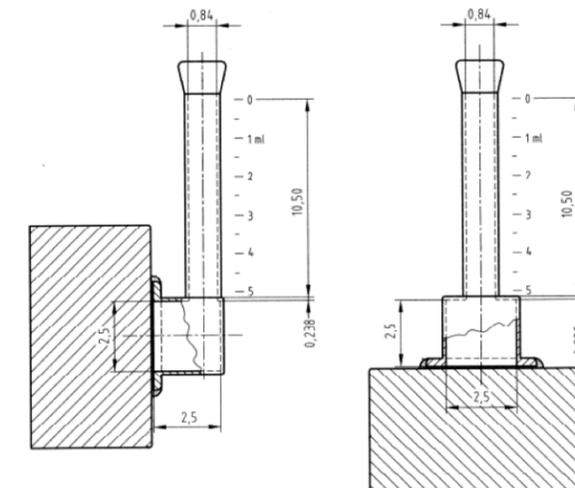
El grado de absorbencia del sustrato se puede representar en mililitros absorbidos en un período de 60 min y se relaciona directamente con la velocidad del viento con lluvia, indicado en Tabla 6.5.

## F) OTRAS PROPIEDADES

Otras características a considerar son:

- Durabilidad
- Contenido de aire
- Tiempo de utilización
- Velocidad de endurecimiento
- Compatibilidad con soporte
- Apariencia uniforme

**FIGURA 6.6**  
ENSAYO RILEM  
11.4 ABSORBENCIA.  
PIPETA KARSTEN



Fuente: NCh2256/1:2013

**TABLA 6.5**  
GRADO DE ABSORBENCIA Y SU RELACIÓN CON SOLICITACIÓN DE LLUVIA CON VIENTO

Absorción, ml	Velocidad de lluvia con viento, km/h	
	Vertical	Horizontal
0,0	158	161
1,0	145	155
2,0	131	140
3,0	114	126
4,0	96	109
5,0	72	89

Fuente: NCh2256/1:2013

### 6.1.3. CLASIFICACIÓN Y REQUISITOS DE LOS MORTEROS

#### A) CLASIFICACIÓN SEGÚN NORMA

##### A1) Morteros de albañilería

Según la resistencia a compresión especificada, determinada en el punto 6.1.2 C, los morteros de albañilería se clasifican como se indica en Tabla 6.6 y los requisitos mínimos que deben cumplir estos morteros se presentan en tabla 6.7.

**TABLA 6.6**  
GRADOS DE MORTERO PARA ALBAÑILERÍA SEGÚN RESISTENCIA ESPECIFICADA

Grado del mortero	Resistencia especificada, f <sub>ma</sub> , MPa
Ma 1,0	1,0
Ma 2,5	2,5
Ma 5,0	5,0
Ma 10,0	10,0
Ma 15,0	15,0
Ma 20,0	20,0
Puede haber especificación mayor a 20 MPa	

Fuente: NCh2256/1:2013

**TABLA 6.7**  
REQUISITOS MÍNIMOS DEL MORTERO PARA ALBAÑILERÍA

Propiedades	Requisitos		Norma de ensayo
	Industrial	Confección obra	
Estado fresco			
a) Consistencia	Intervalo declarado	180 a 220 mm	NCh2257/1
Aptitud			
En obra	Cono reducido 10 a 30 mm		NCh2257/3
b) Retentividad			
Alb. Armada y reforzada	≥ 70%		NCh2259
Otras albañilerías	≥ 60%		
Estado endurecido			
a) Resistencia compresión	Según especificación		NCh2261 y NCh158
b) Adherencia	0,20 MPa mín.		NCh2471

Fuente: NCh2256/1:2013

En cuanto a durabilidad, si las especificaciones de la obra lo contemplan, se debe evaluar la resistencia a los ciclos de congelación y deshielo (NCh2185). También se puede determinar otras propiedades como la permeabilidad al vapor de agua (NCh2457) o la permeabilidad al agua lluvia como coeficiente de absorción (NCh2456). En el caso de juntas de albañilería con enfierradura (escalerilla), el contenido en cloruros solubles en agua del mortero, tal como se suministra, debe ser declarado por el fabricante, y no debe ser mayor que 0,1% con relación a la masa del mortero seco (UNE-EN 1015-17.)

##### A2) Morteros de revestimiento

La clasificación por resistencias de los morteros para estuco se indica en Tabla 6.8 y los requisitos que deben cumplir aparecen en Tabla 6.9.

**TABLA 6.8**  
GRADOS DE MORTERO DE REVESTIMIENTO SEGÚN RESISTENCIA ESPECIFICADA

Grado del mortero	Resistencia especificada, f <sub>mr</sub> , MPa
Mr - A	0,5 < f <sub>mr</sub> ≤ 2,0
Mr - B	2,0 < f <sub>mr</sub> ≤ 4,0
Mr - C	04,0 < f <sub>mr</sub> ≤ 6,0
Mr - D	f <sub>mr</sub> ≥ 6,0

Fuente: NCh2256/1:2013

**TABLA 6.9**  
REQUISITOS MÍNIMOS  
DEL MORTERO PARA  
REVESTIMIENTO.

Propiedades	Requisitos		Norma de ensayo
	Industrial	Confección obra	
Estado fresco			
a) Consistencia	Intervalo declarado	180 a 220 mm	NCh2257/1
Aptitud			
En obra	Cono reducido 10 a 30 mm		NCh2257/3
b) Retentividad	≥ 65%		NCh2259
Estado endurecido			
a) Resistencia compresión	Según especificación		NCh2261 y NCh158
b) Adherencia	0,20 MPa mín.		NCh2471

Fuente: NCh2256/1:2013

## B) CLASIFICACIÓN POR FABRICACIÓN

### B1) Mortero hecho en obra

Es la forma tradicional de fabricación de mortero.

Normalmente la arena debe tamizarse pues las arenas comerciales tienen muchas partículas superiores a 5 mm. La gravilla fina que se genera va a los acopios para hormigón.

En general, en los morteros hechos en obra no se emplea aditivos ni cal. Con esto la retentividad de estos morteros, en el mejor de los casos, es del orden de 50%; es decir, no cumple con los requisitos de la norma.

La resistencia de estos morteros es extremadamente variable, aunque tengan la misma dosificación teórica, por ejemplo, cemento : arena 1:3, en volumen. La razón principal es la variabilidad en la medición de la arena por efecto del esponjamiento, el que no se determina. Por otra parte, cada albañil mide los volúmenes de arena y cemento a su criterio.

Por tal razón, es conveniente preparar la mezcla en una betonera, con volúmenes controlados, usando sólo la humedad que tenga la arena. Esta mezcla se reparte a los diferentes albañiles, los que sólo deben ajustar el agua.

Para los morteros de pega o de albañilería, los albañiles manejan muy bien la plasticidad del mortero. Si queda muy fluido, el mortero no será capaz de soportar la presión de la unidad y escurrirá. Por otra parte, si el mortero está muy seco, la unidad de albañilería no se adhiere, se dice que flota.

### B2) Mortero premezclado

Gran parte de los problemas que tienen los morteros hechos en obra se pueden solucionar

mediante el mortero premezclado. El producto es de gran uniformidad, lo que aumenta la productividad de las cuadrillas.

El mortero se hace con productos controlados, medición en peso y se emplean aditivos. Desde la llegada a la obra, la plasticidad del mortero se mantiene, normalmente, alrededor de 4 horas, aunque se puede solicitar mayor duración.

Hay muchos tipos de morteros premezclados.

Mortero de albañilería, con y sin hidrófugo, de diferentes resistencias a compresión y diferentes plasticidades. Hay para ladrillos y otros para bloques de cemento.

Morteros de pega de baldosas.

Morteros livianos (con poliestireno expandido) de diferentes densidades, bombeable en algunos casos.

Morteros de sobrelosa, bombeable en algunos casos.

Morteros de relleno, muy fluidos, como reemplazo a suelos compactados o emplantillados.

La obra debe estar preparada para recibirlo y poder distribuirlo a los diferentes albañiles.

### B3) Mortero predosificado

El mortero predosificado, también conocido como mortero seco, se produce en planta. En obra es necesario agregar agua según las recomendaciones del fabricante.

Las arenas son seleccionadas y secadas; normalmente se emplean tamaños máximos de 5 y 3 mm. Se emplea aditivos en polvo y cemento en silos.

Los materiales se miden en peso y se mezclan rigurosamente. La distribución es en silos de 20 a 30 toneladas, con y sin humidificador, y en sacos de 25 kg que rinden 15 litros de mortero, aproximadamente.

Son muchos los morteros predosificados. Entre ellos se destaca:

Mortero de albañilería, con y sin hidrófugo. Hay para ladrillos y otros para bloques de cemento.

Morteros de pega de baldosas.

Morteros de pega de enchapes.

Morteros de pega de hormigón celular.

Mortero de estuco exterior, con y sin hidrófugo, con diferentes tamaños máximos de la arena.

Mortero de estuco con fibras (polipropileno).

Mortero de estuco de tableros OSB.

Morteros de estuco con aislación térmica o acústica.

Mortero nivelador de piso.

Morteros coloreados.

## 6.2

# ALBAÑILERÍAS DE LADRILLOS CERÁMICOS

TEMAS TRATADOS

- 6.2.1 Clasificación y requisitos de los ladrillos
- 6.2.2 Requisitos para uso en albañilería
- 6.2.3 Dimensiones y rendimientos por m<sup>2</sup>
- 6.2.4 Manejo en obra
- 6.2.5 Dosificación de morteros para albañilería

### 6.2.1 CLASIFICACIÓN Y REQUISITOS DE LOS LADRILLOS

La clasificación y requisitos de los ladrillos cerámicos de confección industrial están establecidos en la norma NCh169. Los confeccionados en forma artesanal son tratados en la norma NCh2123.

La norma NCh169 define tres tipos de ladrillos industriales.

A máquina macizo, MqM. En general, en Chile no se fabrican. Si se requiere ladrillos macizos se emplean los artesanales.

A máquina perforados, MqP (volumen perforaciones <50% volumen ladrillo). Son los más utilizados para la confección de albañilerías armadas o confinadas.

A máquina huecos, MqH (volumen perforaciones <50% volumen ladrillo). Se utilizan en la confección de tabiques no estructurales.

Según su resistencia, la norma define tres grados.

Los requisitos que deben cumplir los ladrillos se presentan en Tabla 6.10. Una vista de los tipos de ladrillos se presenta en Figura 6.7.

**TABLA 6.10**  
REQUISITOS PARA LADRILLOS HECHOS A MÁQUINA

Requisitos mecánicos	Grados de ladrillos cerámicos hechos a máquina						
	1		2		3		
	Clases de ladrillos cerámicos						
	MqM	MqP	MqH	MqP	MqH	MqP	MqH
Resistencia mínima a la compresión (MPa)	15	15	15	11	11	5	5
Absorción de agua, máxima (%)	14	14	14	16	16	18	18
Adherencia mínima, (MPa) (área neta)	0,4	0,4	0,4	0,35	0,35	0,3	0,25

Fuente: NCh169.Of2001

Para los ladrillos artesanales, la norma NCh2123, de albañilería confinada, establece los requisitos que se muestran en Tabla 6.11.

**FIGURA 6.7**  
TIPOS DE LADRILLOS

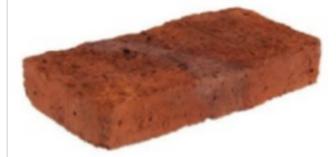
Ladrillo perforado, MqP



Ladrillo hueco, MqH



Ladrillo artesanal



Fuente: Sodimac.cl

**TABLA 6.11**  
REQUISITOS PARA LOS LADRILLOS ARTESANALES

Propiedades	Valores
Resistencia a compresión, mínima (MPa)	4
Absorción de agua, máxima %	22
Adherencia, mínima (MPa)	0,18

Fuente: NCh2123.Of1997. Modificada en 2003

La norma NCh169 también da una clasificación por uso de los ladrillos:

Cara vista, V

Para ser revestidos, NV

Los requisitos de forma y terminación para los ladrillos hechos a máquina se indican en Tabla 6.12.

**TABLA 6.12**  
LADRILLO HECHO  
A MÁQUINA.  
TOLERANCIAS DE  
DEFECTOS

Requisitos	TIPO DE LADRILLO SEGÚN USO	
	Cara vista, V	Cara para revestir, NV
Fisura superficial	En caras laterales, longitud igual 1/3 de dimensión de cara. Se aceptan en cabezales.	Se aceptan en cualquier cara sin importar la longitud.
Fisura pasada	No se acepta en caras mayores. En uno de los cabezales se acepta una.	Se acepta una fisura pasada en una de las caras.
Desconchamiento superficial	Se acepta uno de 10 mm de diámetro máximo.	Se acepta uno por cara, con 10 mm de diámetro máximo.
Eflorescencia	Se acepta la presencia de eflorescencias de fácil remoción, cuya extensión se limita por acuerdo entre comprador y vendedor.	
Tolerancia de planeidad	± 4 mm	± 4 mm
Tolerancias dimensionales:		
Largo	± 5 mm	± 5 mm
Ancho	± 3 mm	± 3 mm
Alto	± 3 mm	± 3 mm

Fuente: NCh2123.Of1997. Modificada en 2003

## 6.2.2 REQUISITOS PARA USO EN ALBAÑILERÍAS ESTRUCTURALES

### A) ALBAÑILERÍA ARMADA.

Sólo se pueden emplear ladrillos clase MqP de grados 1 o 2.

El área total de las perforaciones y huecos debe ser menor o igual al 50% del área bruta del ladrillo.

El área del hueco que acepta armadura vertical debe ser mayor o igual a 32 cm<sup>2</sup>, con una dimensión mínima en uno de sus lados de 5 cm.

### B) ALBAÑILERÍA CONFINADA.

Se pueden emplear ladrillos MqP o MqH(V), grados 1 o 2.

Deben cumplir los requisitos de resistencia a compresión, adherencia y absorción indicados en Tabla 6.10.

## 6.2.3 DIMENSIONES MÁS CORRIENTES Y RENDIMIENTOS POR M<sup>2</sup>

En Tabla 6.13 se muestra las dimensiones de los ladrillos más corrientes y los requerimientos de mortero.

**TABLA 6.13**  
DIMENSIONES DE  
LADRILLOS DE  
USO CORRIENTE Y  
NECESIDADES DE  
LADRILLOS Y MORTERO  
POR M<sup>2</sup> (EN POSICIÓN  
DE SOGA)

CLASE	Dimensiones L x A x H, cm	Masa aprox. kg	Unidades por m <sup>2</sup>	Ancho Junta, mm	Mortero lt/m <sup>2</sup>
Artesanal	30 x 15 x 6,0	4,3	40	20	46
	30 x 15 x 5,0	3,6	45	20	54
	28 x 14 x 4,5	2,8	52	20	53
A máquina	29 x 14 x 7,1	2,5	38	15	34
	29 x 14 x 9,4	3,4	30	15	28
	29 x 14 x 11,3	4,1	26	15	23
	29 x 14 x 14	5,1	21	15	23
	32 x 15,4 x 7,1	3,2	35	15	35

## 6.2.4 MANEJO EN OBRA

### A) RECEPCIÓN.

Además del certificado de calidad emitido por el proveedor, en obra se debe verificar lo siguiente:

No se debe aceptar ladrillos partidos o agrietados.

Regularidad de las dimensiones.

Planeidad de las caras y regularidad de las formas.

Cocción uniforme que se refleja en color parejo.

Sonido claro y metálico al golpearlo.

### B) ALMACENAMIENTO DE LADRILLOS.

Algunas industrias entregan los ladrillos en pilas sobre bandejas de madera ("pallets"), forradas en plástico. Estos pallets se deben ubicar en suelos nivelados. Se debe mantener los ladrillos en los pallets hasta su uso.

Se recomienda no apilar más de un pallet de altura.

Es conveniente evitar el contacto directo con el suelo natural; con el fin de evitar la contaminación con tierra puesto que inhibe la adherencia, deteriora la apariencia y se puede contaminar con las sales del terreno. Ver Figura 6.8.

En clima frío, los ladrillos se deben almacenar protegidos de las heladas, con láminas de polietileno o bajo techo.

**FIGURA 6.8**  
ALMACENAMIENTO  
DE LADRILLOS



Fuente: ICH. Manual del albañil de ladrillos cerámicos

### 6.2.5 DOSIFICACIÓN DE MORTEROS PARA ALBAÑILERÍA

La dosificación de un mortero es variable según su uso, pero en todos ellos se pretende lograr una calidad adecuada para asegurar la adherencia con ladrillos y bloques, así como también la resistencia del conjunto.

En general se recomienda el uso de morteros en proporción 1:3, con una cantidad de agua que debe ajustarse para obtener una consistencia plástica. Además, en lo referente a resistencia a la compresión, la NCh1928 especifica una resistencia característica mínima de 10 MPa, medida en probetas de 4 x 4 x 16 cm. Considerando la dispersión de los resultados se debe lograr una resistencia del mortero de junta de 15 MPa a 28 días.

Si no se hacen ensayos para verificar las propiedades del mortero, la misma norma impone la dosificación en peso siguiente:

1 : 0,22 : 4      cemento : cal : arena

y una cantidad de agua tal que se obtenga un aspecto plástico.

Para albañilerías construidas con ladrillos artesanales, la resistencia característica a compresión debería ser de 5 MPa a 28 días.

Los morteros deben controlarse en obra. En albañilería armada se debe tomar tres muestras cada 2000 m<sup>2</sup> de muros y en albañilería confinada son tres muestras cada 500 m<sup>2</sup> de muro. Cada muestra está formada por al menos 3 vigas Rilem (4 x 4 x 16 cm).

## 6.3

# ALBAÑILERÍAS DE BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN

TEMAS  
TRATADOS

6.3.1 Clasificación y requisitos de los bloques

6.3.2 Dimensiones y rendimientos

6.3.3 Manejo en obra

6.3.4 Morteros para albañilería de bloques

### 6.3.1 CLASIFICACIÓN Y REQUISITOS DE LOS BLOQUES

La norma NCh181 clasifica los bloques según su densidad seca en tres tipos: liviano, mediano y normal.

Según la textura de sus caras principales, los bloques pueden ser lisos, estriados (fulget) o piedra (superficie irregular).

También pueden ser coloreados y los más comunes son gris (color natural), rojo y amarillo.

Los requisitos físicos y mecánicos establecidos por la norma NCh181 se muestran en Tabla 6.14.

**TABLA 6.14**  
CLASIFICACIÓN Y  
REQUISITOS DE  
LOS BLOQUES

Clasificación por peso	Densidad seca al horno, kg/m <sup>3</sup>	Máxima absorción de agua, kg/m <sup>3</sup>		Resistencia a compresión mínima, MPa (1)	
	Promedio 3 bloques	Prom.	Indiv.	Prom.	Indiv.
Liviano	≤ 1680	288	320	13	12
Mediano	1680 a ≤ 2000	240	272	13	12
Normal	2000 o mayor	208	240	13	12

Prom: promedio de tres bloques. Indiv: requisito para cada bloque.  
Se puede especificar resistencias superiores a las indicadas cuando el diseño lo requiera y está disponible.  
(1) Medida sobre el área neta que se determina según NCh182.

Fuente: NCh181:2006

En los bloques, cáscara es cualquier pared exterior longitudinal y el tabique es cualquier elemento que conforma el hueco del bloque y que no corresponde a una cáscara.

El espesor de tabique equivalente es la suma de los espesores efectivos de todos los tabiques perpendiculares a las cáscaras de un bloque, expresados en milímetros, dividida por el largo efectivo del bloque expresado en metros.

Los requisitos que deben cumplir las cáscaras, tabiques y espesor de tabique equivalente se presentan en Tabla 6.15.

Los bloques de capilaridad controlada deben tener un coeficiente de absorción por capilaridad menor o igual a 5,0, como valor promedio, medido como se indica en NCh182.

En el momento de la entrega, la retracción lineal por secado de los bloques no debe exceder de 0,065%, como promedio, valor determinado según el método de ensayo de NCh182.

**TABLA 6.15**  
REQUISITOS DE  
ESPESORES DE  
CÁSCARAS Y  
TABIQUES (A)

Ancho especificado de los bloques, mm(e)	Espesor mínimo de cáscara, mm(b)(c)	Espesor de tabique	
		Tabique mínimo, mm(b)(c)	Espesor tabique mínimo equivalente, mm/m lineal (d)
65 y 90	19	19	136
140	25	25	188
190	32	25	188
240	35	29	209
290 y mayor	38	29	209

(a) Promedio de las mediciones de tres bloques (NCh182).  
 (b) Si se trata de bloques con textura, se permite que un máximo de 10% de la superficie con textura tenga un espesor menor que el indicado, pero no menor a 19 mm. Si los bloques se rellenan totalmente, esto no aplica.  
 (c) Para los bloques con pestaña, el espesor de cada una de éstas no debe ser menor que el espesor mínimo de la cáscara.  
 (d) El espesor de tabique equivalente no se aplica a la parte del bloque relleno. La longitud de la parte rellena se debe restar de la longitud total del bloque.  
 (e) Bloques con anchos diferentes a los indicados, deben adoptar espesores de cáscaras y tabiques correspondientes a la unidad especificada de dimensión inmediatamente superior.

Fuente: NCh181:2006

### 6.3.2 DIMENSIONES Y RENDIMIENTOS

En Tabla 6.16 se presenta las dimensiones más comunes de los bloques.

**TABLA 6.16**  
DIMENSIONES DE  
LOS BLOQUES

Textura	Largo, mm	Ancho, mm	Espesor, mm	Rendimiento, unid/m <sup>2</sup>	Peso, kg
Lisa	390	90	190	12,5	10,0
	390	140	190	12,5	12,3
	390	190	190	12,5	17,0
Estriada	390	140	190	12,5	14,3
	390	190	190	12,5	20,0
Piedra	390	190	190	12,5	16,5

En Figura 6.9 se muestra un aspecto de los bloques.

**FIGURA 6.9**  
BLOQUES DE  
HORMIGÓN



Fuente: Catálogo Aconcret

### 6.3.3 MANEJO EN OBRA

#### A) RECEPCIÓN

La manipulación de los bloques debe ser realizada por medios mecánicos.

Además del certificado de calidad del proveedor, en obra se debe verificar:

No se debe aceptar bloques partidos o agrietados.

Los bloques deben venir secos.

La regularidad de las dimensiones.

La uniformidad de los colores y la textura si corresponde.

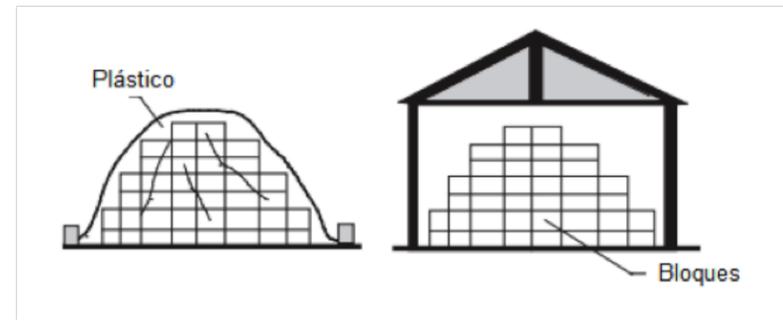
#### B) ALMACENAMIENTO EN OBRA.

El almacenamiento de los bloques se debe hacer teniendo en cuenta la protección contra la absorción de humedad. Para ello es conveniente que se los apile sin mantener contacto con el terreno y bajo cubierta impermeable especialmente en períodos de abundancia de humedad como en época de lluvias, como se muestra en Figura 6.10.

No apilar más de un pallet de altura.

En general los bloques son entregados en pallets envueltos en una lámina de plástico. Así los bloques quedan protegidos de la humedad y del polvo. Se deben mantener en esa condición hasta el momento de empleo.

**FIGURA 6.10**  
ALMACENAMIENTO  
DE BLOQUES DE HORMIGÓN.



Fuente: De Solminihac - Thenoux. Procesos y técnicas de construcción.

### 6.3.4 MORTEROS PARA ALBAÑILERÍA DE BLOQUES

Los morteros para albañilerías de bloques deben cumplir los mismos requisitos de los morteros para albañilerías de ladrillos hechos a máquina. (Ver 6.2.5).

## 6.4

# MATERIALIZACIÓN DE LAS ALBAÑILERÍAS

TEMAS  
TRATADOS

6.4.1 Definiciones

6.4.2 Proceso de construcción

### 6.4.1 DEFINICIONES

Según la norma NCh1928, albañilería es el material estructural que se obtiene con unidades de albañilería, ordenadas en hiladas según un aparejo prefijado y unidas con mortero.

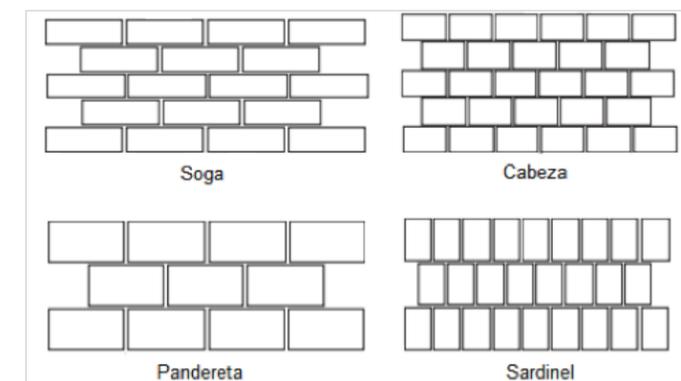
Hay dos sistemas básicos de albañilería estructural:

**Albañilería armada:** lleva incorporados refuerzos de barras de acero (tensores) en las perforaciones verticales y en las juntas o huecos horizontales de las unidades. Los requisitos para el diseño y cálculo están regidos por la norma NCh1928.

**Albañilería confinada:** está enmarcada por pilares y cadenas de hormigón. La norma correspondiente a este tipo de albañilería es la NCh2123.

El aparejo es la forma en que se disponen las unidades en el muro. Los tipos más usados se muestran en Figura 6.11.

**FIGURA 6.11**  
APAREJOS



Fuente: De Solminihac - Thenoux. Procesos y técnicas de construcción.

El aparejo de soga es el más empleado. El de tizón o cabeza permite obtener muros de mayor espesor. La pandereta se utiliza en cierros perimetrales y en tabiques interiores; el aparejo sardinel se emplea en gradas de escaleras, bordes de tarrazas y dinteles.

Otros términos empleados en las albañilerías son:

Hilada: Conjunto de ladrillos colocados en un mismo plano horizontal de una albañilería.

Tendel: Capa horizontal de mortero que une las hiladas.

Llaga: Es la unión vertical entre dos unidades en un muro de albañilería.

Llaguero: Herramienta de obra empleada en compactar las juntas verticales (llagas).

Escantillón: Corresponde a la medida del espesor del mortero del tendel, más la altura del ladrillo. También se le llama descantillón.

Regla de escantillón: Elemento, normalmente metálico, donde se marca el escantillón. Se colocan dos, debidamente niveladas; a ellas se amarra una lienza que va dando la altura de la hilada.

Escalerillas: Elemento de refuerzo, formado por barras de acero transversales, soldadas a dos barras longitudinales. Su ubicación se define en los planos estructurales. Se colocan sumergidas en el mortero, entre las hiladas de ladrillos. Las escalerillas deben:

Empalmarse con la armadura de pilares.

No cortarse en ningún punto.

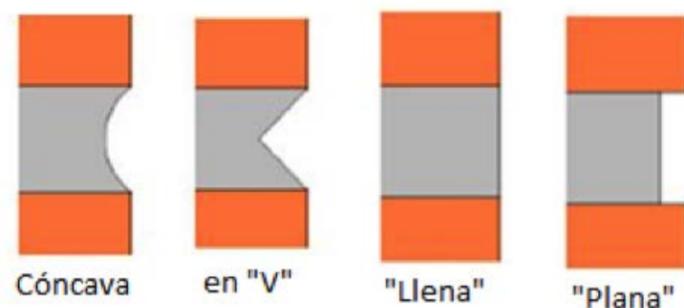
Traslaparse al menos un cuadrado de la escalerilla.

Quedar embebidas dentro del mortero de pega, centradas dentro del muro no quedando expuestas por ninguna de las dos caras del muro.

Cantería o remate de juntas: Tratamiento que se les da a las juntas. La cantería no sólo tiene una finalidad estética, sino que también en las albañilerías que no tienen revestimientos, ésta ayuda a una rápida evacuación del agua lluvia.

El tratamiento externo de las juntas debe realizarse con una profundidad entre 3 a 5 mm con respecto a la arista del ladrillo de la hilada inferior y mientras el mortero permita la deformación ante la presión de un dedo; para este tratamiento se utiliza una herramienta llamada "cantero". La forma que pueden tener las juntas se muestra en Figura 6.12.

**FIGURA 6.12**  
REMATE DE JUNTAS



Fuente: ICH. Manual del albañil de ladrillos cerámicos

Las canterías "planas" y "llenas" no son capaces de impedir la penetración de agua, ya que requieren de un especial cuidado en su ejecución para lograr la eventual impermeabilidad. Son recomendables de usar solamente cuando el muro va a ser estucado o revestido posteriormente. En otros casos, se recomiendan las canterías cóncavas o en "V", que hagan correr el agua por ellas y no retengan humedad.

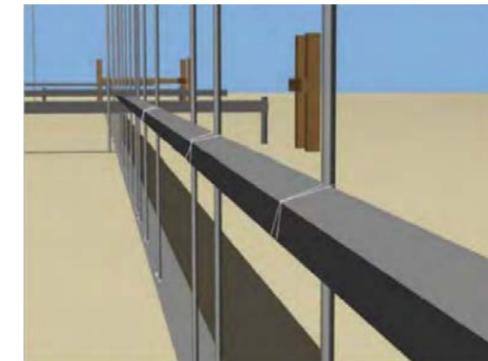
La traba es el desplazamiento de las unidades de manera de evitar una junta vertical continua. En albañilería armada la traba es de media unidad, eso también es lo normal en albañilería confinada, pero ocasionalmente se emplea 1/3 de ladrillo.

## 6.4.2 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

### A) PREPARACIÓN

En las albañilerías armadas, de ladrillos o bloques, los tensores van insertos en las fundaciones. Para su ubicación se emplea una viga metálica firmemente estacada y a ella se amarran los tensores en la posición indicada en el plano estructural. Ver Figura 6.13.

**FIGURA 6.13**  
DETALLE DE LA  
GUÍA DE TENSORES



Fuente: ICH. Manual del albañil de ladrillos cerámicos

Después de terminado el hormigonado del sobrecimiento y antes de que se endurezca, se recomienda lanzar un chorro de agua con hidrolavadora en la parte superior del sobrecimiento, con el fin de eliminar la capa de lechada y dar una mejor superficie adherente a la primera capa de mortero de pega.

Luego se debe trazar los vanos de puertas y ventanas. Para definir la modulación y verificarla, el albañil genera una plantilla, colocando los ladrillos de la primera hilada sobre el sobrecimiento, sin mortero, separándolas entre sí de acuerdo con el espesor de la llaga definida por el arquitecto.

En las albañilerías armadas es altamente conveniente el empleo de tubos de PVC en cada tensor, evitando así que caiga mortero suelto en el hueco de la unidad que tiene el tensor. Ver Figura 6.14.

**FIGURA 6.14**  
DETALLE TUBOS DE PVC  
EN TENSORES, REGLA CON  
ESCANTILLÓN Y LIENZA



Fuente: ICH. Manual del albañil de ladrillos cerámicos

## B) COLOCACIÓN

En las albañilerías, los ladrillos se colocan húmedos. Normalmente se mojan abundantemente y después se deja estilar, de ninguna manera deben presentar agua en la superficie. Los bloques, en cambio, se colocan secos, humedeciendo sólo los cordones, superficies que quedarán en contacto con el mortero. En Figura 6.15 se muestra una vista general.

**FIGURA 6.15**  
COLOCACIÓN  
DEL MORTERO



Fuente: ICH. Manual del albañil de ladrillos cerámicos

Las unidades deben colocarse cuando el mortero está aún fresco. Si se detecta que una quedó suelta, debe retirarse.

Los ladrillos deben cortarse con disco diamantado, no con la plana o la hachuela. Los bloques no se cortan, hay que usar medios bloques disponibles en el mercado.

En caso de albañilería reforzada o confinada se recomienda que entre los ladrillos del muro de relleno y los fierros de los pilares exista un mínimo de 2 cm y un máximo de 5 cm.

En la albañilería de ladrillos las llagas deben llenarse completamente y compactarse con el llaguero. El no compactar la llaga vertical no sólo afecta la impermeabilidad del muro, sino que también su desempeño estructural (es el medio de traspaso de cargas entre ladrillos, cuando el muro se somete a esfuerzos), la reducción acústica (puentes acústicos) y la resistencia térmica del muro (la aislación disminuye). Ver Figura 6.16.

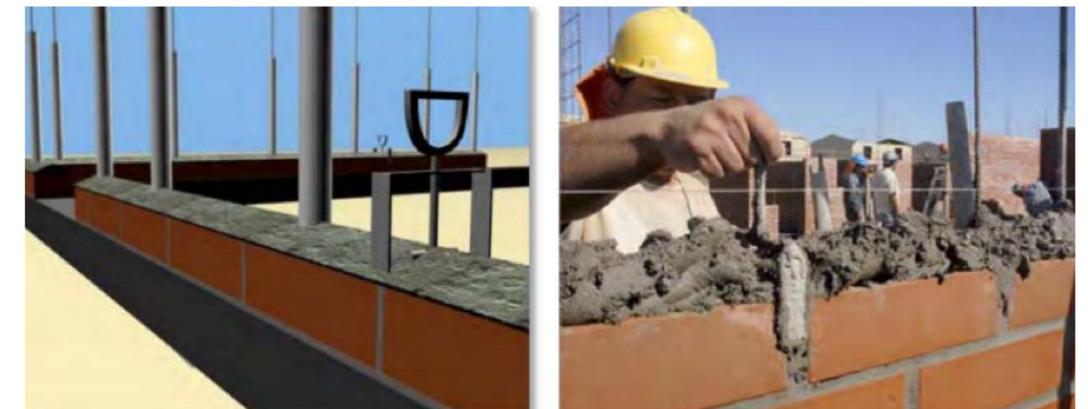
En albañilería de bloques, por su mayor espesor no se usa llaguero. Se debe colocar mortero en los cordones laterales del mortero y el albañil lo presiona contra la unidad ya colocada. El mortero debe ser tal que soporte la posición vertical y no se deslice.

Constantemente debe verificarse la verticalidad del muro.

Es recomendable esperar alrededor de 2 horas de colocadas las unidades para proceder al tratamiento de juntas.

En cuanto a ritmo de avance, es recomendable no superar 1,2 m en albañilería de ladrillos. Si se trata de bloques, lo recomendable es no superar 8 hiladas en verano y 5 en invierno.

**FIGURA 6.16**  
RELLENO Y  
COMPACTACIÓN  
DE LLAGAS



Fuente: ICH. Manual del albañil de ladrillos cerámicos

## C) LLENADO DE TENSORES

El hueco con barras de refuerzo tiene que quedar totalmente lleno con la mezcla, para unir el ladrillo y el refuerzo. Es más fácil llenar un hueco con mortero, pero al disminuir el tamaño máximo se aumenta la retracción y se corre mayor riesgo de que la mezcla se desprege, no cumpliendo su objetivo. A veces, las especificaciones indican que también debe llenarse los huecos sin tensores.

Las alturas máximas de llenado dependen del tamaño del hueco donde están los tensores, como se muestra en Tabla 6.17.

**TABLA 6.17**  
ALTURAS MÁXIMAS DE  
LLENADO

Menor dimensión del hueco de las unidades, cm	Altura máxima del muro a llenar, cm
5	30
8	120
≥ 12	240

Fuente: NCh1928.Of1993. Modificada en 2003

Por las dimensiones de los huecos de las unidades en donde van las armaduras, es común rellenar los ladrillos con mortero (el mismo que se utiliza en la pega, pero más fluido) y los bloques rellenarlos con hormigón. Ver Figura 6.17.

**FIGURA 6.17**  
LLENADO DE  
TENSORES  
CON MORTERO



Fuente: ICH. Manual del albañil de ladrillos cerámicos

El hormigón que se utiliza es fluido (asentamiento  $\geq 18$  cm) de 10 mm de tamaño máximo. La compactación es por varillado y/o vibración. NCh1928 especifica un hormigón H17,5 (G14, aproximadamente) con 4% de fracción defectuosa.

#### D) TRATAMIENTO POSTERIOR

La confección de albañilerías genera suciedad en los muros, producto de la caída del mortero de pega, lo que puede ocurrir ya sea durante la confección de una hilada o durante el remate de una junta. En albañilería de ladrillos se recomienda limpiar, por ambos lados, antes de que el mortero endurezca, con una esponja grande y agua. Ver Figura 6.18.

**FIGURA 6.18**  
LIMPIEZA DE MUROS  
DE LADRILLOS



Fuente: ICH Manual del albañil de ladrillos cerámicos

En albañilería de bloques, en cambio, si los muros se manchan con mortero u hormigón, no limpiar inmediatamente, sino que esperar hasta que se tome un color blancuzco; entonces limpiar con escobilla y agua aplicada sólo en la zona afectada.

Tanto la albañilería de bloques como la de ladrillos deben tener un curado húmedo de al menos 7 días. En albañilería confinada debe esperarse que termine el tiempo de curado antes de colocar los moldajes de cadenas, vigas o pilares.

En albañilería de ladrillos el curado se realiza con riego abundante, tres veces al día en verano y dos veces en invierno. También es adecuado el empleo de cubrevientos y cubresoles. En bloques, en cambio, sólo debe humedecerse las juntas, mojándolas con una brocha.

El curado de las mezclas para el relleno de los huecos debe hacerse en las superficies superiores expuestas, ya que lateralmente está protegido por las unidades que forman la albañilería.

## 6.5

# ESTUCOS

### TEMAS TRATADOS

- 6.5.1 Funciones y propiedades de los estucos
- 6.5.2 Ejecución del estuco

### 6.5.1 FUNCIONES Y PROPIEDADES DE LOS ESTUCOS

Los estucos aplicados sobre muros de albañilería de ladrillos o de bloques, sobre hormigón u otros, tienen un doble objetivo:

- Asegurar la impermeabilidad global del paramento.
- Dar un buen aspecto al muro, corrigiendo los defectos de planeidad y aportando por su eventual textura, relieve o color, a la terminación de aquel.

Para ese doble objetivo, las principales propiedades que deben poseer son:

**Adherencia al soporte.** Condiciona la durabilidad del estuco. Ella depende de la dosificación del aglomerante, del cuidado en la preparación del soporte, de su estado de humedad en particular, y de las condiciones exteriores en el curso de la colocación y secado, como temperatura, humedad y viento.

**Impermeabilidad.** El estuco debe tener poca capilaridad, el espesor adecuado y presentar una adecuada compacidad para constituir una barrera eficaz a la penetración de agua. Estas propiedades están ligadas a una adecuada dosis de aglomerante y una buena compactación ("chicoteo" enérgico). Ver absorbencia en 6.1.2 E.

**Resistencia a la fisuración.** Debe tener la capacidad de resistir las diferentes sollicitaciones a que estará sometido. Entre estas sollicitaciones se destaca:

Movimientos del soporte:

Retracción de secado de bloques de hormigón.

Expansión irreversible de la arcilla cocida de los ladrillos.

Variaciones dimensionales del hormigón celular por humidificación y secado.

Movimientos de la estructura por variaciones en el suelo, agentes exteriores o tensiones en la estructura.

Se excluyen aquí las fisuras del soporte que casi siempre se transmiten al estuco.

Las sollicitaciones exteriores.

La lluvia, el sol, la congelación, producen cambios bruscos de temperatura, los que dan origen a movimientos diferenciales con el soporte al cual está adherido el estuco.

Las contracciones internas.

Por su constitución el estuco tiene, necesariamente, durante su fraguado y su endurecimiento en el tiempo, una retracción hidráulica, que no pudiendo realizarse libremente, genera tensiones de tracción.

Esta retracción es función de las características del aglomerante y su dosis, de la granulometría de la arena, de la dosis de agua, como también, y en forma más importante, de las condiciones atmosféricas (temperatura, humedad, viento) y de la absorción del soporte.

Por todas estas sollicitaciones, el estuco debe tener una buena deformabilidad (bajo módulo de elasticidad) y una buena resistencia a tracción, con el fin de absorber los movimientos y contracciones a las que es sometido.

Como regla general, se debe considerar que un mortero para revestimiento debe alcanzar una resistencia similar, no mayor al sustrato sobre el que se aplica. En Tabla 6.18 se describe las aplicaciones típicas según grado de resistencia del mortero de revestimiento.

**TABLA 6.18**  
APLICACIONES  
TÍPICAS SEGÚN  
GRADO DEL  
MORTERO

Grado del mortero	Aplicación típica
Mr - A	Revestimientos aplicados sobre albañilería de ladrillo hecho a mano o bloques de hormigón celular no expuestos a la intemperie.
Mr - B	Revestimientos aplicados sobre albañilería de ladrillo hecho a mano o bloques de hormigón celular, expuestos a la intemperie.
Mr - C	Revestimientos aplicados sobre albañilerías de ladrillo hecho a máquina, sobre albañilería de bloques de hormigón o muros de hormigón.
Mr - D	Revestimientos de bajo espesor, aplicados sobre albañilerías de bloques o muros de hormigón.
Para Grados del mortero ver 6.1.3 A1.	

Fuente: NCh2256/1:2013

## 6.5.2 EJECUCIÓN DEL ESTUCO

**Soporte.** Debe estar sano, limpio, libre de polvo y de cualquier traza de aceite o productos contaminantes. Debe ser regado de modo que sus poros estén saturados, pero que la superficie no tenga una película de agua.

Para mejorar la adherencia es recomendable que el soporte sea rugoso, por lo que es conveniente picarlos (punterearlos) manual o mecánicamente, seguido de un riguroso soplado. Una alternativa es adherir al moldaje plástico para embalar.

Soportes nuevos. Los trabajos de estuco se deben comenzar después de un mes del término de la construcción de la estructura. Para lograr una buena adherencia y sustentación de los estucos, conviene aplicarlos sobre materiales que hayan ejercido la mayor parte de su retracción.

Soportes antiguos. Deben ser limpiados minuciosamente, eventualmente con chorro de agua; las juntas de las albañilerías deben ser reparadas antes de estucar. Cuando el soporte está formado por materiales muy heterogéneos, puede ser necesario clavar una malla sobre la superficie del conjunto.

**Condiciones de aplicación.** No estucar en clima con heladas; la temperatura ambiente debe ser superior a 5 °C. En clima cálido, evitar la exposición al sol del estuco recién colocado y a partir de los 30 °C de temperatura, o con viento muy seco, proteger y nebulizar agua para impedir el secado prematuro que se produce antes de los primeros 10 días.

**Mezclado.** Siempre es preferible el mezclado mecánico, porque asegura la uniformidad y permite reducir el agua de amasado.

**Estuco de tres capas.** La capa de anclaje debe cubrir todo el soporte sin sobrecargas. Se deja como queda proyectado, sin reglear ni platachar.

El cuerpo del estuco se aplica 3 a 7 días después de colocada la capa de anclaje, según las condiciones atmosféricas. El mortero, cohesivo, pero trabajable, se aplica preferentemente en dos pasadas de "chicoteo" sobre la capa de anclaje previamente humedecida. Finalmente se pasa la regla y se compacta con el platacho de madera. El espesor total de las dos primeras capas está entre 1,5 y 2,0 cm.

La capa de terminación se colocará después de un secado suficiente del cuerpo del estuco, entre 8 y 15 días. El modo de colocación, sobre el cuerpo del estuco humedecido, depende del efecto decorativo deseado. El espesor aproximado es de unos 5 mm.

**Estuco de dos capas.** Se emplea máquina estucadora (proyección débil del mortero).

La primera capa de anclaje también sirve para corregir las irregularidades del soporte y colaborar en la impermeabilización. Esta capa se "reglea" pero no se platacha.

La segunda capa completa la impermeabilización y asegura la terminación. Ella se coloca al menos 7 días después de terminada la primera. Esta capa debe ser platachada pero no allanada.

**Estucos monocapa.** Es lo normal en morteros premezclados o predosificados.

Su ejecución es rápida. Ellos se aplican en una o dos pasadas, con una espera de 2 a 5 horas entre la primera y la segunda, dependiendo de los productos y las condiciones exteriores.

## 6.6

# LECHADAS PARA INYECCIONES

### TEMAS TRATADOS

6.6.1 Generalidades.

6.6.2 Lechadas sobre la base de cemento

6.6.3 Mezclado y aplicación

### 6.6.1 GENERALIDADES

Son muchos los usos de las lechadas. Entre ellos se destaca:

- Impermeabilización.

Reteniendo el flujo de agua, como en el caso de estructuras y túneles; reducción de pérdidas de agua en canales; inhibición de la erosión interna en suelos de fundación y terraplenes; y, en la excavación, bajo napa mediante la estabilización, consolidación y control del agua. Entre los alcances están:

- Cortina impermeable bajo una presa
- Pantalla impermeable en túneles
- Cortina impermeable en excavaciones

- Inyección de consolidación.

En rocas se repara el daño generado por explosivos. En suelos la inyección de lechada se emplea generalmente para mejorar su capacidad de soporte. También se emplean en presas para dar mayor resistencia a la roca de fundación del cimiento.

- Inyección para reparación de estructuras.

Obras que antiguamente se habrían dado por perdidas, en la actualidad pueden someterse a reparación mediante inyecciones de consolidación con pleno éxito.

- Relleno de ductos de postensados.

Se rellena completamente el espacio existente entre la vaina y el tendón (armaduras activas) con lechada de cemento. Con esto se previene la corrosión de los tendones y se minimiza el efecto de relajación de los tendones en el tiempo.

- Lechada para relleno bajo placas base de equipos y estructuras.

Normalmente las placas de apoyo de máquinas o estructuras quedan separadas de la fundación y el espacio debe ser inyectado con una lechada, normalmente de altas exigencias.

- Lechadas para relleno de clave en túneles o tuberías.

Se utilizan generalmente para rellenar los huecos entre el hormigón y la roca en caso de túneles y cavernas. También se usa en el relleno de los huecos entre el palastro y el hormigón en tuberías o en las corazas de protección en obras de descarga.

- Estabilización de losas.

En losas de pavimentos para mejorar sus condiciones de apoyo, corregir fallas de drenaje y prevenir bombeo en juntas transversales y grietas.

- Inyecciones en hormigones con árido precolocado.

Donde el acceso es difícil, particularmente en hormigones bajo agua, primero se coloca el árido grueso con un tipo de graduación abierta. Luego se inyecta con lechada que por densidad desplaza el agua, llenando los espacios.

Las lechadas de inyección se pueden clasificar en dos categorías principales:

- Las suspensiones.
- Los líquidos o soluciones.

#### Las suspensiones

Las suspensiones están constituidas por una mezcla de uno o varios productos sólidos (cemento, cenizas volantes, arcilla) en un líquido que es agua.

Según su contenido en materia seca, ellas son del tipo inestable o estable.

Las suspensiones inestables están constituidas por la mezcla de cemento puro en el agua. La agitación las homogeniza. Los granos sedimentan rápidamente cuando cesa la agitación.

En las suspensiones estables la sedimentación es lenta y se obtienen generalmente por un aumento del contenido total de cemento, por la incorporación de bentonita o de silicato de sodio.

#### Los líquidos

Los líquidos están constituidos por productos químicos (líquidos o productos solubles) y sus reactivos en solución o en emulsión. Los productos más frecuentemente utilizados son los silicatos de soda y ciertas resinas. Para algunos casos particulares se pueden usar las emulsiones de hidrocarburos.

## 6.6.2 LECHADAS SOBRE LA BASE DE CEMENTO

Por sus propiedades físicas y su economía, son las lechadas de uso más frecuente para la impermeabilización, para la consolidación de suelos, para las reparaciones, para el llenado de las vainas de postensado, entre otras aplicaciones.

Ellas se caracterizan y designan por la relación en masa de cemento sobre agua, C/A, o la relación en masa de materia seca total sobre agua, MS/A.

### A) PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS GENERALES

La estabilidad, fluidez, resistencia a compresión dependen de la cantidad y calidad de los constituyentes.

Estas lechadas se caracterizan por su facilidad de preparación y de suministro, su fácil puesta en obra y su economía.

Para medir la fluidez de lechadas finas y muy líquidas se emplea el embudo o cono de Marsh (ISO 2431, ASTM D6910). Este embudo tiene una boquilla de 50 mm con un diámetro interno de 5 mm; se mide el tiempo en segundos que demora la lechada que cae del cono en llenar un recipiente de 1 litro. Como referencia se tiene que el agua tarda entre 27 y 27,5 segundos, dependiendo de su temperatura.

Para lechadas más viscosas se emplea el embudo o cono de ASTM C939, el que tiene una boquilla de 38,5 mm de largo con un diámetro interno de 12,7 mm; se mide el tiempo que demora en pasar por la boquilla 1,725 lt de lechada. El agua demora 8 segundos. Ver Figura 6.19.

**FIGURA 6.19**  
FLUIDEZ DE  
LECHADAS



Cono Marsh



Cono ASTM

Fuentes:

Cono Marsh: P. Universidad Católica. Laboratorio virtual.

Cono ASTM: Catálogo Cotecno.

La decantación es una característica indeseable que consiste en la separación de las fases sólida y líquida, después de preparada la lechada. Para medirla se emplea una probeta de 1000 cc que se llena con la lechada en estudio y se deja en reposo. Al cabo de dos horas se mide el volumen de agua libre que ha aparecido en la parte superior de la probeta y se expresa en relación al volumen inicial (1000 cc). El uso de un superplastificante disminuye considerablemente la decantación.

La resistencia a compresión de las lechadas se determina normalmente utilizando el mismo molde de los morteros (Molde Rilem de 4x4x16 cm); también se emplean moldes cúbicos de 5 cm de arista (ASTM C109).

### B) SUSPENSIONES DE CEMENTO PURO

En la mayoría de los casos, estas lechadas son suspensiones inestables de cemento puro en agua. Sin embargo, se puede lograr una ausencia de decantación con relaciones C/A altas (generalmente  $C/A > 1,5$ ). También disminuye y retarda la decantación el empleo de un súperplastificante.

El depósito de los granos de cemento en los intersticios granulares o en las fisuras, constituye una suerte de relleno hidráulico. Estas lechadas experimentan un secado importante. Este efecto está relacionado con la presión de inyección, con la dimensión de los huecos y la posibilidad de evacuación de agua.

Se pueden obtener resistencias mecánicas elevadas con estas lechadas.

Todos los tipos de cementos se pueden utilizar. La selección de un tipo particular dependerá de las propiedades finales deseadas para el producto inyectado y también de su resistencia frente a la agresividad del medio. La finura del cemento es determinante en el caso de fisuras finas.

Habitualmente la relación en masa C/A de las lechadas utilizadas varía de 1/1 a 2,5/1. Las lechadas con menos dosis de cemento permiten la inyección en vacíos muy finos.

La resistencia a compresión está ligada directamente a la clase de cemento y a la relación C/A de la mezcla. Las resistencias habituales a compresión simple varían entre 5 y 50 MPa a 28 días.

Estas lechadas se utilizan en la consolidación de roca fisurada, por medio de la inyección en las fisuras más o menos abiertas. En las obras nuevas o existentes ellas se utilizan para la unión de la estructura con el terreno circundante, la inyección de juntas de contracción y en la reconstitución de albañilerías.

### C) LECHADAS DE ARCILLA O BENTONITA CON CEMENTO

Son suspensiones de cemento estabilizadas por un aporte de arcilla o de bentonita.

Con la adición de arcilla o de bentonita a una suspensión de cemento se puede lograr una extensa gama de viscosidades y resistencias, se disminuye significativamente la sedimentación del cemento, se disminuye la velocidad de rigidización y de secado, se aumenta el tiempo de fraguado.

Las dosis de bentonita o arcilla dependen del uso de la lechada. Así, en trabajos de impermeabilización, las lechadas contendrán más proporción de arcilla y menos proporción de cemento y será lo contrario en trabajos de consolidación.

A título informativo, las dosis usuales están comprendidas entre los valores siguientes:

- Arcilla : 80 a 400 kg/m<sup>3</sup>
- Bentonita : 20 a 80 kg/m<sup>3</sup>
- Cemento : 100 a 700 kg/m<sup>3</sup>

Las dosis y la elección de la arcilla o de la bentonita permiten obtener una extensa variedad de viscosidades. Las resistencias varían entre 3 a 17 MPa. Con dosis elevada de arcilla o bentonita se logra alta impermeabilidad.

Las arcillas y bentonitas tienen un efecto beneficioso en la durabilidad ya que forman una red alrededor de los granos de cemento que los protege de aguas agresivas.

#### D) LECHADAS CON CARGA

Son lechadas de cemento, o de arcilla y cemento, a las cuales se adicionan materiales inertes en polvo o que tienen un fraguado y endurecimiento lento.

La adición de carga está destinada a modificar la viscosidad de la lechada y a obtener un producto económico por sustitución de cemento por un material de bajo costo. Esta operación se hace generalmente en los casos de fuertes absorciones o de volúmenes importantes por rellenar.

Las cargas más corrientes están constituidas por arenas naturales, puzolanas naturales y cenizas volantes. En particular pueden ser utilizados los "fillers".

#### E) LECHADAS ESPECIALES

Existen otras lechadas para usos especiales o con condiciones particulares. Por ejemplo:

- Lechadas con fraguado acelerado y rigidización controlada
- Lechadas expansivas
- Lechadas expandidas o aéreas
- Lechadas espuma

### 6.6.3 MEZCLADO Y APLICACIÓN

#### A) MEZCLADO

Al mezclar los componentes de una lechada por los métodos tradicionales se produce una rápida aglomeración de los materiales. Se forma una gran cantidad de grumos que son difíciles de disolver.

Hay que recurrir a una agitación de alta velocidad, con equipos como el que se muestra en Figura 6.20.

**FIGURA 6.20**  
AGITACIÓN DE  
ALTA VELOCIDAD



Fuente: M. Muñoz. "Caracterización de lechadas cementicias para su uso en consolidación o reparación de estructuras agrietadas"

En obras menores, cuando no se cuenta con un equipo como el indicado, se puede recurrir a un taladro normal al que se le adapta una barra a la que se le han soldado aspas.

En general, el mezclado de las lechadas se realiza en dos etapas. Primero, los materiales se miden y se mezclan en una betonera normal. El producto obtenido se lleva a un recipiente donde se aplica la agitación de alta velocidad.

Dependiendo de la velocidad de colocación, a veces se requiere tener la lechada en un recipiente con agitación para evitar la decantación.

#### B) APLICACIÓN

Cuando se está inyectando elementos horizontales, con grietas abiertas mayores, la aplicación se puede hacer por gravedad.

En la gran mayoría de los casos hay que recurrir a la inyección mediante presión.

Las bombas de inyección deben cumplir tres requerimientos básicos: precisión en el control de la tasa de salida (caudal), control de la presión, y alta resistencia a la abrasión.

Son dos los principales tipos: bombas de pistón y bombas de desplazamiento continuo.

Hay una gran variedad de equipos, de diferentes capacidades y rendimiento, desde pequeñas bombas manuales de pistón a grandes equipos que incluyen el mezclado de la lechada, tal como se ve en Figura 6.21.

**FIGURA 6.21**  
BOMBAS DE  
INYECCIÓN



Bomba de pistón



Bomba de desplazamiento  
continuo, con mezclador

Fuente: Catálogo ChemGrout

Otros detalles de la aplicación de lechadas aparece en 3.17 Reparación de estructuras de hormigón.

# 7.

## MECÁNICA DE SUELOS

- 7.1. Estudio del subsuelo
- 7.2. Características de los suelos
- 7.3. Parámetros característicos de los suelos típicos
- 7.4. Compactación del suelo



## ESTUDIO DEL SUBSUELO

*El suelo juega un rol fundamental en toda obra, independiente de la naturaleza de ésta. Por esta razón es necesario conocer sus características y su comportamiento frente a determinadas solicitaciones. Hay obras que exigen realizar excavaciones de envergadura (subterráneos, ciertas obras civiles como caminos, canales, etc.) o bien rellenos importantes (rellenos de plataformas, etc.). Por otro lado, recibe las cargas de las estructuras y debe ser capaz de resistirlas bajo sus tensiones admisibles, sin experimentar deformaciones o asentamientos mayores que los permisibles para las estructuras que soporta y para él mismo.*

### TEMAS TRATADOS

- 7.1.1. Generalidades
- 7.1.2. Métodos de exploración más frecuentes
- 7.1.3. Estudios de laboratorio

### 7.1.1 GENERALIDADES

Previo a toda construcción se debe efectuar un estudio del suelo comprometido por la obra, el cual debe ser hecho por un especialista en el tema.

Este especialista se basa en antecedentes geotécnicos de la zona y/o en un reconocimiento detallado del terreno, el cual se efectúa mediante pozos de reconocimiento o mediante sondajes.

El problema más importante que se tiene que enfrentar en la prospección de suelos es la enorme variabilidad tanto en superficie como en profundidad. Al final sólo se tiene mediana certeza sobre las muestras tomadas en la exploración, pero no es seguro extrapolar los resultados.

Hay que considerar que no existe un método de exploración que sea de uso universal, apto para todos los tipos de suelos existentes y para todas las estructuras probables.

En general, al programar la exploración se debe considerar ubicar los puntos de prospección a distancias aproximadamente iguales y aumentarlos según los resultados. En todo caso, deben quedar claramente identificadas las zonas donde se detecten suelos inadecuados.

### 7.1.2 MÉTODOS DE EXPLORACIÓN MÁS FRECUENTES

#### LOS MÉTODOS DE EXPLORACIÓN MÁS EMPLEADOS SON

- A. Calicatas o pozos de reconocimiento
- B. Sondajes

#### A. Calicatas o pozos de reconocimiento

Este es el método más usado de exploración de suelos. Permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar por lo que normalmente entrega información más confiable y completa.

Además, en suelos con gravas es el único método de prospección. Por otra parte, es una exploración relativamente económica.

La gran limitación de las calicatas es el nivel freático que limita su profundidad. Si no se encuentra la napa, muchas veces la profundidad debe limitarse por motivos de seguridad.

#### A1. Dimensiones

Debido a la complejidad del tema, los antecedentes entregados a continuación son de carácter informativo, debiendo el especialista tomar las decisiones del caso.

- Sección mínima recomendada: 0,8 x 1,0 m. Con esto se permite un trabajo cómodo del laboratorista y se puede hacer una inspección adecuada de las paredes.
- Profundidades:

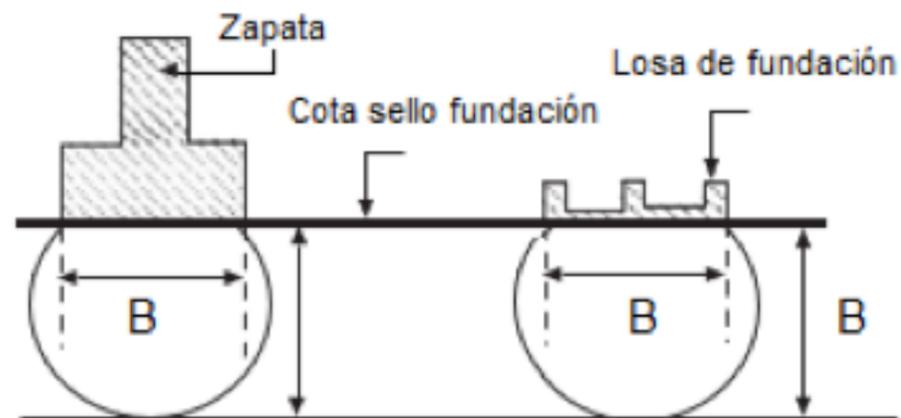
Son variables, dependiendo de las características del suelo, existencia de napa de agua y del tipo de estructuras. A título de orientación se puede indicar que las profundidades mínimas de exploración son las siguientes:

Zapata o losa de fundación: Un ancho de fundación bajo el sello de fundación. Ver Figura 7.1.

En caminos es de 1,5 m medidos desde la subrasante propuesta.

Se van dejando escalones cada 40 a 50 cm, o cada vez que haya cambio de estrato; con esto se puede determinar la densidad del terreno y muestrear el suelo para ensayos de laboratorio.

**FIGURA 7.1**  
PROFUNDIDAD DE  
CALICATA



## A2. Inspección

El especialista debe efectuar una inspección visual de las paredes del pozo, escalón por escalón, describiendo detalladamente lo que detecta. Es lo que se conoce como perfil estratigráfico. Al menos debe indicar apreciaciones de:

Espesor de los estratos: debe quedar claramente determinado.

Tamaño: suelo grueso (grava y/o arena) o fino (limo y/o arcilla) y las mezclas de ellos.  
Presencia de bolones ( $\geq 75$  mm).

Olor: los suelos orgánicos tienen un olor distintivo que se incrementa calentando una muestra.

Color: indicar el color predominante.

Humedad: estimar la humedad del suelo.

Estructura: estratificado (capas alternadas), laminado (capas muy delgadas), lenticular (inclusiones de suelos diferentes).

Densificación: en suelos sin cohesión puede ser suelta o densa; en suelos cohesivos (ensayo manual) la clasificación es blanda, media, firme, muy firme y dura.

Clasificación: debe estimarse la clasificación probable de la muestra. Normalmente se emplea la clasificación USCS (ver 7.2.2).

Nombre que se le da en la localidad (como "chusca", "trumao", "cancagua" u otros).

Por otro lado, si lo estima necesario, debe tomar muestras representativas de los estratos, con la finalidad de conocer las características de los suelos mediante ensayos efectuados en un laboratorio de suelos. Estas muestras pueden ser de dos tipos:

Muestras perturbadas: en general provienen de las paredes del pozo.

Muestras no perturbadas: para suelos cohesivos. Se recorta de las paredes o de un escalón y se recubren con parafina sólida para protegerlas.

Si se llega a la napa, debe quedar claramente definida su profundidad, indicando fecha y hora de medición.

En Figura 7.2 se muestra faenas de inspección en una calicata.

**FIGURA 7.2**  
CALICATA



**Muestra no perturbada de un pozo**

Fuente: <https://www.diccionario.geotecnia.online>

## B. Sondajes

La gran ventaja que tiene la exploración mediante sondajes es que no está limitado por la napa. En casos normales no tiene limitaciones de profundidad.

Entre sus desventajas está su mayor costo, ya que requiere de maquinaria especializada, y que no se tiene una observación directa del suelo.

Se recurre generalmente a este método cuando:

- Se desea investigar profundidades importantes.
- Cuando las condiciones locales lo hacen necesario (por ejemplo, presencia de la napa, roca y otros).

A medida que se va penetrando, el operador va analizando el material que va saliendo a la superficie y registra la profundidad a la que se detectó.

Cuando lo estima adecuado coloca un muestreador (cuchara partida), con la que se tienen muestras perturbadas. Si se detecta la presencia de suelos cohesivos se cambia el muestreador por otro de pared delgada que permite obtener muestras no perturbadas para ensayos de laboratorio.

En suelos arenosos, con el sondaje se puede realizar el ensayo de penetración estándar (SPT). Se utiliza una masa de 63,5 kg que se deja caer, en caída libre, desde 76 cm sobre el muestreador, el que se protege con una zapata superior. Se penetra 15 cm y luego se cuenta el número de golpes necesarios para hacer penetrar al muestreador 30 cm; ese número de golpes es el  $N_{spt}$  o resistencia a la penetración estándar (ASTM D1586). Con este valor se puede obtener una indicación de la densidad relativa del suelo, como se muestra en Tabla 7.1.

**TABLA 7.1**  
RESISTENCIA  
A LA  
PENETRACIÓN

Nº de golpes $N_{spt}$	Densidad relativa
0 - 4	Muy suelta
5 - 10	Suelta
11 - 30	Media
31 - 50	Densa
Sobre 50	Muy densa

Fuente: US Army Corps of Engineers

En Figura 7.3 se muestra un equipo de sondaje y una muestra perturbada.

**FIGURA 7.3**  
SONDAJE



Sondaje



Recuperación de muestra

Fuentes: Teg Chile – Sondajes / Tierras y suelos S.A.S.

### 7.1.3. ESTUDIOS DE LABORATORIO

Las muestras extraídas del suelo, indicadas en el punto 7.1.2, se someten a diversos tipos de ensayos en laboratorio; los más frecuentes se muestran en Tabla 7.2.

**TABLA 7.2**  
ENSAYOS DE  
SUELOS

ESTUDIO	TIPOS DE ENSAYO
Clasificación de suelos	Granulometría (Ref.: LNV105)
	Límite líquido (WL) (NCh1517/1)
	Límite plástico (WP) (NCh1517/2)
	Límite contracción (WC) (NCh1517/3)
Propiedades físicas del suelo	Índice plasticidad (IP) (NCh1517/2)
	Densidad de partículas sólidas (Ref.: NCh1532)
	Humedad (Ref.: NCh1515)
Parámetros resistentes y deformaciones	Determinación de la densidad de muestras no perturbadas (Ref.: AASHTO T - 233)
	Índices de penetración (ASTM D 1586)
	Compresión no confinada (ASTM D 1580)
	Capacidad de soporte CBR (Ref.: NCh1852)
	Ensayo triaxial (ASTM D 2850, D 4767, D 7181)
	Ensayo de consolidación unidimensional (ASTM 2435)
Ensayo de corte directo (ASTM D 3080)	

## CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

*Se indicarán las características más relevantes de los suelos, tal que permitan identificarlos y así conocer su comportamiento.*

### TEMAS TRATADOS

- 7.2.1 Principales tipos de suelos y sus características
- 7.2.2 Clasificación de los suelos
- 7.2.3 Identificación visual en terreno

### 7.2.1. PRINCIPALES TIPOS DE SUELOS Y SUS CARACTERÍSTICAS

Para su identificación, todos los suelos pueden agruparse en cinco tipos base:

Gravas, arenas, limos, arcillas y suelos orgánicos. En la naturaleza siempre existen combinaciones de estos grupos, sin embargo, es necesario reconocer los tipos bases para poder distinguir el suelo.

#### A. SUELOS DE GRANO GRUESO.

La característica principal de los suelos de grano grueso es que mayoritariamente quedan retenidos en el tamiz de 0,075 mm. En Cuadro 7.1 se presenta una clasificación de estos suelos según sus tamaños.

**CUADRO 7.1**  
SUELOS DE GRANO GRUESO

Tipo de suelo	Tamaño (mm)	Características	Observaciones
Bloques	> 250		Son los mejores tipos de suelos. Su resistencia está dada principalmente por la fricción entre sus partículas (f).
Bolones	75 a 250		Tienen resistencia elevada, son muy permeables y no tienen problemas de hielo - deshielo (importancia en caminos).
Gravas	4,75 a 75	Agregados sin cohesión, de fragmentos granulares poco o no alterados, de roca y minerales.	
Arenas	0,075 a 4,75	Partículas de roca sin cohesión.	Su estabilidad es función de la compactación.

#### B. SUELOS DE GRANO FINO.

Los suelos de grano fino están formados mayoritariamente por partículas inferiores a 0,075 mm. A diferencia de la mayoría de los suelos de grano grueso, experimentan grandes cambios de volumen y de características con los cambios de humedad. En Cuadro 7.2 se presenta sus características.

**CUADRO 7.2**  
SUELOS DE GRANO FINO

Tipo de suelo	Tamaño (mm)	Características	Observaciones
Limos inorgánicos		Suelos de grano fino con poca o ninguna plasticidad. A causa de su textura áspera pero no granular, se confunden con arcillas y arenas finas. En estado seco son muy frágiles.	
Arcillas inorgánicas	< 0,075	Agregados de partículas pequeñísimas derivadas de la descomposición química de las rocas, plásticas dentro de límites extensos según contenido de humedad. Su comportamiento varía en presencia de agua: En estado seco son muy duras. Al estar empapadas en agua, pierden su cohesividad, formando una masa blanda incapaz de resistir carga. Tienen permeabilidades muy bajas.	Su resistencia depende principalmente de la cohesión de partículas.

#### C. SUELOS ORGÁNICOS.

No son adecuados para ninguna fundación.

En Cuadro 7.3 se muestra las características y tipos de suelos orgánicos.

**CUADRO 7.3**  
SUELOS ORGÁNICOS

Características
Proviene de organismos vivos, principalmente de restos de plantas. Tienen colores oscuros y parduscos y los caracteriza su olor (olor a humedad fuerte o descomposición). Son muy compresibles y sufren grandes cambios de volumen con los cambios de humedad. Se puede distinguir. Limos orgánicos: Color gris a gris oscuro. Arcillas orgánicas: Color gris oscuro a negro. En estado seco tienen resistencia muy alta, no así saturadas, donde además son muy compresibles. Turbas: Agregados fibrosos de fragmentos macro y microscópicos de material orgánico descompuesto.

En Figura 7.4, 7.5 y 7.6 se presenta algunos tipos de suelos más comunes.

**FIGURA 7.4**  
SUELO DE GRANO GRUESO



**Grava arenosa**  
Fuente: <https://es.dreamstime.com/>

**FIGURA 7.5**  
SUELO DE GRANO FINO



**Suelo arcilloso seco**  
Fuente: Geocav Ingenieros Civiles

**FIGURA 7.6**  
SUELO ORGÁNICO



Fuente: <https://www.shutterstock.com/>

## 7.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

Existen varias clasificaciones de suelos, sin embargo, la más difundidas corresponden a:

- A) Sistema de clasificación AASHTO
- B) Sistema Unificado de clasificación de suelos (USCS)

### A) SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO

Es el sistema más antiguo de clasificación de suelos. Fue adoptado en 1945 por la AASHTO, en ese entonces AASHO. Está regulado por la norma AASHTO M145.

El sistema es ampliamente empleado en la construcción de caminos, carreteras y autopistas.

El sistema clasifica los suelos en 8 grupos en orden decreciente de estabilidad. Con esto los suelos clasificados como "A1" son los mejores y los peores son los "A8", que tiene alto contenido de materia orgánica por lo que normalmente no se considera.

De la evaluación de cada grupo se hace un "índice de grupo", el que está dado por:

$$IG = (F - 35) \cdot 0,2 + 0,005(WL - 40) + 0,01(F - 15) \cdot (IP - 10) \text{ en que}$$

F es el % que pasa por el tamiz de 0,075 mm (se descarta el material superior a 80 mm), WL es el límite líquido e IP es el índice de plasticidad.

El índice de grupo se aproxima al entero más cercano y si resulta negativo se le da el valor 0. Si el suelo es NP (sin plasticidad) o cuando el límite líquido no puede ser determinado, el índice de grupo también se considera como "0".

Mientras mayor es el índice de grupo, peor es el suelo.

Este sistema de clasificación AASHTO define:

- Grava: material inferior a 80 mm y mayor a 2 mm
- Arena gruesa: suelo comprendido entre 2 y 0,5 mm
- Arena fina: suelo comprendido entre 0,5 y 0,075 mm
- Limo arcilla: suelo inferior a 0,075 mm

En Tabla 7.3 se presenta los grupos de este sistema de clasificación.

**TABLA 7.3**  
SISTEMA DE  
CLASIFICACIÓN  
AASHTO

Clasificación general	Suelos Granulares (≤ 35% pasa 0,08 mm)						Suelos finos (≤ 35% pasa 0,08 mm)				
	A - 1		A - 3	A - 2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Grupo	A - 1		A - 3	A - 2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo	A - 1a	A - 1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*			A-7-5** A-7-6**	
2 mm	≤ 50										
0,5 mm	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
0,08 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35			≤ 36				
WL				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≥ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IG	0	0	0	0	0	≤ 4	≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≥ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y arenas		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
	** A-7-5 IP < (WL-30)					** A-7-6 IP > (WL-30)					
	$IG = (F - 35) 0,2 + 0,005 (WL - 40) + (F - 15) \times (IP - 10) \times 0,01$ * Para A-2-6 y A-2-7: $IG = (F - 15) \times (IP - 10) \times 0,01$ Si el suelo es NP → IG = 0; Si IG < 0 → IG = 0										

Fuente: MOP. Curso de Laboratorista Vial. Geotecnia

## B) SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

El sistema es ampliamente empleado en el análisis de suelos para estructuras. Está regulado por ASTM D 2487.

En este sistema los suelos primero se clasifican en dos grandes grupos:

**Grano grueso:** más del 50% de las partículas son superiores a 0,075 mm. Si más de la mitad de las partículas son superiores a 4,75 mm se designan como "G" (grava) y, en caso contrario, como "S" (arena).

A estos símbolos básicos se les agrega una segunda letra: "W" buena graduación, limpios; "P" mal graduados pero limpios; "C" si contiene arcilla o arena con arcilla y "M" si contiene limo o limo y arena.

**Grano fino:** más del 50% del suelo es inferior a 0,075 mm. Pueden ser de tres tipos: "C" (arcilla), "M" (limos) y "O" (orgánicos). Se emplea una segunda letra según sea el límite líquido y representa la compresibilidad relativa. Se emplea "L" si el límite líquido es menor que 50 y "H" en caso contrario.

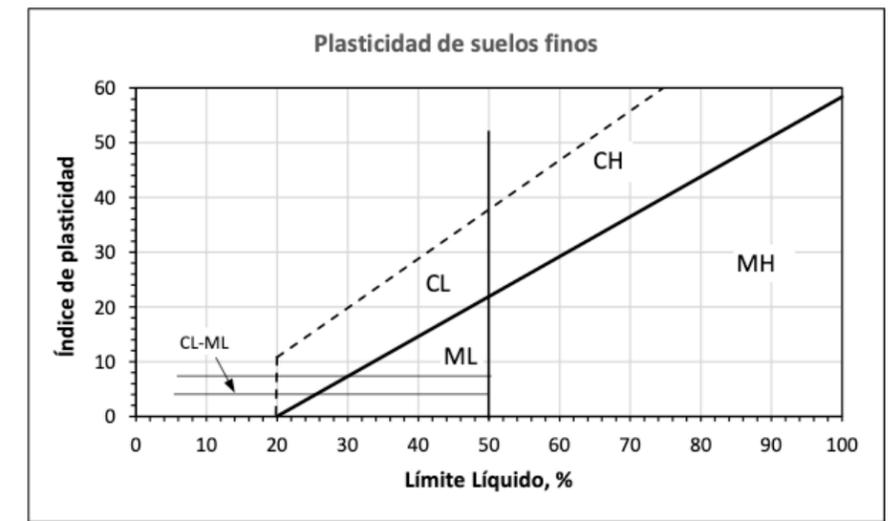
Para los materiales limpios (con menos de 5% bajo 0,075 mm), para determinar si el suelo está bien o mal graduado se utilizan los indicadores Coeficiente de Uniformidad (CU) y Coeficiente de Curvatura (CC).

$$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad CC = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

En que D10, D30 y D60 es el tamaño por el que pasan el 10, 30 y 60% del suelo. Normalmente deben calcularse interpolando logarítmicamente del gráfico de granulometría.

En suelos gruesos, pero con más de 12% inferior a 0,075, hay que analizar el límite líquido y el índice de plasticidad y agregar las letras "M" (limo) o "C" (arcilla) según lo indicado en Figura 7.7. En casos límites se emplean símbolos dobles.

**FIGURA 7.7**  
PLASTICIDAD  
DE SUELOS  
FINOS



Fuente: MOP. Curso de Laboratorista Vial. Geotecnia

Si los finos inferiores a 0,075 mm están entre 5 y 12% se emplean símbolos dobles según la graduación y según la plasticidad.

Para la clasificación de los suelos finos hay que analizar el límite líquido y el índice de plasticidad e identificar la designación en la Figura 7.7.

Para dar la clasificación "O", se realiza un segundo ensayo de límite líquido a una muestra secada al horno; los materiales orgánicos tienen un límite líquido inferior al 75% del límite original.

En casos límites, los suelos finos también emplean símbolos dobles. La regla de clasificación favorece lo más plástico. Por ejemplo, CH-MH en vez de CL-ML.

En Tabla 7.4 se presenta la clasificación USCS para suelos de grano grueso y en Tabla 7.5 la caracterización de estos suelos.

En Tabla 7.6 se muestra la clasificación USCS para suelos de grano fino y en tabla 7.7 se da a conocer las características de estos suelos finos.

**TABLA 7.4**  
SISTEMA DE  
CLASIFICACIÓN  
USCS. GRUESOS

GRUESOS (< 50 % pasa 0,075 mm)						
Tipo Suelo	Símbolo	% retenido en 5 mm	% Pasa 0,075 mm *	CU	CC	IP**
Gravas	GW	Más del 50%	< 5	>4	1 a 3	< 0,73 (WL-20) ó <4 > 0,73 (WL-20) y > 7
	GP			≥ 4	< 1 o > 3	
	GM		> 12			
	GC					
Arenas	SW	Menos del 50%	< 5	> 6	1 a 3	< 0,73 (WL-20) ó <4 > 0,73 (WL-20) y > 7
	SP			≤ 6	< 1 > 3	
	SM		> 12			
	SC					

\* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC  
\*\* Si IP > 0,73 (WL-20) o si IP entre 4 y 7 e IP > 0,73 (WL-20), usar símbolo doble como GM-GC, SM-SC  
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica. Ej.: GW-GM en vez de GW-GC

Fuente: MOP. Curso de Laboratorista Vial. Geotecnia

**TABLA 7.5**  
SISTEMA USCS.  
CARACTERÍSTICAS  
SUELOS GRUESOS

Símbolo	Tipo de suelo	Comportamiento como plano de fundaciones	Condiciones de drenaje	Compresibilidad	Condiciones de compactación
GW	Gravas y mezclas de arena bien graduadas con pocos o sin finos.	Excelente	Permeable	Casi nula	Excelente
GP	Gravas y mezclas de arena mal graduadas con pocos o sin finos.	Excelente	Muy permeable	Casi nula	Buena a Excelente
GM	Gravas limosas y mezclas de grava y arena limosas mal graduadas.	Bueno	Semipermeable a impermeable	Casi nula	Buena
GC	Gravas arcillosas y mezclas de grava y arena arcillosas mal graduadas.	Bueno a Regular	Impermeable	Muy baja	Buena
SW	Arenas y arenas gravosas bien graduadas con pocos finos o ninguno.	Excelente	Permeable	Casi nula	Excelente
SP	Arenas y arenas gravosas mal graduadas con pocos finos o ninguno.	Bueno	Semipermeable a impermeable	Casi nula	Buena a Regular
SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas.	Bueno	Semipermeable a impermeable	Baja	Regular
SC	Arenas arcillosas y mezclas de arenas y arcillas mal graduadas.	Bueno a Regular	Impermeable	Baja	Buena

Fuente: Universidad Nacional de La Plata. Fac. de Arquitectura y Urbanismo. Ficha N° 04

**TABLA 7.6**  
SISTEMA DE  
CLASIFICACIÓN  
USCS. FINOS

Finos (> 50 % pasa 0,075 mm)			
Tipo Suelo	Símbolo	Lim. Líq. WL	Índice de Plasticidad *IP
Limos inorgánicos	ML	< 50	IP < 0,73 (WL-20) ó < 4
	MH	> 50	IP < 0,73 (WL - 20)
Arcillas inorgánicas	CL	< 50	IP > 0,73 (WL - 20) y > 7
	CH	> 50	> 0,73 (WL - 20)
Limos o Arcillas Orgánicas	OL	< 50	** WL seco al horno £ 75% del WL seco al aire
	OH	> 50	
Altamente Orgánicas	Pt	Materia orgánica fibrosa, se carboniza, se quema o se pone incandescente	

\*Si IP > 0,73 (WL-20) o si IP entre 4 y 7 e IP > 0,73 (WL - 20), usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH  
\*Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente WL seco al horno  
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica. Ej.: CH-MH en vez de CL-ML  
Si WL = 50; CL-CH o ML-MH  
Pt Turba y otros suelos altamente orgánicos

Fuente: MOP. Curso de Laboratorista Vial. Geotecnia

**TABLA 7.7**  
SISTEMA USCS.  
CARACTERÍSTICAS  
SUELOS FINOS

Símbolo	Tipo de suelo	Comportamiento como plano de fundaciones	Condiciones de drenaje	Compresibilidad	Condiciones de compactación
ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, arenas finas limosas y arcillas de baja plasticidad	Excelente	Regular	Semipermeable a impermeable	Baja a Media
CL	Arcillas de baja a media plasticidad, arcillas arenosas, arcillas limosas	Regular a Malo	Impermeable	Media	Buena a Regular
OL	Limos orgánicos y mezclas de arcillas y limos orgánicos de baja plasticidad	Malo a Muy Malo	Semipermeable a Impermeable	Media a Alta	Regular a Mala
GC	Gravas arcillosas y mezclas de grava y arena arcillosas mal graduadas	Bueno a Regular	Impermeable	Muy Baja	Buena
MH	Suelos limosos y con arena fina micácea o de diatomeas, suelos limosos	Malo	Semipermeable a Impermeable	Alta	Mala a Muy Mala
OH	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad	Muy Malo	Impermeable	Alta	Mala a Muy Mala

Fuente: Universidad Nacional de La Plata. Fac. de Arquitectura y Urbanismo. Ficha N° 04

### 7.2.3. IDENTIFICACIÓN VISUAL EN TERRENO

Para identificar los suelos se pueden efectuar, sin necesidad de equipo, varios ensayos in situ, los que posteriormente se complementan con ensayos de laboratorio. Entre ellos están:

**Forma del grano:** Se observan y se clasifican las partículas de arena y grava en cuanto a su grado de angulosidad y redondez (angular, subangular, subredondeado y redondeado).

**Tamaño y graduación de los granos:** Los tamaños en arenas y gravas se reconocen fácilmente por inspección visual. Los granos más pequeños no pueden identificarse a simple vista y necesitan de otros ensayos para su identificación.

**Sacudimiento:** Es muy útil para suelos finos. Se prepara una pequeña porción de suelo húmedo y se sacude sobre la palma de la mano y se observa si el agua aparece en la superficie de la muestra, dándole una apariencia blanda y satinada. Luego se aprieta la muestra entre los dedos haciendo que el agua desaparezca de la superficie, la que cambia de una apariencia brillante a una mate; se deja que la muestra endurezca, luego se trata de desmenuzarla entre los dedos. Finalmente se vuelven a sacudir las piezas rotas o desmenuzadas (húmedas) hasta que fluyan nuevamente juntas.

Una reacción rápida indica falta de plasticidad, típico de un limo inorgánico, polvo de roca o arena muy fina.

Una reacción lenta indica un limo o una arcilla limosa ligeramente plástica.

Si no hay reacción, indica que se trata de una arcilla o un material orgánico.

**Rotura o resistencia seca:** Una muestra de suelo húmedo, tal que su longitud sea aproximadamente dos veces su diámetro, se deja secar al aire (o en horno), se aplasta entre los dedos y se ve la resistencia que opone al pulverizarse. (Se deben quitar todas las partículas gruesas que pudieran entorpecer el ensayo).

Una resistencia ligera indica un limo inorgánico, polvo de roca o una arena limosa.

Una resistencia media indica una arcilla inorgánica de plasticidad baja a media. Se requiere una considerable presión de los dedos para pulverizarla.

Una resistencia alta indica una arcilla de alta plasticidad. La muestra seca sólo puede ser rota pero no pulverizada con los dedos.

**Plasticidad:** Se prepara una muestra húmeda, sin partículas gruesas. Se amasa en la mano en forma de bastoncitos. Si es posible amasarla sin desmenuzarla, indica que el suelo es plástico (bastoncitos de diámetro 3 mm).

La arcilla de alta plasticidad forma un cilindro tenaz que puede ser remodelado por debajo del límite plástico, y deformarse sin que se desmenuce.

El suelo de mediana plasticidad forma un cilindro de moderada tenacidad, sin embargo, la masa se desmenuza luego de alcanzar el límite plástico.

El suelo de baja plasticidad forma un cilindro débil, que no puede ser amasado por debajo del límite plástico.

Consistencia en suelos finos: Se presiona el pulgar contra el suelo o se marca con la uña.

Si el pulgar penetra fácilmente varios centímetros, la consistencia es blanda.

Si el pulgar penetra varios centímetros con esfuerzo moderado, la consistencia es media.

Si se marca el pulgar, pero penetra sólo con gran esfuerzo, entonces la consistencia es firme.

Si se marca la uña del pulgar, la consistencia es muy firme.

Si hay mucha dificultad para marcar la uña del pulgar, la consistencia es dura.

**Tacto Arena:** Tacto granular

**Limo:** Textura áspera pero no granular. Se seca rápidamente y puede reducirse a polvo fácilmente, dejando sólo una mancha.

**Arcilla:** Tacto grasoso suave, se pega en los dedos, y se seca lentamente.

**Olor:** Los suelos orgánicos tienen un olor característico (humedad fuerte o descomposición). El olor puede hacerse más manifiesto calentando una muestra húmeda.

**Color:** En general los tonos oscuros de los colores, gris pardo o negro indican suelos orgánicos.

**Brillo:** Se frota una muestra seca o ligeramente húmeda con la uña del dedo o con la hoja de una navaja. Una superficie brillante indica una arcilla muy plástica, una superficie mate indica un limo o una arcilla de baja plasticidad.

## 7.3

# PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LOS SUELOS TÍPICOS

*En los puntos siguientes se entrega algunos parámetros de suelos típicos, sólo a título de referencia. Estos deben ser corroborados por un especialista en cada caso individual.*

TEMAS TRATADOS

- 7.3.1. Presiones de contacto admisibles
- 7.3.2. CBR (Razón de soporte California)
- 7.3.3. Ángulo de fricción interna y peso unitario global
- 7.3.4. Taludes de excavación y relleno

### 7.3.1 PRESIONES DE CONTACTO ADMISIBLES

La presión admisible o de trabajo es la máxima presión que se puede transmitir al terreno sin que la estructura sustentada sufra daños. En Tabla 7.8 se muestra rangos de presiones admisibles estáticas, para condiciones normales, de algunos tipos de suelos.

**TABLA 7.8**  
PRESIONES ADMISIBLES

Naturaleza del terreno	Presión admisible, MPa
1. Roca dura, roca primitiva	2 a 2,5
2. Roca blanda (toba, arenisca, caliza, etc.)	0,8 a 1,0
3. Tosca o arenisca arcillosa	0,5 a 0,8
4. Grava conglomerada dura	0,5 a 0,7
5. Grava suelta o poco conglomerada	0,3 a 0,4
6. Arena de grano grueso	0,15 a 0,2
7. Arcilla compacta o arcilla con arena seca	0,1 a 0,15
8. Arena de grado fino, según su grado de capacidad	0,05 a 0,1
9. Arcilla húmeda	hasta 0,5
10. Fango o arcilla empapada	0
Las presiones indicadas podrán modificarse si se demuestra experimentalmente que la resistencia del terreno lo justifica.	
Las presiones admisibles se disminuirán en un 20% cuando se trate de fundaciones de machones, pilares, columnas o apoyos aislados.	
Las presiones máximas admisibles podrán aumentarse hasta en un 20% en el caso de considerarse conjuntamente, y en su posición más desfavorable, las cargas verticales, la acción del viento y las fuerzas sísmicas, sin que puedan adoptarse dimensiones inferiores a las requeridas por las cargas estáticas actuando solas.	

Fuente: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones

### 7.3.2 CBR (RAZÓN DE SOPORTE CALIFORNIA)

Si bien el ensayo CBR debe realizarse cada vez que se hace un reconocimiento de suelos o cuando se elige un material para ser usado como relleno, en Tabla 7.9 se entrega una relación aproximada entre CBR y la clasificación del suelo.

**TABLA 7.9**  
CBR SEGÚN CLASIFICACIÓN

CBR	Clasificación general	Usos	Sistema de clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 - 3	Muy Pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 - 7	Muy Pobre a Regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 - 20	Regular	Subbase	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 - 50	Bueno	Subbase y Base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
Más de 50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

Fuente: Luis Chang Chang, "CBR. California bearing ratio"

### 7.3.3. ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA Y PESO UNITARIO

Valores típicos de estos parámetros (pueden ser utilizados en diseños preliminares) se presentan en Tabla 7.10.

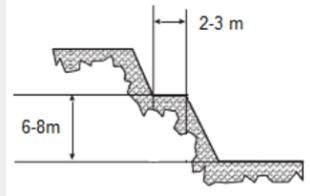
**TABLA 7.10**  
PESO UNITARIO Y  
ÁNGULO DE FRICCIÓN  
INTERNA

TIPO DE SUELO	Peso unitario (t/m <sup>3</sup> )		Ángulo de fricción interna	
	Húmedo	Sumergido	Húmedo	Sumergido
Arenas medias y finas	1,90	1,05	35°	35°
Arenas gruesas y gravas	2,00	1,10	40°	40°
Enrocados	2,10	1,20	45°	45°
Limos arcillosos y arcillas arenosas	2,00	1,05	25°	20°
Arenas limosas y arenas arcillosas	2,10	1,20	30°	30°

### 7.3.4. TALUDES DE EXCAVACIÓN Y RELLENO

En Cuadro 7.4 se muestra las recomendaciones para taludes en excavación o en rellenos.

**CUADRO 7.4**  
RECOMENDACIONES  
PARA TALUDES EN  
EXCAVACIÓN O EN  
RELLENOS

Faena	TALUD (H:V)	OBSERVACIONES
EXCAVACIÓN	1,5 : 1	Aplicable a todo tipo de suelos, para taludes definitivos.
	1 : 1,5	Aplicable a todo tipo de suelos, para taludes transitorios, siempre que no sobrepasen los 6 m de altura; para alturas mayores deben hacerse bermas de 2 a 3 m cada 6 a 8 m de altura.  Taludes más verticales deben ser determinados por un especialista en mecánica de suelos.
RELLENOS	2 : 1	Es aplicable a todo material y para cualquier altura (en caminos se utilizan generalmente taludes 1,5 : 1 (H:V)). Taludes más verticales pueden hacerse dependiendo del tipo de material y de la altura de terraplén, sin embargo, deben ser determinados por un especialista en mecánica de suelos.

## 7.4

### COMPACTACIÓN DEL SUELO

La compactación de los suelos se utiliza para:

- Aumentar la capacidad soportante de los suelos
- Reducir el escurrimiento del agua (se reduce la penetración del agua)
- Reducir los efectos de esponjamiento y contracción de los suelos
- Reducir los daños causados por las heladas
- Construir terraplenes y pedraplenes

TEMAS  
TRATADOS

- 7.4.1. Factores que afectan la compactación
- 7.4.2. Métodos de control de compactación
- 7.4.3. Métodos de compactación
- 7.4.4. Equipos de compactación
- 7.4.5. Espesores de capas de compactación

#### 7.4.1. FACTORES QUE AFECTAN LA COMPACTACIÓN

Para efectos de compactación, los suelos se dividen en dos grupos, como se muestra en Tabla 7.11.

**TABLA 7.11**  
TIPOS DE  
SUELOS PARA  
COMPACTACIÓN

Tipo de suelo	Características	Compactación
Suelo granular	Suelo formado por gravas y arenas limpias o con pocos finos (menor a 5%).	Se compactan totalmente secos o con abundante agua.
Suelo fino	Suelo gravoso o arenoso con más de un 12% de finos, o bien, suelo netamente fino.	Se compactan con humedad. La óptima se determina con ensayo Proctor.

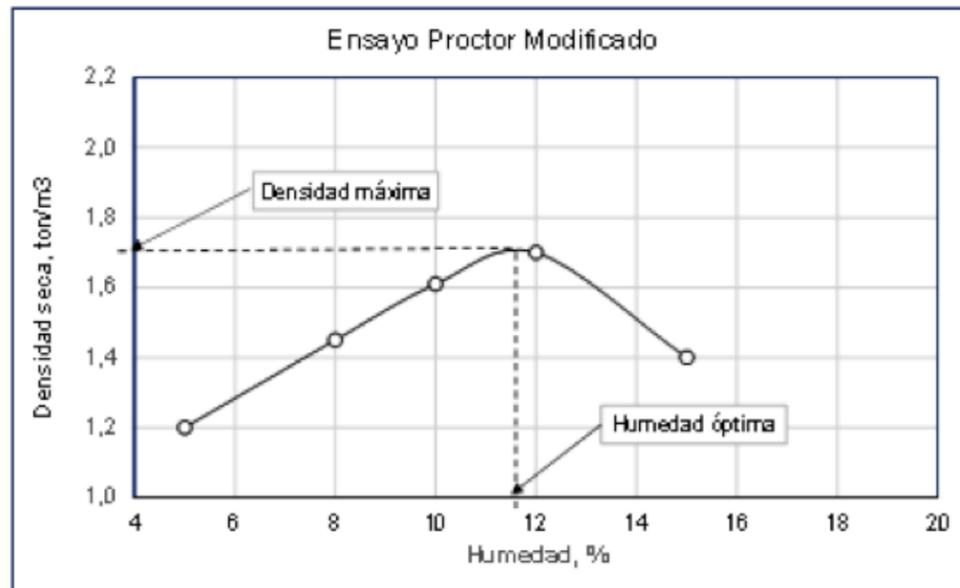
## 7.4.2. MÉTODOS DE CONTROL DE COMPACTACIÓN

El control del grado de compactación de un suelo se realiza comparando la densidad del terreno con una densidad patrón (% de densidad Proctor) o calculando una relación entre ellas (Densidad relativa).

En el ensayo Proctor (NCh 1534), se compacta mediante golpes una muestra de suelo en un molde normalizado. Se mide la densidad que se alcanza con diferentes porcentajes de humedad en el suelo, con lo que se tiene una curva humedad-densidad. Con esto se puede calcular la humedad óptima y la densidad máxima seca. La especificación normal es que el terreno alcance una densidad seca mínima del 95% de la densidad Proctor (Modificado); a veces la exigencia es de 90% de la densidad Proctor.

En Figura 7.8 se muestra una curva típica humedad – densidad del ensayo Proctor.

**FIGURA 7.8**  
ENSAYO  
PROCTOR



Fuente: Adaptado de [www.u-cursos.cl/ingeniería/material\\_docente](http://www.u-cursos.cl/ingeniería/material_docente)

Para el cálculo de la densidad relativa, en Laboratorio se determina la densidad mínima llenando un molde con el material suelto, evitando vibraciones y perturbaciones. Luego se determina la densidad máxima (seca o húmeda) llenando el molde, que está sujeto en una mesa vibradora, con el suelo que se analiza, colocando una sobrecarga y vibrando el conjunto. La especificación normal es que el suelo en terreno alcance una densidad relativa del 80 a 85%.

La densidad relativa,  $D_r$ , está dada por:

$$D_r = \frac{D_{m\acute{a}x}(D_t - D_{m\acute{i}n})}{D_t(D_{m\acute{a}x} - D_{m\acute{i}n})} * 100 (\%)$$

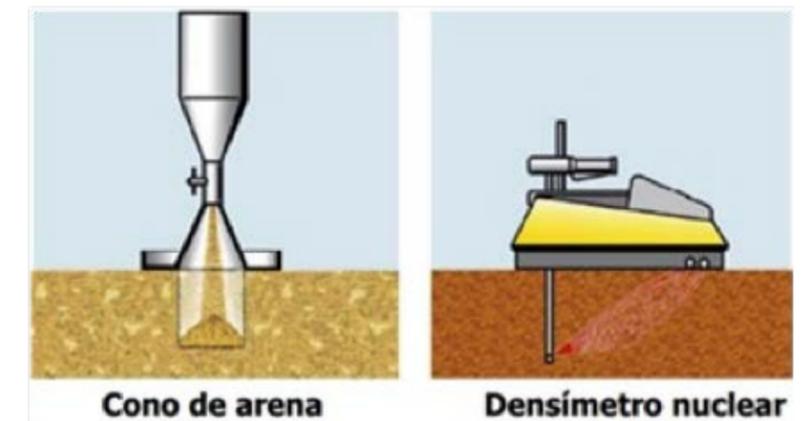
En que  $D_{m\acute{a}x}$ ,  $D_{m\acute{i}n}$  y  $D_t$  son las densidades máxima, mínima y del terreno que se controla, respectivamente.

La densidad del terreno se controla mediante el ensayo del cono de arena o mediante el método del densímetro nuclear.

Ambos métodos de control se muestran en Figura 7.9.

El resumen de los ensayos de control se presenta en la Tabla 7.12.

**FIGURA 7.9**  
CONTROL DE  
COMPACTACIÓN



Fuente: Juan Suárez Díaz. [erosion.com.co](http://erosion.com.co)

**TABLA 7.12**  
ENSAYOS DE  
CONTROL DE  
COMPACTACIÓN

ENSAYOS DE LABORATORIO	ENSAYOS EN SITIO
Densidad máxima y mínima y cálculo de la densidad relativa (NCh1726). Aplicable a suelos granulares sin finos	Densidad natural con cono de arena (NCh1516) o densímetro nuclear (LNV19)
Proctor Standard y Proctor Modificado (NCh 1534/1 y 1534/2). Aplicable a suelos con finos	
Humedad (NCh1515)	

### 7.4.3. MÉTODOS DE COMPACTACIÓN

Para la compactación de suelos existen cuatro tipos o métodos básicos, los que se muestran en Tabla 7.13.

**TABLA 7.13**  
EQUIPOS DE COMPACTACIÓN

Método	Características
Fuerza estática	La compactación se logra usando presión, es decir, con el peso de la máquina se comprime el suelo (Ej.: rodillo estático). Se utilizan poco pues fueron superados por los rodillos vibradores.
Fuerza de impacto	La compactación se logra por "choque", es decir, el suelo es compactado por efecto de un movimiento alternativo de una masa que golpea y se separa del suelo a alta velocidad (Ej.: un apisonador).
Vibración	La compactación se logra aplicando al suelo vibraciones de alta frecuencia (Ej.: placa vibradora, rodillo vibratorio).
Combinaciones de fuerza de impacto y vibración	La compactación se efectúa por combinación de peso con vibración o impacto (Ej.: placas vibradoras grandes, rodillos vibratorios pesados, rodillo con compactadores).

### 7.4.4. EQUIPOS DE COMPACTACIÓN

Son muchos los equipos de compactación. La elección del equipo adecuado depende de lo que se quiera compactar, como se muestra en Tabla 7.14.

**TABLA 7.14**  
EQUIPOS DE COMPACTACIÓN SEGÚN CAMPO DE APLICACIÓN

Campo de aplicación	Tipo de equipos					
	Apisonadores vibratorios	Placas vibratorias	Rodillos vibratorios con tambor	Rodillos vibrat. con tambor doble (tándem)	Rodillos pata de cabra	Rodillos vibratorios articulados
Servicio en lugares angostos	Apto	Regular	No apto	No apto	No apto	No apto
Zanjas	Apto	Apto	Regular	No apto	Apto	No apto
Trabajos de cimientos	Apto	Apto	Regular	Apto	Apto	No apto
Rellenos alrededor de estructuras	Apto	Apto	Regular	Apto	Apto	No apto
Paisajismo y jardinería	Apto	Apto	Apto	Apto	Regular	Apto
Senderos para peatones y bicicletas	Regular	Apto	Apto	Apto	No apto	Apto
Entradas para vehículos en patios y jardines	Regular	Apto	Apto	Apto	No apto	Apto
Instalaciones para deportes y juegos	No apto	Apto	Regular	Apto	No apto	Apto
Estacionamientos y áreas industriales	No apto	Regular	No apto	Apto	No apto	Apto
Construcción de carreteras	Regular	Regular	No apto	Apto	Regular	Apto
Construcción de vías de ferrocarril	Regular	Apto	No apto	Apto	Regular	No apto
Ingeniería hidráulica, vertederos de basura	Regular	Regular	No apto	Regular	Apto	No apto

Fuente: Wacker Neuson. "Suelo y asfalto. Equipos de compactación"

### 7.4.5. ESPESORES DE CAPAS DE COMPACTACIÓN

El espesor de la capa depende del equipo a utilizar y del tipo de material a compactar. El tamaño máximo del material no debe ser mayor a 3/4 del espesor de la capa compactada o 2/3 de la capa sin compactar.

En Tabla 7.15 se presenta los espesores que se pueden compactar según el equipo y el número de pasadas necesarias para cumplir las especificaciones normalmente establecidas.

**TABLA 7.15**  
ESPESORES DE  
CAPAS SEGÚN  
EQUIPO

Áreas y tipos de equipos de compactación	Tipos de Suelos								
	Suelos Granulares de no cohesivos a cohesivos			Suelos mixtos ligeramente cohesivos a cohesivos			Suelos de grano fino cohesivos		
	Apto	Espesor, cm	Pasadas	Apto	Espesor, cm	Pasadas	Apto	Espesor, cm	Pasadas
<b>Equipos de compactación livianos</b>									
Apisonadores vibratorios livianos (hasta 25 kg)	SÍ	Hasta 15	2 - 4	SÍ	Hasta 15	2 - 4	SÍ	Hasta 10	2 - 4
Apisonadores vibratorios medianos (35 a 60 kg)	SÍ	20 a 40	2 - 4	SÍ	15 a 20	3 - 4	SÍ	10 a 15	2 - 4
Placas vibratorias livianas (62 a 90 kg)	SÍ	Hasta 20	3 - 5	SÍ	Hasta 15	4 - 6	X		
Placas vibratorias medianas (100 a 300 kg)	SÍ	20 a 30	3 - 5	SÍ	15 a 25	4 - 6	X		
<b>Equipos de compactación pesados y semipesados</b>									
Apisonadores vibratorios pesados (60 a 200 kg)	SÍ	40 a 50	2 - 4	SÍ	20 a 40	2 - 4	SÍ	20 a 30	2 - 4
Placas vibradoras semipesadas (300 a 750 kg)	SÍ	30 a 50	3 - 5	SÍ	20 a 40	3 - 5	X		
Placas vibradoras pesadas (más de 750 kg)	SÍ	40 a 70	3 - 5	SÍ	30 a 50	3 - 5	X		

Fuente: Wacker Neuson, "Suelo y asfalto. Equipos de compactación"



# 8.

## PRODUCTOS

- 8.1 Hormigones
- 8.2 Cementos
- 8.3 Áridos



## HORMIGONES

*Polpaico posee varias familias o líneas de Productos Especiales, vale decir, hormigones y morteros premezclados que, en términos de diseño y desempeño, difieren de los productos convencionales empleados regularmente en el mercado.*

Los Productos Especiales se originan como respuesta a las necesidades de los proyectos en cuanto a reducir los costos y mejorar los plazos de sus obras, así como también de responder a métodos constructivos, maquinaria o equipos innovadores de cada faena.

Para lograr los desempeños requeridos, estos productos son dosificados con materias primas convencionales y especiales de última generación. También los áridos pueden ser ajustados a bandas granulométricas particulares dependiendo de los requisitos y la factibilidad de la zona respectiva.

Los Productos Especiales son aplicables tanto en faenas regulares de hormigón como también de otras materialidades. Es así como la línea de hormigones autocompactantes FluiHAC es un gran aporte para la productividad de las obras, dado que, al no requerir vibrado para su compactación, su vaciado y colocación es más sencillo y rápido, reduciendo la cantidad de integrantes de las cuadrillas y eliminando completamente el empleo de los equipos de vibrado.

Otra línea que permite reducir los plazos de construcción y puesta en servicio es la HormiFAST, cuyos productos alcanzan resistencias tempranas, es decir, mucho antes que las logradas por un hormigón convencional. Esta familia permite el desarrollo de resistencias especificadas a 3 días y a 7 días. Incluso, dependiendo del proyecto, se dispone de hormigones HormiFAST desarrollados para la puesta en servicio a edades inferiores a 3 días, ideales para pavimentos, elementos prefabricados, edificación u otras aplicaciones constructivas que requieran un rápido avance.

Pero no sólo las soluciones se concentran en hormigones. Para las faenas de albañilería existe la línea de morteros premezclados de larga vida MortePEGA-A, destinada a la pega de ladrillos y bloques, siendo una alternativa de alta eficiencia frente a los morteros predosificados en sacos o silos que se usan habitualmente. Este producto se despacha a obra en camión mixer y, una vez descargado en varios contenedores al inicio de la jornada, garantiza el abastecimiento continuo de los frentes de trabajo, manteniendo una



trabajabilidad adecuada hasta por 7 horas, haciendo posible a los albañiles aumentar su rendimiento diario.

Cabe mencionar también la línea de morteros fluidos MorteRELLENO, producto alternativo a los suelos compactados empleados normalmente en el relleno de excavaciones, que permite una reducción significativa de mano de obra, equipos y maquinaria, al no tener restricción en la altura de capas

ni requerir el paso de rodillos para su compactación, mejorando notoriamente los plazos de ejecución.

A su vez, para resolver otras problemáticas constructivas, de ingeniería y/o de arquitectura, Polpaico posee una amplia gama de soluciones, como también la opción de desarrollar nuevos productos, como los que se han dispuesto para diversas obras a lo largo del país, destacando a continuación una selección de ellos.

**IMPORTANTE**

*Polpaico posee una amplia cobertura a lo largo de Chile, ofreciendo productos y servicios integrales. Consulte a su ejecutivo disponibilidad de producto en su zona o llamando al **600 620 6200**.*

FluiHAC



DESCRIPCIÓN PRODUCTO

Hormigón autocompactante de alta y prolongada fluidez, desarrollado para faenas que requieran facilidad y rapidez en la colocación, mejorando los resultados de la obra gruesa, simplificando la etapa de terminaciones y disminuyendo los costos y plazos totales del proyecto.

Para más información > [CLICK AQUÍ](#)



APLICACIONES

- ✓ Edificación en altura con método monolítico de muro y losa.
- ✓ Construcción de casas y viviendas de hasta cinco pisos con método monolítico de muro y losa.
- ✓ Elementos estructurales con alta cuantía (concentración de armadura).
- ✓ Elementos esbeltos y/o con difícil acceso para equipos de vibrado.
- ✓ Elementos de formas complejas y/o singularidades geométricas.
- ✓ Grandes alturas de vaciado.

HormiCOLOR



DESCRIPCIÓN PRODUCTO

Hormigón estructural de color, logrado mediante la incorporación de pigmentos y desarrollado para una gran diversidad de usos arquitectónicos.

Para más información > [CLICK AQUÍ](#)



APLICACIONES

- ✓ Hormigones a la vista.
- ✓ Elementos de paisajismo.
- ✓ Plazas.
- ✓ Pavimentos.
- ✓ Estructuras de viviendas y edificación.
- ✓ Elementos prefabricados.
- ✓ Hormigones estampados.

## HormiDREN



Hormigón permeable desarrollado para ser utilizado como alternativa de drenaje y recolección de aguas.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)

### DESCRIPCIÓN PRODUCTO



### APLICACIONES

- ✓ Drenajes longitudinales y laterales.
- ✓ Obras de saneamiento.
- ✓ Ciclovías.
- ✓ Vías de circulación peatonal.
- ✓ Elementos arquitectónicos.
- ✓ Senderos en parques.
- ✓ Espacios públicos de tránsito peatonal.

## HormiEXTRUSIÓN



Hormigón estructural diseñado para ser empleado, mediante el uso de máquinas extrusoras, en la fabricación in situ con moldeado en fresco y continuo, de elementos de soporte vial, saneamiento y seguridad, entre otros.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)

### DESCRIPCIÓN PRODUCTO



### APLICACIONES

- ✓ Barreras camineras (New Jersey).
- ✓ Soleras, soleras con zarpa y soleras tipo badén.
- ✓ Canaletas de cableado.
- ✓ Durmientes.

## HormiFAST



### DESCRIPCIÓN PRODUCTO

Hormigón de alta resistencia temprana, desarrollado para alcanzar resistencias especificadas a edades menores o iguales a 7 días.

HormiFAST es un producto para ser utilizado en distintos elementos estructurales, pretensados y pavimentos, cuando se requiere disminuir los plazos de construcción y/o someter tempranamente los elementos a solicitaciones.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)



### APLICACIONES

- ✓ Elementos estructurales que requieran cumplir con resistencia a edades tempranas: inferior a 24 horas, 1 día, 3 días y 7 días.
- ✓ Obras que requieren desmoldar rápidamente y que requieren acelerar su proceso constructivo.
- ✓ Pavimentos que deben ser entregados al tránsito desde las 24 horas.
- ✓ Elementos prefabricados en general.
- ✓ Elementos pretensados en general.

## HormiHELICÓPTERO



### DESCRIPCIÓN PRODUCTO

Hormigón diseñado para atender las necesidades de un proceso de fraguado en la confección de pisos industriales, que posibilita la entrada anticipada de alisadores mecánicos y, además, permite lograr un óptimo acabado superficial, respondiendo de esta forma a los requerimientos constructivos de elementos horizontales de alto desempeño.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)



### APLICACIONES

- ✓ Ejecución de grandes superficies de pisos de hormigón.
- ✓ Cámaras frigoríficas.
- ✓ Estacionamientos, packings y bodegas con alto tránsito.
- ✓ Talleres industriales.
- ✓ Supermercados y centros comerciales.
- ✓ Pisos industriales con requerimientos especiales de terminación y tratamientos superficiales.
- ✓ Pisos industriales superplanos.
- ✓ Losas estructurales en obras de edificación.

## HormiIMPERMEABLE



### DESCRIPCIÓN PRODUCTO

Gracias a su diseño y selección de materiales, HormiIMPERMEABLE proporciona la solución ideal para obras civiles y de edificación que requieran cumplir con exigencias de permeabilidad al paso del agua o que estén en contacto con ambientes húmedos que pudieran afectar la durabilidad de la estructura.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)



### APLICACIONES

- ✓ Estanques de almacenamiento de agua potable.
- ✓ Plantas de tratamiento de aguas servidas.
- ✓ Muros de contención.
- ✓ Estacionamientos subterráneos.
- ✓ Represas.
- ✓ Piscinas.
- ✓ Bóvedas subterráneas.
- ✓ Fundaciones.
- ✓ Elementos de hormigón expuestos a ambientes húmedos.

## HormiPILOTE



### DESCRIPCIÓN PRODUCTO

Hormigón de alta y prolongada docilidad que, junto a una adecuada cohesividad, es una óptima solución para faenas de hormigonado de pilotes y elementos de fundación similares, moldeados in situ, encontrándose en diversas versiones de diseño de acuerdo con el método o técnica adoptada para la construcción del pilote.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)



### APLICACIONES

- ✓ Pilotes perforados con y sin entubación.
- ✓ Pilotes de barrena continua o CFA (Continuous Flight Auger).
- ✓ Pilotes con método Tremie.
- ✓ Pilas para estabilización de excavaciones.

## HormiPANTALLA



### DESCRIPCIÓN PRODUCTO

Hormigón de alta y prolongada docilidad que, sumado a una adecuada cohesividad, lo hacen una solución apropiada para ejecutar faenas de fundaciones del tipo muros pantalla.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)



### APLICACIONES

- ✓ Muros de contención y/o laterales en autopistas y pasos peatonales.
- ✓ Muros para entibaciones.
- ✓ Fundaciones de cepas de puentes.
- ✓ Pantallas o cortinas impermeables de presas o contención de lodos o residuos líquidos.

## HormiPRINT



### DESCRIPCIÓN PRODUCTO

Hormigón del tipo arquitectónico, desarrollado para ser utilizado en elementos a la vista con efectos de texturado superficial obtenido mediante el uso de moldes o láminas (hormigón estampado).

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)



### APLICACIONES

- ✓ Pavimentos y pisos estampados de sendas peatonales, estacionamientos, espacios interiores y exteriores de recintos habitacionales y edificios públicos o comerciales.
- ✓ Pavimentos y pisos con carácter ornamental en jardines, terrazas, piscinas, etc.
- ✓ Muros, losas (incluye cielos) y pilares texturados.
- ✓ Viviendas, edificios habitacionales, industriales o institucionales, obras viales, centros comerciales.

Hormi**RODILLO**



DESCRIPCIÓN PRODUCTO

Hormi**RODILLO** es un hormigón de muy baja docilidad, cuya compactación se realiza mediante el uso de rodillo vibratorio. Es un producto desarrollado especialmente para construcción de presas y como alternativa a los suelos compactados.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)



APLICACIONES

- ✓ Construcción de presas para centrales hidroeléctricas y proyectos mineros.
- ✓ Base para pavimentos, carreteras y estacionamientos.
- ✓ Patios de almacenamiento de contenedores en obras portuarias, terrapuestos y centros de distribución, entre otros.

Hormi**SECO**



DESCRIPCIÓN PRODUCTO

Hormigón preparado en seco (sin agua) y ensacado en big-bags. Su formato considera el transporte a obra donde, de acuerdo con su necesidad de empleo, se incorporará el agua de amasado para activar la mezcla. Cada big-bag seco está diseñado para activar 0,5 m de hormigón fresco.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)



APLICACIONES

- ✓ Hormigones estructurales y no estructurales en general.
- ✓ Elementos verticales y horizontales normales (cimientos, sobrecimientos, pilares, losas, radieres, etc.).
- ✓ Fundaciones de galpones y antenas.
- ✓ Reparaciones estructurales.

HormiVÍA



DESCRIPCIÓN  
PRODUCTO

Hormigones de pavimentos desarrollados para cumplir las especificaciones técnicas de pavimentación SERVIU y proyectos particulares basados en estos requerimientos.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)



APLICACIONES

- ✓ Pavimentos y calzadas urbanas.
- ✓ Pavimentos para corredores de transporte público.
- ✓ Pavimentos participativos.
- ✓ Reposición de pavimentos urbanos.
- ✓ Pavimentos de tránsito rápido (puesta en servicio a 3 o 7 días).

HormiVÍA LC



DESCRIPCIÓN  
PRODUCTO

Hormigones para pavimentos con diseño de losas de geometría optimizada según la tecnología TCPavements y que cumplen las especificaciones técnicas de pavimentación de proyectos públicos o privados basadas en éstas.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)



APLICACIONES

- ✓ Pavimentos y calzadas urbanas.
- ✓ Pavimentos para transporte público.
- ✓ Pavimentos participativos.
- ✓ Carreteras y autopistas.
- ✓ Pavimentos exteriores y estacionamientos de plantas industriales.
- ✓ Caminos de bajo tránsito.
- ✓ Estacionamientos de edificios.

## HormiVISTA



Hormigones de tipo arquitectónico desarrollados para su utilización en elementos de hormigón a la vista.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)

### DESCRIPCIÓN PRODUCTO



### APLICACIONES

- ✓ Toda clase de edificaciones que tengan especificadas una terminación superficial del hormigón expuesta a la vista:
  - Viviendas, edificios habitacionales, industriales o institucionales, obras viales, centros comerciales.
  - Hormigón a la vista en muros arquitectónicos con moldaje estampado o texturado y de terminación tradicional (liso).
- Elementos estructurales: pilares, columnas, vigas, losas y muros.
- Elementos estructurales esbeltos con alta densidad de armadura (vigas, pilares, columnas, muros altos), ductos u otros obstáculos.

## MorteLIVIANO



Morteros no estructurales de baja densidad, desarrollados para usos y aplicaciones que requieran reducción de sobrecargas. Debido a la incorporación de perlitas de poliestireno expandido y/o aditivos, este producto puede alcanzar densidades desde 800 a 2.000 kg/m<sup>3</sup>.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)

### DESCRIPCIÓN PRODUCTO



### APLICACIONES

- ✓ Sobrelasas de pisos o losas.
- ✓ Terrazas.
- ✓ Balcones.
- ✓ Azoteas.
- ✓ Prefabricados livianos no estructurales.

### MorteLOSA



#### DESCRIPCIÓN PRODUCTO

Morteros diseñados para ser utilizados de revestimiento de losas, como también en diversas aplicaciones en que se requiera mortero para cubrir superficies y nivelar.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)



#### APLICACIONES

- ✓ Sobrelosas para edificación en altura.
- ✓ Sobrelosas para viviendas.
- ✓ Sobrelosas para centros comerciales.

### MorteLOSA-F



#### DESCRIPCIÓN PRODUCTO

MorteLOSA-F es un mortero de alta y prolongada fluidez, diseñado para obras donde se requiera cubrir la superficie de las losas de manera simple y rápida, logrando fácilmente la nivelación de piso adecuada para las faenas posteriores.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)



#### APLICACIONES

- ✓ Sobrelosas de edificios.
- ✓ Sobrelosas de casas.
- ✓ Sobrelosas de centros comerciales.
- ✓ Sobrelosas de hospitales.
- ✓ Sobrelosas de losas radiantes.

MortePEGA-A



DESCRIPCIÓN PRODUCTO

Mortero de larga vida destinado a la pega de unidades de albañilería. El diseño del producto considera que la mezcla en estado fresco deberá mantener una trabajabilidad adecuada en obra, en cualquiera de sus dos versiones disponibles:

- Hasta 3 horas.
- Hasta 7 horas.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)



APLICACIONES

- ✓ ▪ Faenas de albañilería con ladrillo cerámico o bloque de hormigón, donde se requiera disponibilidad continua de mortero de pega para un óptimo rendimiento y productividad de las cuadrillas.

MortePEGA-B



DESCRIPCIÓN PRODUCTO

Mortero de larga vida destinado a la pega de baldosas. Según la versión, el producto posee un mantenimiento de la docilidad de hasta 7 horas desde su llegada a la obra, conservando su aspecto y consistencia, siendo una óptima solución que aporta a maximizar el rendimiento de una faena de instalación de baldosas con un producto de altos estándares de producción y control de calidad.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)



APLICACIONES

- ✓ Faenas de revestimiento superficial de una base o piso con baldosas, en la cual se requiera un suministro continuo de mortero de pega en diferentes frentes de trabajo que permitan un alto rendimiento y productividad.
- ✓ Pega de baldosas sobre radier o losa de hormigón, o suelo estabilizado compactado, entre otros.
- ✓ Pisos de edificios de uso público y/o de servicios generales, tales como hospitales y malls.
- ✓ Vías y veredas peatonales y para tránsito de vehículo liviano.

Morte**RELLENO**



Mortero de relleno fluido desarrollado para emplearse como alternativa a suelos compactados.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)

DESCRIPCIÓN  
PRODUCTO



APLICACIONES

- ✓ Relleno de excavaciones contra muros de subterráneos, trincheras de túneles viales y estribos en acceso a puentes.
- ✓ Rellenos de difícil acceso, de túneles o piques en desuso, atravesos y estanques.
- ✓ Relleno de excavaciones contra grandes fundaciones en proyectos mineros y centrales hidroeléctricas.
- ✓ Rellenos que requieran ser excavados posteriormente con equipos convencionales.
- ✓ Relleno de todo tipo de zanjas con presencia de tuberías o ductos.
- ✓ Faenas de relleno con poca mano de obra o con alto riesgo de accidentes.
- ✓ Como base y/o subbase para pavimentos.

Morte**SHOT**



Mortero desarrollado para su proyección manual o robotizada vía húmeda.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)

DESCRIPCIÓN  
PRODUCTO



APLICACIONES

- ✓ Sostenimiento de taludes.
- ✓ Revestimientos de canales.
- ✓ Revestimientos de túneles.
- ✓ Revestimiento de colectores de aguas lluvias.
- ✓ Revestimiento de túnel liner.
- ✓ Revestimiento de armadura en reparaciones de hormigón armado.
- ✓ Revestimiento de piscinas.

Morte**SHOT-F**



DESCRIPCIÓN PRODUCTO

Mortero fluido especialmente desarrollado para su proyección manual o robotizada vía húmeda. Su diseño considera que el mortero proyectado (shotcrete) cumpla con los requerimientos normativos internacionales que son especificados frecuentemente en obras subterráneas.

Para más información > [CLICK AQUÍ](#)



APLICACIONES

- ✓ Sello de excavación en tunelería.
- ✓ Sostenimiento y revestimiento de piques y túneles en infraestructura de transporte.
- ✓ Fortificación y refuerzo de túneles y cavernas en minería subterránea.
- ✓ Revestimiento de túneles y canales en obras hidráulicas.
- ✓ Sostenimiento de taludes.
- ✓ Revestimiento de colectores de aguas lluvias.
- ✓ Revestimiento de túnel liner.
- ✓ Revestimiento de armadura en reparaciones de hormigón armado.
- ✓ Revestimiento de piscinas.

Hormi**EXTRAB**



DESCRIPCIÓN PRODUCTO

Hormigón estructural de alta bombeabilidad, desarrollado para ser colocado por medios de bombeo tradicionales -estacionarios y telescópicos- bajo condiciones complejas tales como trazados horizontales y verticales extensos y/o con singularidades, entre otras, las cuales no son aptas para un hormigón de bombeabilidad convencional.

Para más información > [CLICK AQUÍ](#)



APLICACIONES

- ✓ En elementos estructurales ubicados a una distancia considerable de la fuente de bombeo, tanto horizontal como vertical.
- ✓ En construcción de estructuras para uso residencial y edificación en altura.
- ✓ En construcción para uso industrial (galpones, fábricas).
- ✓ Proyectos de infraestructura (puertos, aeropuertos).
- ✓ Estructuras para uso institucional (salud, educacional).
- ✓ Obras sanitarias (canalizaciones, plantas de tratamiento).
- ✓ Construcción de centros comerciales, complejos turísticos, estadios.

## HormiLOSA-FP



### DESCRIPCIÓN PRODUCTO

HormiLOSA-FP es un hormigón reforzado con fibras sintéticas estructurales, diseñado específicamente para el reemplazo total o parcial de la armadura de acero o de la malla electrosoldada en losas de fundación, pisos y radieres armados.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)



### APLICACIONES

- ✓ Losas de fundación y radieres armados de casas.
- ✓ Pisos y radieres armados de locales comerciales.
- ✓ Pisos y radieres armados de supermercados.
- ✓ Pisos y radieres armados de bodegas.
- ✓ Pisos y radieres armados de obras industriales.
- ✓ Radieres armados de piscinas.
- ✓ Elementos estructurales horizontales apoyados contra terreno.

## 8.2

### CEMENTOS

*Cemento Polpaico cuenta con tres plantas ubicadas estratégicamente en la zona norte, centro y sur del país para satisfacer las necesidades del mercado nacional. En cada planta se fabrican distintos tipos de cemento mediante molienda conjunta de clinker, yeso y materiales puzolánicos o con agregado tipo A, cuya producción se rige según la norma chilena NCh 148.Of68 y es controlada con un estricto autocontrol y certificada periódicamente por un organismo oficial externo.*

**La Planta Mejillones**, ubicada en la zona norte en la ciudad del mismo nombre, posee una capacidad de producción instalada de 300.000 toneladas anuales. En esta planta se producen dos tipos de cemento, corriente y de alta resistencia, utilizando clinker importado, puzolana y yeso de yacimientos locales, y cenizas volantes provenientes de centrales eléctricas de la zona.

**La Planta Cerro Blanco**, ubicada en la zona centro en la comuna de Til Til, posee una capacidad de producción instalada de 1.600.000 toneladas anuales. En la Planta Cerro Blanco se producen cuatro tipos de cemento, uno corriente y tres de alta resistencia, utilizando clinker de fabricación propia, puzolana y yeso de yacimientos locales, y agregado tipo A elaborado en la misma planta.

**La Planta Coronel**, ubicada en la zona sur en la ciudad del mismo nombre, posee una capacidad de producción instalada de 800.000 toneladas anuales. En esta planta, al igual que en la Planta Mejillones, se producen dos tipos de cemento, corriente y de alta resistencia, utilizando clinker importado, materiales puzolánicos que incluyen cenizas volantes provenientes de centrales eléctricas de la zona y yeso transportado de la zona centro.



#### CEMENTO POLPAICO ESPECIAL

Es un cemento puzolánico de grado corriente, fabricado en las tres plantas para usos generales el que, por sus características y formulación, permite obtener un excelente comportamiento con alto rendimiento en cualquier tipo de aplicación de exigencias moderadas. El Cemento Especial con agregado tipo A solo es fabricado en la Planta Cerro Blanco.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)



#### CEMENTO POLPAICO PREMIUM

Es un cemento portland puzolánico de grado alta resistencia, fabricado solo en la Planta Cerro Blanco, está especialmente diseñado para la fabricación de elementos y hormigones de altas exigencias a tempranas horas y edades maduras. Por sus características es el cemento de mayor estándar de la industria.



#### CEMENTO POLPAICO P400

Es un cemento portland puzolánico de grado alta resistencia, fabricado en las tres plantas, diseñado para la elaboración de elementos estructurales de hormigón con elevados requerimientos de desarrollo de resistencias a corto y largo plazo.

Para más información  
> [CLICK AQUÍ](#)



#### CEMENTO POLPAICO PORTLAND

Es un cemento portland de grado alta resistencia, fabricado solo en la Planta Cerro Blanco, especialmente diseñado para la fabricación de elementos de fibrocemento y para hormigones de altas exigencias de resistencias mecánicas.

# 9.

## SEGURIDAD

---

### 9.1 Prevención de riesgos y salud ocupacional

---



## PREVENCIÓN DE RIESGOS Y SALUD OCUPACIONAL

*Polpaico es una compañía nacional con una amplia trayectoria en la comercialización, fabricación y distribución de cemento, hormigón y áridos, donde nuestro principal activo son las personas que participan en nuestras operaciones.*

Respetamos y valoramos la vida, la seguridad y la salud de todas las personas que participan en nuestras operaciones, desarrollando procesos de mejora continua para la identificación, evaluación y control de riesgos a fin de evitar daño o lesiones en nuestros empleados, contratistas, proveedores, clientes, comunidades, personas y partes interesadas.

Creemos en el compromiso personal, la responsabilidad individual y el liderazgo presente en todos los niveles de la organización, ya que estos son la base para impulsar, sostener y mantener nuestra cultura de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Para cumplir con nuestro compromiso y política de seguridad, hemos diseñado una serie de iniciativas y herramientas que ponemos a disposición de nuestros clientes, los cuales están relacionados a aspectos de seguridad en obras de construcción, las cuales detallamos a continuación:

### GUÍAS DE APOYO PREVENTIVO

Estas herramientas permiten evaluar desde el punto de vista normativo las exigencias asociadas a seguridad establecidas en las Normas Chilenas y que permitirán controlar los riesgos relevantes para el desarrollo de los proyectos de construcción en:

- Cumplimiento normativo en la instalación de faena
- Seguridad en excavaciones
- Sistemas de protección para trabajo en altura
- Requisitos de seguridad para la operación de grúas torres

### REQUISITOS DE SEGURIDAD EN OBRA

Afiche informativo con Especificaciones de características de los camiones mixer en cuanto a dimensiones, espacios requeridos para ingresar a obra, altura, etc., Características y requisitos de seguridad para las zonas y lugares de descarga, Tipos de descarga que se realizan desde camión mixer y características de las zonas de lavado de los equipos mixer.

### EVALUACIONES DE RIESGO EN OBRA

Programa de visitas a obra realizado con la finalidad de identificar junto a los clientes, y a través de una lista de verificación digital (MoreApp), las condiciones de riesgo presentes durante la descarga de hormigón desde el camión mezclador y que puedan poner en riesgo la seguridad del personal.





## GUÍA DE APOYO PREVENTIVO INSTALACIONES DE FAENA TEMPORAL

### SALUD Y SEGURIDAD EN OBRA

Decreto N° 594: Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales mínimas en los lugares de trabajo del Ministerio de Salud.

REQ. DS N° 594	REQUISITO NORMATIVO	SÍ	NO	NA	RECOMENDACIÓN
Permisos	¿Posee permiso de uso de agua potable y alcantarillado?				Solicitar y tramitar en SEREMI de Salud
	¿Posee permiso para Instalación eléctrica?				Solicitar y tramitar en SEC
	¿Posee permiso para Instalación de faena?				Solicitar y tramitar en Municipalidad
	¿Posee permiso para acopio temporal de residuos?				Solicitar y tramitar en SEREMI de Salud
	¿Posee permiso de extracción de áridos por excavaciones masivas?				Solicitar autorización a proveedor
	¿Posee permiso para retiro de aguas servidas?				Solicitar y tramitar en SEREMI de Salud
	¿Posee permiso para retiro de residuos domésticos?				Solicitar y tramitar en SEREMI de Salud
	¿Posee permiso para transporte y disposición final de residuos peligrosos?				Solicitar y tramitar en SEREMI de Salud
	¿Posee permiso para mantener un gabinete o sala de primeros auxilios?				Solicitar y tramitar autorización a SEREMI de Salud.
Extintores	¿Existen extintores en cantidad suficiente?				Verificar tabla del artículo 46 del DS N° 594
	¿Los extintores se encuentran ubicados en lugares de fácil acceso y están señalizados?				Verificar en terreno
	¿Los extintores están cargados y vigente su mantención anual?				Verificar en terreno
Comedores	¿La capacidad de los comedores es suficiente para el personal de la obra?				Si la capacidad del comedor es menor a la dotación de la obra, considerar establecer turnos de almuerzo
	¿El comedor posee piso de material sólido y de fácil limpieza?				Considerar un radier
	¿El comedor se encuentra limpio?				Verificar en terreno
	¿El comedor cuenta con un sistema de refrigeración?				Considerar mantener una conservadora de alimentos para todo el personal
	¿El comedor está provisto con mesas y sillas con cubierta de material lavable?				Verificar en terreno
	¿El comedor cuenta con cocina?				Verificar en terreno
	¿Hay basureros identificados por color según el tipo de residuo?				Verificar en terreno
	¿Existe lavamanos y lavaplatos en el comedor?				Verificar en terreno
	¿Existe una adecuada ventilación del lugar?				Verificar en terreno
	¿Existen extintores en cantidad suficiente?				Verificar en terreno
	¿Los extintores se encuentran ubicados en lugares de fácil acceso y están señalizados?				Considerar instalar extintores en el comedor
	¿Los extintores están cargados y vigente su mantención anual?				Verificar en terreno
	¿La instalación eléctrica se encuentra en óptimas condiciones de operación?				Verificar en terreno
	¿Existe iluminación suficiente y adecuada?				Verificar y garantizar cantidad de Lux de acuerdo al DS 594
	¿La instalación eléctrica se encuentra en óptimas condiciones de operación?				Verificar en terreno

## INSTALACIONES DE FAENA TEMPORAL

Baños	¿Existen baños en cantidad suficiente para el personal de la obra?				Verificar Artículo 23 del DS N° 594
	¿Existen Servicios Higiénicos independientes y separados para hombres y mujeres?				Verificar en terreno
	¿Los baños se encuentran limpios e higienizados?				Verificar en terreno
	¿La ventilación del lugar es la adecuada?				Verificar en terreno
Salas de cambio	¿La instalación eléctrica se encuentra en óptimas condiciones de operación?				Verificar en terreno
	¿Existen casilleros guardarropa, en buenas condiciones, bien ventilados y en número igual al de las personas que requiere cambio de ropa?				Verificar Artículo 27 del DS N° 594
	¿Los extintores se encuentran ubicados en lugares de fácil acceso y están señalizados?				Asegurar que existan extintores en las salas de cambio
	¿Los extintores están cargados y vigente su mantención anual?				Verificar en terreno
	¿Los alrededores de los vestidores se encuentran limpios?				Verificar en terreno
	¿La instalación eléctrica se encuentra en óptimas condiciones de operación?				Verificar en terreno
	¿Las toallas son secadas en tendederos y no en líneas eléctricas?				Verificar en terreno
	¿Existe una adecuada ventilación del lugar?				Verificar en terreno
	¿La iluminación es suficiente y adecuada?				Verificar en terreno
	Bodegas	¿Están identificadas las bodegas?			
¿Las bodegas se encuentran limpias y ordenadas?					Verificar en terreno
¿Existe bodega para almacenamiento de residuos inflamables y combustibles?					Verificar en terreno
¿Existen bodegas de materiales para sustancias peligrosas (gases comprimidos, combustibles, productos químicos) independientes unas de otras?					Verificar en terreno
¿Existen hojas de seguridad publicadas en la bodega de sustancias peligrosas?					Verificar en terreno
¿Existe almacenamiento independiente para los cilindros de gases comprimidos?					Verificar en terreno
¿Existe almacenamiento independiente para los combustibles?					Verificar en terreno
¿Las pilas, rumas, castillos presentan condiciones estables en su apilamiento?					Verificar en terreno
¿Los pisos de las bodegas de combustibles tienen receptáculos de retención de derrames o protección con polietileno cubierto de algún material absorbente?					Verificar en terreno
¿Las bodegas de gases comprimidos, combustibles y sustancias peligrosas cuentan con techo, paredes (reja) y puerta con llave?					Verificar en terreno
¿La bodega de almacenamiento del densímetro nuclear está señalizada, cercada y cerrada?				Verificar en terreno	
¿La iluminación es suficiente y adecuada?				Verificar en terreno	
¿Existen estantes que permitan clasificar los materiales de forma segura y ordenada?				Verificar en terreno	

### 1. RECOMENDACIONES GENERALES

Siempre y en todo momento, mientras realice el recorrido por una obra en construcción, recuerde el uso obligatorio de los elementos de protección personal en todos los trabajadores de su obra.

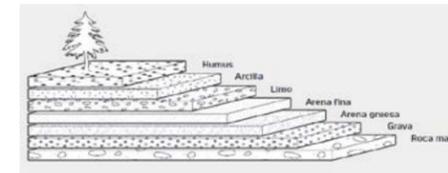


SALUD Y SEGURIDAD EN OBRA

REQ. NORMATIVO	CONDICIONES DE EXCAVACIÓN A EVALUAR	SÍ	NO	NA	RECOMENDACIÓN
NCh3206 Of.2010	¿La obra cuenta con estudio de mecánica de suelos, previo inicio de excavación?				Verificar existencia de informe
	¿Está definido el ángulo de talud natural?				Verificar en informe de mecánica de suelos
	¿Se cumple con el sistema de entibación, si corresponde?				Verificar en informe de mecánica de suelos
	¿Existe en obra la especificación técnica del proyecto de taludes, entibación y/o socalzado, si corresponde?				Solicitar las especificaciones y verificar que contiene el procedimiento constructivo, especificación de materiales, control de calidad, control de desplazamiento y/o control de deformaciones, si aplica.
	¿Se cuenta con planos de instalaciones y construcciones anteriores?				Solicitar planos de instalaciones eléctricas, gas u otras construcciones preexistentes.
NCh349 Of.1999	¿Los trabajadores han sido capacitados sobre los riesgos en excavaciones?				Solicitar registros
NCh348 Of.1999	¿El cierre perimetral se encuentra a una distancia mayor que la mitad de la profundidad de la excavación?				Verificar en terreno
N/A	¿El experto en prevención de riesgos consideró las indicaciones del estudio de mecánica de suelos, en el programa de prevención de riesgos?				Verificar en programa de prevención de riesgos de la Obra
NCh349 Of.1999	¿El área de excavación se encuentra señalizada?				Verificar en terreno
	¿Se cuenta con iluminación para trabajos nocturnos?				Verificar en terreno
NCh3206 Of.1999	¿El borde superior de la excavación sin entibación tiene una berma de 1 m de ancho?				Verificar en terreno
	Los taludes con riesgo de desmoronamiento, ¿se encuentran protegidos con malla?				Verificar en terreno
	¿Las paredes de la excavación están protegidas del resacamiento y/o el exceso de humedad? (Shotcrete o lechada)				Verificar en terreno
NCh349 Of.1999	¿Se inspeccionan las excavaciones diariamente y se documenta la inspección?				Mantener registros firmados
	¿Se realizan inspecciones luego de un sismo, temporal o paralización prolongada de los trabajos?				Mantener registros firmados
	¿La rampa de acceso a la excavación se encuentra señalizada?				Verificar en terreno
	¿El ancho de las rampas de acceso a las excavaciones tiene un ancho útil mayor a 3,6 m?				Verificar en terreno
	¿Los bordes del talud, se deben señalizar a 1 m de distancia del borde del talud?				Verificar en terreno
	Si existe tránsito de personas y maquinarias por la rampa de acceso a la excavación.				Construir un pasillo de uso exclusivo para personas de 1 m de ancho como mínimo, provisto de barandas duras que protejan a las personas de caídas al interior de la excavación y/o atropellos por circulación de vehículos.
	¿Las rampas de acceso para camiones presentan acumulación de barro y/o material granular suelto?				Eliminar esta condición y mantener terreno compactado y libre de material suelto.

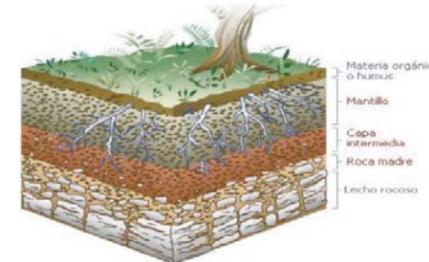
EXCAVACIONES

1. CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE SUELOS



2. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Corresponde al estudio realizado por un profesional (Ingeniero) calculista para determinar las características del suelo y determinar la resistencia del terreno y establecer el ángulo de reposo del suelo, llamado talud natural y que corresponde a la inclinación máxima en la que el suelo se mantiene estable.



3. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

Es recomendable que el personal que trabaja en excavaciones utilice en todo momento los siguientes E.P.P.

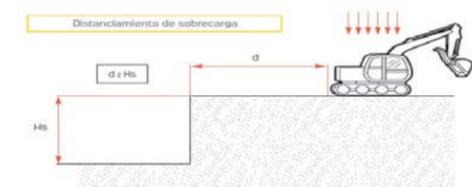


RECUERDE LAS SIGUIENTES RECOMENDACIONES:

- Tener en obra los planos de instalaciones y construcciones anteriores para conocer los trazados de tendidos subterráneos eléctricos o de gas.
- Si la obra requiere estudio de mecánica de suelos, se recomienda que sea conocido por la línea de supervisión (administrador de obra, profesional de terreno, jefe de obra, supervisores, experto en prevención de riesgos, entre otros).
- El equipo de prevención de riesgos de faena debe analizar las indicaciones del estudio de mecánica de suelos. Éstas FORMARÁN PARTE del programa de prevención de riesgos de la obra.
- Revisar en el estudio de mecánica de suelos el ángulo de inclinación máximo del talud, y respetar las recomendaciones de entibación o protección de las paredes de la excavación (por ejemplo, shotcret).
- Capacitar a los trabajadores sobre los riesgos a que están expuestos en la faena, los métodos correctos de trabajo, procedimientos y E.P.P. a utilizar.
- Instalar el cierre perimetral, que debe estar a una distancia mayor que la mitad de la profundidad de la excavación, según se indica en la NCh348.
- Instalar la señalización que corresponda en la obra.
- Evaluar si es necesario algún sistema de bombas para extracción de agua.
- Evaluar si la luz natural es suficiente o si es necesario instalar luz artificial.
- Poseer un procedimiento de emergencia que permita asistir en forma oportuna la ocurrencia de un accidente, el que debe ser difundido y evaluado periódicamente.

4. DISTANCIA DE SEGURIDAD

Corresponde al estudio realizado por un profesional (Ingeniero) calculista determinar las distancia de seguridad para terrenos con corte natural sin ningún sistema de protección, debe ser entre 1 y 1,5 veces la profundidad de la excavación.



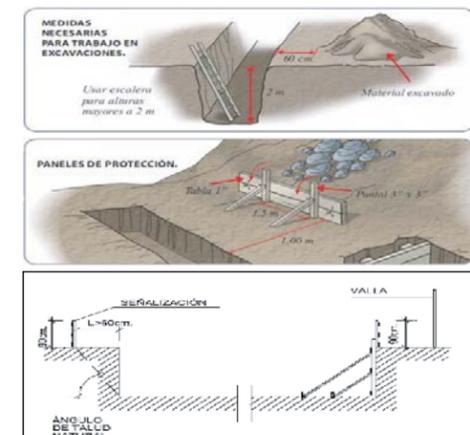
5. SEÑALIZACIÓN

Procure siempre mantener señalizados y protegidos los bordes de excavación y el riesgo de la misma.



6. PROTECCIONES

Es recomendable que el personal que trabaja en excavaciones utilice en todo momento los siguientes E.P.P.

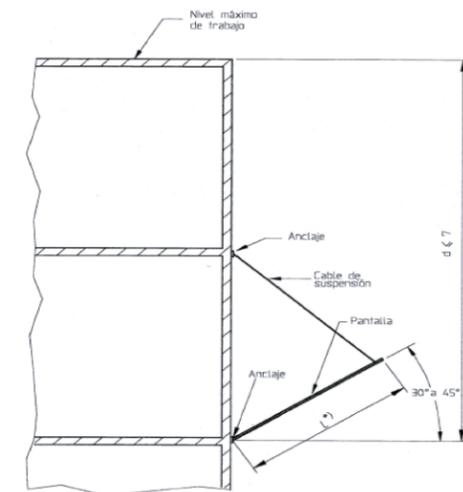


El propósito de los sistemas de protección para trabajo en altura es detener la caída desde altura de personas, así como también materiales, herramientas, escombros o cualquier objeto que pueda caer desde altura y causar daño a las personas que se encuentren trabajando o transitando en niveles inferiores.

Los requisitos de seguridad para el diseño, construcción, instalación y uso de estos sistemas se encuentran establecidos en la NCh2458. Sistema de Protección para trabajo en altura.

REQ. NORMATIVO	DEL MONTAJE Y UTILIZACIÓN DE UNA GRÚA TORRE	SÍ	NO	NA	RECOMENDACIÓN								
NCh2458Of. 1999-Sistemas de protección para trabajo en altura.	Se utilizan pantallas de protección cuando existe la posibilidad de caída de materiales, escombros, herramientas u otros elementos sobre personas que transitan o trabajan en niveles inferiores.				Considerar antes del inicio del proyecto los sistemas de protección a utilizar.								
	Si existe o se requiere de un sistema de protección, este se instala a una distancia máxima de 7 m, medidos desde la losa de avance hacia abajo.				Considerar enviar a fabricar y calcular antes de llegar con la obra a los 7 m de altura.								
	Las pantallas protectoras que se tienen o proyecta instalar cuentan con una memoria de cálculo estructural, capaz de resistir la caída de 2 personas simultáneamente.				Confeccionar memoria de cálculo o comprar sistema de pantalla asegurando solicitar la memoria y especificaciones de cálculo en español.								
	Los materiales de construcción de las pantallas deben ser compatibles entre sí para asegurar lo establecido en la memoria de cálculo.				Verificar en memoria de cálculo y especificaciones del fabricante o diseñador.								
	Asegurar que las pantallas protectoras no cuentan con fierro de construcción soldado en cualquiera de sus partes estructurales.				Verificar en terreno antes, durante y después del montaje.								
	Los sistemas de anclaje de las pantallas deben formar parte de la memoria de cálculo y diseño aprobado por calculista responsable.				Verificar								
	El ángulo de inclinación de las pantallas esta entre 30° y 45° con respecto a la vertical del edificio en donde se instalan.				Verificar en terreno y al momento del montaje.								
	Los cables de acero que se utilizan para anclar uno de los extremos más alejado de las pantallas, cumplen con las características de resistencia especificadas en la memoria de cálculo de las pantallas.				Verificar antes del montaje.								
	Si las pantallas de protección se instalan cerca de líneas eléctricas, se aíslan las partes metálicas de la pantalla y mantienen las distancias de seguridad.				Verificar antes del montaje								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Voltaje, V, V</th> <th>Distancia, D, m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V &lt; 1 000</td> <td>D &gt; 1</td> </tr> <tr> <td>1 000 ≤ V ≤ 66 000</td> <td>D &gt; 2,5</td> </tr> <tr> <td>66 000 &gt; V</td> <td>D &gt; 4</td> </tr> </tbody> </table>	Voltaje, V, V	Distancia, D, m	V < 1 000	D > 1	1 000 ≤ V ≤ 66 000	D > 2,5	66 000 > V	D > 4				
	Voltaje, V, V	Distancia, D, m											
	V < 1 000	D > 1											
1 000 ≤ V ≤ 66 000	D > 2,5												
66 000 > V	D > 4												
Las pantallas de protección no pueden ser utilizadas como almacenamiento de escombros, herramientas, materiales, etc., así como tampoco, utilizar como superficies de trabajo.					Verificación e inspección permanente								
Las pantallas se encuentran limpias y libres de escombros o materiales que hayan caído desde altura.					Verificación e inspección permanente								
Los sistemas de amarre o suspensión de las pantallas protectoras son cable acerado y no alambres, fibras sintéticas o naturales.					Verificación e inspección permanente								
Los cables de acero que se utilicen, cuentan con al menos 3 presas Crosby forjadas para su correcta sujeción.					Verificación e inspección permanente								
Se inspeccionan regularmente las pantallas y estas se encuentran libres de óxido, desgaste, deformaciones, daños o deterioros que afecten la resistencia de la pantalla.					Verificación e inspección permanente								

### 1. SISTEMA DE PROTECCIÓN



### 2. REQUISITOS DEL PERSONAL PARA PARTICIPAR EN EL MONTAJE DE LAS PANTALLAS DE PROTECCIÓN

- Examen físico de aptitud médica (Mutualidad).
- Contar con capacitación previa del proceso de instalación.
- Contar con dispositivos portaherramientas para evitar la caída de estas desde altura durante el montaje.
- Utilizar todos los elementos de seguridad y respetar las indicaciones e instrucciones de trabajo para el personal involucrado directamente en la instalación, modificación o traslado del sistema de protección.

### 3. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

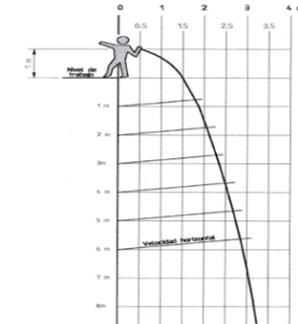
Es recomendable que el personal que participará en el montaje de las estructuras o trabajo en altura, cuente en todo momento con:



### PROTECCIÓN DE TRABAJOS EN ALTURA

#### 4. DISTANCIAS Y PROYECCIÓN DE CAÍDA

A continuación se ilustran las distancias a las que se pueden instalar las pantallas en función de la caída libre de una persona desde la losa de avance o desde altura.



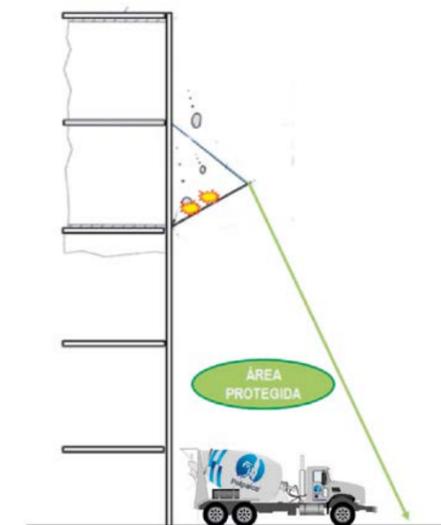
#### 5. SEÑALIZACIÓN DEL ÁREA DE DESCARGA DE HORMIGÓN DESDE CAMIÓN MIXER

Procure siempre mantener señalizada y protegida el área de trabajo en altura, sobre todo en las áreas en donde se realiza la descarga de hormigón.



#### 6. CUADRO DE CARGAS RECOMENDADOS

Estrobo de cables de acero según número de ramales

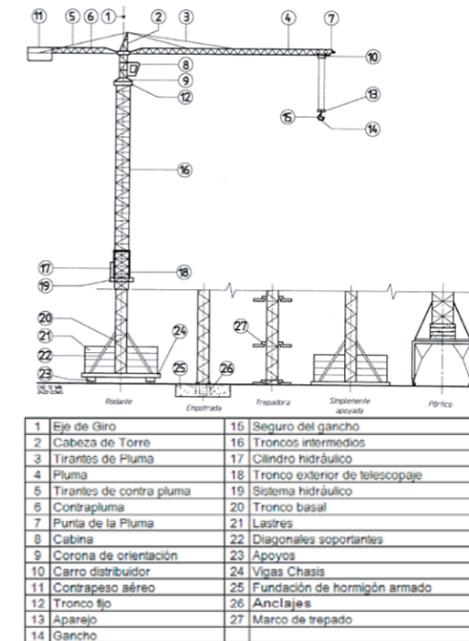


SALUD Y SEGURIDAD EN OBRA

Las Grúas Torre son máquinas proyectadas exclusivamente para el manejo de cargas suspendidas. Su utilización descuidada puede constituir riesgo para las personas y producir destrucción del equipo u otros bienes materiales. -NCh2431. Grúas Torre-.

REQ. NORMATIVO	DEL MONTAJE Y UTILIZACIÓN DE UNA GRÚA TORRE	SÍ	NO	NA	RECOMENDACIÓN
NCh 2438 Of. 1998-Grúas Torre: Requisitos de montaje	El personal que realizará el montaje de la grúa torre es supervisado por un profesional o un técnico con experiencia en montaje de grúas torre.				Solicitar a la empresa nómina del personal y certificación del supervisor a cargo del montaje.
	El montaje y desmontaje de la grúa se realiza con luz de día.				Verificar en terreno
	Las riostras a la vertical están definidas de acuerdo a un cálculo estructural.				Verificar memoria de cálculo
	Las fundaciones donde se montará la grúa torre tienen un cálculo.				Verificar memoria de cálculo y contrastar con lo que hay en terreno
	La alimentación eléctrica de la grúa cuenta con una protección o funda que recubra su exposición a la intemperie.				Verificar en terreno
NCh 2438 Of. 1998	El acceso a la grúa se encuentra bloqueado y restringido solo a personal autorizado.				Verificar en terreno
	Las escalas de acceso a la cabina de operación de la grúa torre poseen descansos cada 12 m.				Verificar en la grúa
NCh 2431 Of. 1999	La escala de acceso a la cabina cuenta con una línea de vida vertical que permita asegurar a la persona que debe acceder.				Verificar existencia en la vertical de la escala
NCh 2431 Of. 1999	El gancho de la grúa para izar la carga cuenta con un seguro que impida que se desenganche la carga.				Verificar antes del montaje de la grúa
NCh 2431 Of. 1999	El gancho de izaje tiene forjado y señalizado sobre relieve la capacidad nominal de carga.				Verificar antes del montaje de la grúa
NCh 2431 Of. 1999	La grúa torre cuenta con los mecanismos, cables y componentes de seguridad; limitador de carga, limitador de momento máximo, dispositivo hombre muerto y otros.				Solicitar al proveedor del servicio evidencia de mecanismos de seguridad
	El control y mantenimiento de la grúa torre se efectúa con la frecuencia que indica el fabricante o a lo menos una vez al mes.				Solicitar al proveedor del servicio el plan de mantenimiento y registros de estas
	Durante mantenimiento de la grúa, se controla y registra, especialmente, el correcto funcionamiento y calibración de los dispositivos de seguridad.				Solicitar al proveedor del servicio el plan de mantenimiento con el control de los dispositivos de seguridad
	Los cables utilizados para el izaje de la carga tienen certificación de calidad.				Solicitar certificación al proveedor
NCh 2431 Of. 1999	Los cables de izaje presentan empalmes o uniones en su longitud o recorrido.				Verificar en cable de acero
	La(s) grúa(s) torre tiene un anemómetro u otro mecanismo que permita medir la velocidad del viento en la pluma de la grúa.				Verificar en terreno
	Se prohíben las maniobras con grúa cuando la velocidad del viento es mayor a 64 km/h				Señalizar y verificar pruebas de bloqueo en grúa cuando velocidad de viento supera 64 km/h
NCh 2437 Of. 1999	Cuando hay más de 1 grúa trabajando en paralelo en la misma área de influencia, se posee un procedimiento de interferencia para evitar choque o colisiones entre grúas o carga.				Confeccionar y hacer cumplir procedimiento de interferencia para grúas torre. Asegurar limitador de giro a la grúa más alta cuando corresponda.
NCh 2437 Of. 1999	Se respetan las distancias de seguridad para líneas eléctricas • 3 m cuando la tensión es inferior o igual a 380 volt 50 Hz. • 5 m cuando la tensión es mayor a 380 volt 50 Hz e inferior a 13 600 volt. • 7 m cuando la tensión es igual o superior a 13 600 volt.				Verificar en terreno las distancias de seguridad
NCh 2437 Of. 1999	Las maniobras de izaje de la grúa torre son apoyadas por un Rigger debidamente capacitado y certificado.				Asegurar certificación del personal que cumple funciones de Rigger a través de algún organismo certificador
Recomendación	El Rigger cuenta con chaleco reflectante para ser identificado y diferenciarse del resto de los trabajadores de la obra por parte del operador de la grúa torre.				Asegurar la entrega y uso de chaleco reflectante
	Se cuenta con sistema de comunicación entre operador de grúa torre y Rigger para dirigir las maniobras.				Asegurar existencia y utilización de sistemas de comunicación.
	En su obra se asegura que otros trabajadores que intervienen en trabajos de izaje o carga de capacho cuentan con competencias para la tarea.				Asegurar el conocimiento para ejecutar maniobras seguras de izaje
Protocolo de seguridad en Mont. Op. Y Mantenimiento de grúas (SEREMI)	Tiene copia del ITET (Informe técnico específico para grúas torre) que debe entregar el proveedor de la grúa que está en su obra.				Solicitar al proveedor de grúa su ITET de la o las grúas suministradas.
	Tiene un plan de emergencia que considere el rescate del operador de grúa torre cuando esté en altura.				

1. TIPOS DE GRÚAS TORRE



2. REQUISITOS PARA OPERAR UNA GRÚA TORRE

- Edad mínima 18 años.
- Poseer un nivel de escolaridad suficiente (ver anexo B.1), reconocido por la Autoridad Competente.
- Examen de aptitud psicosomática adecuada. (Equivalente a conductores clase A2).
- Examen físico de aptitud médica (Mutualidad).

3. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

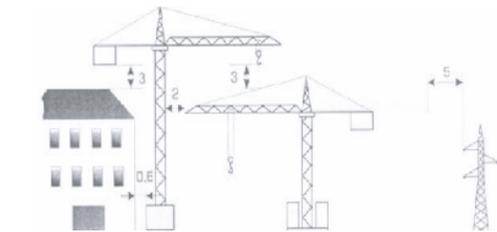
Es recomendable que el operador de grúa torre cuente con los siguientes E.P.P. para realizar su trabajo de forma segura.



GRÚAS TORRE

4. DISTANCIAS DE SEGURIDAD EN GRÚAS TORRE

A continuación algunas especificaciones de la norma respecto a distancias de seguridad para interferencias y para líneas eléctricas.



5. SEÑALIZACIÓN

Procure siempre mantener señalizados y protegidos los bordes de excavación y el riesgo de la misma.



6. CUADRO DE CARGAS RECOMENDADAS

Estrobo de cables de acero según número de ramales.



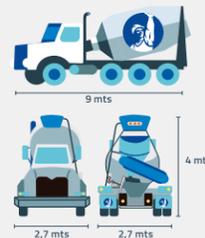
Diámetro Cable	2 Ramales			Diámetro Estrobo (mm)	3 y 4 Ramales			Diámetro Estrobo (mm)
	Angulo 60	Angulo 45	Angulo 30		Angulo 60	Angulo 45	Angulo 30	
5/16"	1,83	1,13	0,95	13	2,75	2,00	1,41	13
3/8"	2,30	1,80	1,33	13	3,45	2,82	1,99	20
7/16"	3,20	2,61	1,85	20	4,80	3,92	2,77	20
1/2"	3,99	3,26	2,30	20	5,99	4,89	3,46	26
9/16"	4,99	4,07	2,88	30	7,48	6,11	4,32	26
5/8"	6,52	5,32	3,76	26	9,78	7,98	5,64	32
3/4"	9,28	7,68	5,36	32	13,92	11,36	8,04	40
7/8"	12,77	10,43	7,37	32	18,16	15,04	11,06	40
1"	17,23	14,07	9,95	40	25,84	21,10	14,92	45
1-1/8"	21,99	17,95	12,70	40	32,99	26,93	19,04	45
1-1/4"	28,28	19,83	14,00	45	38,43	29,74	21,03	50
1-3/8"	30,82	25,16	17,79	45	46,23	37,74	26,69	60
1-1/2"	35,15	28,70	20,30	50	52,73	43,05	30,44	60
1-3/4"	43,72	40,59	28,70	60	74,58	60,89	43,56	70
2"	55,97	53,86	38,00	70	98,96	80,80	57,13	70

# REQUISITOS DE SEGURIDAD EN OBRA

## 1 Características del Camión Mixer

- Es responsabilidad del cliente proveer buenos y seguros caminos de acceso y puntos de descarga para nuestros camiones mixer.

- Considerando lo siguiente:
- Largo: 9 metros
  - Alto: 4,3 metros
  - Acceso (Ancho): 4 metros
  - Peso Mixer Cargado: 32.000 kilogramos
  - Radio de Giro: 17 metros
  - Largo Canoas: 3 metros



## 2 Lugar de Descarga



- Los caminos, accesos a obra y punto de descarga deben poseer un terreno estable y compacto, evitando el riesgo de hundimiento o volcamiento.
- Para estructuras que deban soportar los camiones, deben contar con una memoria de cálculo.



- Los bordes de rampas y accesos deben estar señalizados y no deben poseer una pendiente superior a 12°.



- Reducir y/o minimizar las maniobras en retroceso.
- Cuando el camión deba ingresar retrocediendo al punto de descarga o en calles de alto tráfico, la obra debe contar con un señalero capacitado.



- No se deben realizar maniobras de izaje de carga sobre el área de tránsito, punto de descarga y/o lugar destinado a la limpieza del camión mixer.



- La obra debe contar con un lugar seguro, señalizado y segregado para la limpieza de canoas fijas y auxiliares del mixer.



- Las líneas eléctricas o de comunicación deben estar sobre los 4,6 metros de altura.
- Las zonas de limpieza de canoas deben estar alejadas de líneas eléctricas.



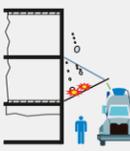
- En trabajos nocturnos o con poca luminosidad, la obra debe garantizar una correcta iluminación artificial en el punto de descarga y limpieza de canoas.



- Previo al proceso de entrega de hormigón el cliente debe contar con los permisos municipales correspondientes para la descarga.
- Ejemplo: ocupación de calzadas, tránsito de equipos de alto tonelaje.
- El área debe estar señalizada.



- Garantizar un sendero peatonal al costado del equipo, mínimo de 1,20 (m) libre de obstáculos, para descender del móvil y transitar libremente hacia la zona de descarga del producto:
  - Libre de elementos de sobredimensión (piedras, resto de hormigón y escombros).
  - Libre de desniveles o superficies irregulares.
  - Libre de fierros de construcción u otros materiales.
  - Libre de otros trabajos, por ejemplo, corte y soldadura.



- Se debe contar con sistema de protección para trabajos en altura (pantallas según NCH 2458), evitando así la caída de personas, materiales, herramientas, escombros u otros objetos a la zona en donde permanece operador y equipo mixer.



- Se deben mantener señalizadas y segregadas las cámaras de aguas lluvia, alcantarillado y eléctricas para evitar daños y caídas.

## 3 Tipo de Descarga



### Servicio de Bombeo

- La postura del camión mixer hacia el equipo de bombeo debe ser apoyada mediante un señalero, durante una maniobra de retroceso las canoas solo pueden ser desplegadas por el operador mixer a menos de 1 m del equipo de bombeo.
- Debe contar con topes físicos la tolva de la bomba.



- El personal de la obra no debe desplegar y/o manipular las canoas o comandos del camión mixer.



- Se debe segregar el área de operación del camión mixer y bomba de hormigón.



- Operador de mixer debe utilizar el joystick al momento de descarga, para mantenerse alejado del equipo de bombeo y/o trabajos en la vertical.



### Descarga Directa

- La descarga directa de hormigón debe realizarse con el apoyo de personal perteneciente a la obra.
- El personal deberá ubicarse en un lugar visible del operador mixer (lado izquierdo de la cabina del camión).
- El personal de la obra no debe desplegar las canoas o comandos del camión mixer.



### Descarga con Capachos

- La operación de la grúa y capacho debe contar con un procedimiento de trabajo seguro que considere la descarga de hormigón con capacho. Las maniobras deben ser dirigidas por un rigger.



- El capacho debe estar en buen estado y poseer sus dispositivos de seguridad de acuerdo a procedimiento de trabajo seguro de la obra y recomendaciones generales de su proveedor o fabricante.



- Debe existir una comunicación clara entre operador de grúa y rigger (señales y radiocomunicación).



- Los capachos de 750 lts. son más altos que las canoas del camión mixer, lo que genera un desnivel al momento de descargar hormigón en estos elementos.



- Se recomienda generar una pequeña excavación para ubicar los capachos, de esta forma la canoa del camión mixer queda a la altura correspondiente para una descarga segura.



- No recomendamos generar cuñas para levantar el camión mixer, no son seguras y aumentan riesgo de volcamiento por la carga dinámica y el peso que deben sostener (32 toneladas).
- Considerar también el riesgo de sismo.

## 4 Limpieza de Restos de Hormigón



- Al finalizar la descarga de hormigón, el camión mixer debe ser limpiado o lavado por el operador mixer para retirar piedras o sobrantes de hormigón que queden de la descarga.



- Es responsabilidad de la obra facilitar el lugar y/o los elementos para realizar esta limpieza.
- El objetivo de esta limpieza es minimizar proyecciones de material mientras el camión mixer se encuentra en tránsito.
- Durante esta labor, el operador mixer puede subir a la plataforma de la betonera, lo que genera riesgo de caída a distinto nivel, recomendamos verificar el uso de los 3 puntos de apoyo y de la barra lumbar.



- Considere esta actividad dentro de su procedimiento de trabajo seguro en la descarga de hormigón, es una parte importante dentro del proceso.
- Defina un lugar habilitado donde se pueda ubicar el camión, sin entorpecer la operación normal tanto de la obra como del operador y camión.
- Deben estar restringidas labores de izaje de material en la zona de operación del camión mixer (descarga y limpieza/lavado).



- En caso de que su obra autorice el lavado con agua, defina un lugar o elemento donde se puedan descargar los riles (residuos industriales líquidos) que genera el lavado.



- En caso de realizar una limpieza en seco recomendamos utilizar un escobillón municipal.

Para mayor información de manipulación de los materiales acceder a: [Hoja de Seguridad Cemento](#) y [Hoja de Seguridad Hormigón](#)

## REFERENCIAS

- AASHTO M-145:2008. Classification of Soils and Soil Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.
- ACI 224.1R-07. Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in Concrete Structures.
- ACI304R-00 (Re aprobada 2009). Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete.
- ACI304.1R92 (2005). Guide for the Use of Preplaced Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete Applications.
- ACI309R-05. Guide for Consolidation of Concrete.
- ACI318S-19. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentarios.
- ACI347-04. Guide to Formwork for Concrete.
- ACI SP2. Manual de inspección del hormigón.
- ASTM A 706-16. Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement.
- ASTM A1035-20. Standard Specification for Deformed and Plain, Low-Carbon, Chromium, Steel Bars for Concrete Reinforcement
- ASTM C 109-20. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens).
- ASTM C 227-10. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement - Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method) (Withdrawn 2018).
- ASTM C 231-17. Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method.
- ASTM C289-07. Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method) (Withdrawn 2016).
- ASTM C 295-19. Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete.
- ASTM C 418-20. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete by Sandblasting.
- ASTM C 939-16. Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method).
- ASTM C1012-18. Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution.
- ASTM C1074-19. Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method.
- ASTM C1138-19. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete (Underwater Method).
- ASTM C1170-20. Standard Test Method for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table.
- ASTM C1260-14. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method).
- ASTM D1586-18. Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils.
- ASTM D2166:16. Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.
- ASTM D2435-11(2020). Standard Test Methods for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils Using Incremental Loading.
- ASTM D2487-17. Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).
- ASTM D2850-15. Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils.
- ASTM D3080-11. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions (Withdrawn 2020).
- ASTM D4767-11(2020). Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils.
- ASTM D7181-20. Standard Test Method for Consolidated Drained Triaxial Compression Test for Soils.
- ASTM D6910-19. Standard Test Method for Marsh Funnel Viscosity of Construction Slurries.
- ASTM E 518-15. Standard Test Methods for Flexural Bond Strength of Masonry.
- Catálogo Aconcret
- Catálogo Aza
- Catálogo Celcon
- Catálogo Controls
- Catálogo Cotecno
- Catálogo ChemGrout
- Catálogo Emaresa (Schwing)
- Catálogo Geosistemas
- Catálogo Lechuga Hermanos
- Catálogo Leis
- Catálogo Lemaco
- Catálogo Normet
- Catálogo Putzmeister
- Catálogo Wacker Neuson
- Catálogo Whiteman. Multiquip
- Comisión Chilena de Energía Nuclear. Centro de estudios nucleares La Reina.
- Chang, Luis. "CBR. California bearing ratio".
- De Solminihac - Thenoux. "Procesos y técnicas de construcción."
- Díaz, Ebensperger, Videla. "Experiencia chilena en construcción de grandes pisos superplanos postensados".
- Ebenperger L, Torrent R. "Durabilidad y vida útil del Hormigón. Un enfoque integral basado en mediciones de la permeabilidad al aire".
- Guzmán, Euclides. "Curso elemental de edificación".
- Holcim. "Course of cement applications".
- Holcim. "Diagnóstico de problemas en el hormigón".
- Holcim. "Ensuring concrete durability".
- ICH. Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. Manual Básico de Construcción.
- ICH. Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. Manual del hormigón.
- ICH. Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. Manual del albañil de ladrillos cerámicos.
- ICH. Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. Manual Detallamiento Hormigón Armado.
- Ley General de Urbanismo y Construcción.
- Ministerio de Economía. Decreto 66-2007. Reglamento de instalaciones interiores y medidores de gas.
- Ministerio de Economía. Decreto 20-2008. Modifica Decreto 66-2007.
- Ministerio de Minería. Decreto 132-2002 (2013). Reglamento de seguridad minera.
- Ministerio de Obras Públicas. Curso de Laboratorista Vial. Geotecnia.

## REFERENCIAS

Ministerio de Obras Públicas. Manual de Carreteras. Volumen 8. LNV 105. Suelos: método para determinar la granulometría.

Ministerio de Obras Públicas. Manual de Carreteras. Volumen 8. LNV 19. MOP. Auscultaciones y prospecciones: método nuclear para determinar in situ la densidad de suelos (medición superficial).

Ministerio de Obras Públicas. Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado (RIDAA).

Ministerio de Salud. Decreto 594-1999 (2015). Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Ley General de Urbanismo y Construcciones.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

Muñoz, M. "Caracterización de lechadas cementicias para su uso en consolidación o reparación de estructuras agrietadas".

NCh 148.Of68 Cemento – Terminología, clasificación y especificaciones generales.

NCh 158:2019. Cemento – Ensayo de compresión.

NCh 160:1969f69. Cemento – Agregado Tipo A para uso en cementos – Especificaciones.

NCh 163:2013. Áridos para morteros y hormigones – Requisitos.

NCh 164:2009. Áridos para morteros y hormigones – Extracción y preparación de muestras.

NCh 169:2001. Construcción - Ladrillos cerámicos - Clasificación y requisitos.

NCh 170:1985. No vigente. Hormigón – Requisitos generales.

NCh 170:2016. Hormigón – Requisitos generales.

NCh 171:2008. Hormigón – Extracción de muestras del hormigón fresco.

NCh 174:2019. Maderas - Unidades, dimensiones nominales, tolerancias y especificaciones.

NCh 181:2006. Bloques de hormigón para uso estructural - Requisitos generales.

NCh 182:2008. Bloques de hormigón para uso estructural – Ensayos.

NCh 200:1972. Productos metálicos - Ensayo de tracción.

NCh 201:1968. Acero - Ensayo de doblado de planchas de espesor superior o igual a 3 mm, barras y perfiles.

NCh 202:1967. Acero - Ensayo de doblado simple y alternado de planchas y flejes de espesores menores que 3 mm.

NCh 203:2006. Acero para uso estructural – Requisitos.

NCh 204:2020. Acero – Barras laminadas en caliente para hormigón armado.

NCh 383:1955. Medidas de seguridad en el almacenamiento de explosivos.

NCh 385:1955. Medidas de seguridad en el transporte de materiales inflamables y explosivos.

NCh 389:1974. Sustancias peligrosas - Almacenamiento de sólidos, líquidos y gases inflamables - Medidas generales de seguridad.

NCh 701:1971. Acero - Planchas delgadas de acero al carbono laminadas en caliente – Tolerancias.

NCh 702:1971. Acero - Planchas delgadas de acero al carbono laminadas en frío – Tolerancias.

NCh703:1971. Acero - Planchas gruesas de acero al carbono laminadas en caliente - Tolerancias.

NCh1017:2009. Hormigón - Confección en obra y curado de probetas para ensayos de compresión, tracción por flexión y por hendimiento.

NCh1018:2009. Hormigón – Preparación de mezclas para ensayos en laboratorio.

NCh1019:2009. Hormigón - Determinación de la docilidad - Método del asentamiento del cono de Abrams.

NCh1037:2009. Hormigón - Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas.

NCh1038:2009. Hormigón - Ensayo de tracción por flexión.

NCh1170:2012. Hormigón - Ensayo de tracción por hendimiento.

NCh1171/1:2012. Hormigón - Testigos de hormigón endurecido - Parte 1: Extracción y ensayo.

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

NCh1172:2010. Hormigón - Refrentado de probetas.

NCh1198:2006. Madera - Construcciones en madera – Cálculo.

NCh1207:2017. Pino radiata, Pino oregón, Pino ponderosa - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.

NCh1269:1990. Clavos de acero de sección circular de uso general – Requisitos.

NCh1443:2012. Hormigón y mortero - Agua de amasado – Muestreo.

NCh1498:2012. Hormigón y mortero - Agua de amasado - Clasificación y requisitos.

NCh1515:1979. Mecánica de suelos - Determinación de la humedad.

NCh1516:2020. Mecánica de suelos - Determinación de la densidad en el terreno - Método del cono de arena.

NCh1517/1:1979. Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 1: Determinación del límite líquido.

NCh1517/2:1979. Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 2: Determinación del límite plástico.

NCh1517/3:1979. Mecánica de suelos - Límites de consistencia - Parte 3: Determinación del límite de contracción.

NCh1532:1980. Mecánica de suelos - Determinación de la densidad de partículas sólidas.

NCh1534/1:2008. Mecánica de suelos - Relaciones humedad/densidad - Parte 1: Métodos de compactación con pisón de 2,5 kg y 305 mm de caída.

NCh1534/2:2008. Mecánica de suelos - Relaciones humedad/densidad - Parte 2: Métodos de compactación con pisón de 4,5 kg y 457 mm de caída.

NCh1564:2009. Hormigón - Determinación de la densidad aparente del hormigón fresco.

NCh1565:2009. Hormigón - Determinación del índice esclerométrico.

NCh1726/1:2009. Mecánica de suelos - Determinación de la densidad en suelos no cohesivos - Parte 1: Densidad máxima usando mesa vibradora.

NCh1726/22009. Mecánica de suelos - Determinación de la densidad en suelos no cohesivos - Parte 2: Densidad mínima.

NCh1789:1986. Hormigón - Determinación de la uniformidad obtenida en el mezclado del hormigón fresco.

NCh1852:2010. Mecánica de suelos - Determinación de la razón de soporte de suelos compactados en laboratorio.

NCh1928:1993 (Modificada en 2009). Albañilería armada - Requisitos para el diseño y cálculo.

NCh1934:1992. Hormigón preparado en central hormigonera.

NCh1998:1089. Hormigón - Evaluación estadística de la resistencia mecánica.

NCh2123:1997 (Modificada en 2003). Albañilería confinada - Requisitos de diseño y cálculo.

NCh2182:2010. Hormigón y mortero - Aditivos - Clasificación y requisitos.

NCh2185:1992. Hormigón y mortero - Método de ensayo - Determinación de la resistencia a la congelación y el deshielo.

NCh2221:2010. Hormigón y mortero - Métodos de ensayo - Determinación de los cambios de longitud.

NCh2256/1:2013. Morteros - Parte 1: Requisitos.

NCh2257/1:1996. Morteros - Determinación de la consistencia - Parte 1: Método del extendido en la mesa de sacudidas.

NCh2257/3:1996. Morteros - Determinación de la consistencia - Parte 3: Método del asentamiento del cono.

NCh2259:1996. Morteros - Determinación de la retentividad - Método de la succión del agua por vacío.

NCh2260:1996. Morteros - Preparación de mezclas de prueba y mezclas comparativas en el laboratorio.

NCh2261:2010. Morteros - Confección de probetas en obra y determinación de la resistencia a compresión.

NCh2262:2009. Hormigón y mortero - Determinación de la permeabilidad al agua - Método de la penetración de agua bajo presión.

NCh2432:1999. Bloques macizos de hormigón celular - Especificaciones.

NCh2456:2001. Materiales de construcción - Determinación del coeficiente de absorción de agua.

NCh2457:2014. Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificios - Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua.

NCh2471:2000. Morteros - Ensayo de adherencia - Método de tracción directa.

NCh2824:2019. Materiales de construcción - Maderas - Pino radiata - Unidades, dimensiones y tolerancias.

NCh3113:2007. Hormigón autocompactante - Determinación del escurrimiento - Método del cono.

NCh3329:2016. Acero - Barras laminadas en caliente con cromo para hormigón armado - Requisitos.

NCh3334:2014. Acero - Barras laminadas en caliente soldables para hormigón armado - Requisitos.

NCh Elec 4:2003. Electricidad - Instalaciones de consumo en baja tensión.

Olortegui, M. "Manual de construcción de edificios".

RILEM Test Method N° 11.4 "Measurement of water absorption under low pressure".

Neville, Adam. Properties of Concrete.

SIA 262/1 (2003), Norme Suisse: "Construction en béton - Spécifications complémentaires", Annexe E: Perméabilité à l'air dans les Structure.

Sika. "Hormigón reforzado con fibras".

Torrent, Roberto. "Nuevo enfoque para asegurar la vida útil de estructuras de hormigón armado".

UNE-EN 1017-17. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 17: Determinación del contenido en cloruros solubles en agua de los morteros frescos.

UNE-EN 12350-3. Ensayos de hormigón fresco. Parte 3. Ensayo Vebe.

UNE-EN 933-9. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 9: Evaluación de los finos. Ensayo de azul de metileno.

Universidad Nacional de La Plata. Fac. de Arquitectura y Urbanismo. Ficha N° 04.

Universidad de Valparaíso. Academia.edu

Wacker Neuson. "Suelo y asfalto. Equipos de compactación".

[www.chile.generadordeprecios.info](http://www.chile.generadordeprecios.info)

[www.slideshare.net/jopacaro/68337371-coeficientesdeesponjamiento](http://www.slideshare.net/jopacaro/68337371-coeficientesdeesponjamiento)

Zabaleta, Hernán. "Tecnología de la construcción en hormigón".

### Actualización del Manual realizada por:

#### Rafael Cepeda Costa

Constructor Civil. Universidad de Chile  
Profesor Titular Universidad Central

#### Jaime Eugenio Arriagada Araya

Arquitecto e Ingeniero - Magíster en Construcción Académico de la Escuela de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Central de Chile

### Comité Editor:

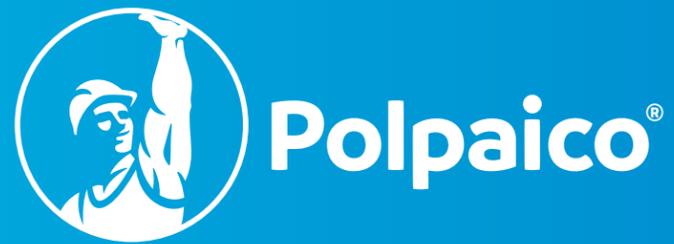
#### Sergio Müller

Alejandro López

Pablo Castro

Miguel González

María de los Ángeles Desantes



---

[www.polpaico.cl](http://www.polpaico.cl)

 600 620 6200

 PolpaicoChile

 @Polpaico.cl