

# Manual de Armaduras de Refuerzo para Hormigón

Fabricación - Instalación - Protección

Edición actualizada con Normas NCh204 Of.2020,  
NCh3334:2014, NCh211 Of.2012 y ACI 318 - 2008

Edición 2022

**AZA**  
Acero Sostenible®





# Manual de Armaduras de Refuerzo para Hormigón

Fabricación - Instalación - Protección

Edición actualizada con Normas NCh204 Of.2020,  
NCh3334:2014, NCh211 Of.2012 y ACI 318 - 2008

**AZA**  
Acero Sostenible®

Edición 2022



# Manual de Armaduras de Refuerzo para Hormigón

## Fabricación - Instalación - Protección

### Autor:

Carlos Rondon S.M.

### Actualización:

Jorge Manríquez P.

Luis González A.

No está permitida la reproducción total o parcial de este documento, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, fotocopia, registro u otros medios, sin la aprobación y por escrito de Aceros AZA S.A.

### Diseño y Producción Gráfica:

Casenave y Asociados

### Dirección de Arte:

Soledad Casenave

### Diseño Gráfico:

Ernesto Amaya

### Fotografía:

Archivo fotográfico Aceros AZA S.A.

### Impresión de la 1a y 2a Ediciones:

M y M Servicios Gráficos S.A.

Derechos Reservados (C) por Aceros AZA S.A.

La Unión 3070, Renca. Santiago de Chile.

Copyright (C) MMIV, por Aceros AZA S.A.

Inscripción en Propiedad Intelectual N° 104.913

1ª Edición: 2.000 ejemplares, julio de 2005

2ª Edición: 1.000 ejemplares, julio de 2008

3ª Edición actualización imagen corporativa, agosto de 2019

4ª Edición digital actualizada, julio de 2022

Impreso en Chile - Printed in Chile

Otros documentos técnicos de Aceros AZA S.A. disponibles para los usuarios interesados son:

- Manual de Cálculo de Hormigón Armado
- Manual de Diseño para Ángulos Estructurales L-AZA
- Manual Sistema de Refuerzo de Rocas con Pernos SAFEROCK®
- Catálogo Técnico de Barras y Perfiles Laminados
- Calibres para doblado de barras de refuerzo.

Para consultas sobre nuestros productos y servicios, visite nuestra página web: [www.aza.cl](http://www.aza.cl)



## El Autor

Carlos Rondon San Martín, nació en Santiago en 1944. Estudió Construcción Civil en la Universidad de Santiago de Chile, para egresar y desarrollar su carrera profesional en el área de estudios de empresas del sector construcción. Se inició trabajando en el Centro de Productividad de la Construcción (Chile) y posteriormente en Hackensack Lumber Construction (USA). Su paso en Armco Instapanel lo conectó con el mundo de la construcción en acero, que le abrió campo en otras empresas de ingeniería del sector. Más tarde, colaboró en el Instituto Chileno del Acero - ICHA como asesor.

Emprendió también la tarea como editor en varios documentos técnicos y apoyando a sus autores, todos encargos de Gerdau AZA, como el "Manual de Cálculo de Hormigón Armado", el "Manual Sistema de Refuerzo de Rocas con Pernos Saferock" y el "Manual de Diseño para Arquitectos del Sistema Constructivo Joistec", entre otros. En 1996 escribió el primer "Manual de Armaduras de Refuerzo para Hormigón", obra que recibió una excelente acogida en el mundo académico y profesional nacional, lo que valió la actualización sucesiva del documento. Esta tarea la había iniciado tiempo atrás, pero fue interrumpida definitivamente en 2021. Aceros AZA se complace en completar la actualización de la 4ª edición de este Manual, obra póstuma de Carlos Rondon.

## Presentación

Aceros AZA S.A., se complace en presentar a la comunidad de profesionales, docentes y estudiantes de los sectores de la ingeniería, arquitectura y la construcción civil, la cuarta edición actualizada de su Manual de Armaduras de Refuerzo para Hormigón, mediante el uso de barras de acero AZA.

Los temas desarrollados por el autor de este Manual y posteriormente actualizados con la incorporación de nuevos estándares, no pretenden establecer criterios originales, más bien su contenido está basado en los requisitos y exigencias establecidas en las normas oficiales chilenas vigentes, las que deben prevalecer siempre y bajo cualquier circunstancia, además de la recopilación, análisis y selección de información existente en publicaciones técnicas especializadas, tanto nacionales como extranjeras.

En consecuencia, el objetivo principal de este documento, que consta de seis capítulos y un anexo, solo propone y aspira ser una ayuda práctica, orientada a encontrar respuestas esenciales a las interrogantes relacionadas con materias que correspondan a esta actividad, temas que el lector podrá profundizar consultando la bibliografía y referencias que se incluyen al final de cada capítulo.

El primer Capítulo entrega, en tres secciones, información general que explica el proceso de fabricación, el control de calidad, la certificación y las características de las barras de refuerzo para hormigón AZA bajo las normas NCh204 Of.2020 y NCh3334:2014, más algunas recomendaciones para su transporte, descarga y almacenamiento.

En el segundo Capítulo se presenta un resumen de la función que cumple el acero de refuerzo como componente del hormigón armado, sugerencias para interpretar los planos de diseño y sus especificaciones, ilustraciones con formas típicas de barras dobladas y algunos ejemplos corrientes de armaduras.

El tercer Capítulo describe la calificación de la mano de obra, las funciones que deben cumplir los trabajadores de la especialidad y una guía general de previsión, higiene y seguridad laboral.

El cuarto y quinto Capítulo están destinados a plantear las normas, requisitos y recomendaciones para la fabricación de las armaduras, tanto para el método tradicional como para el método industrializado y recomendaciones, antecedentes técnicos y prácticos para el armado y su instalación, incorporando las indicaciones de la norma chilena NCh211 y el Código ACI 318 - 2008 vigente en el país.

Con el sexto Capítulo, orientado a la protección de las armaduras, se completa el texto central de este Manual, el que se inicia con una síntesis relativa a los mecanismos que producen el fenómeno de la corrosión de las barras, donde predominan, además, algunos aspectos de la durabilidad del hormigón y los recubrimientos mínimos recomendados como protección contra los agentes agresivos del medio ambiente y contra el fuego producto de un incendio.

Por último, en el cuerpo destinado al Anexo se incluye una serie de láminas con detalles constructivos para obras de hormigón armado y prácticas generales para la inspección de las armaduras.

Esperamos muy sinceramente, que esta edición en su nuevo formato, sea un aporte valioso y necesario para todas las personas vinculadas con la ejecución e inspección de esta actividad, y para los docentes y estudiantes que lo utilicen como texto guía o como un documento auxiliar de consulta.

Confiamos, además, en la favorable acogida que tendremos entre todos los profesionales de la ingeniería, arquitectura y la construcción civil, quienes en forma directa o indirecta, día a día, especifican o utilizan nuestros productos.

Desde ya, una vez más a todos ellos, un sincero reconocimiento por el respaldo y la confianza que han depositado en AZA, y el agradecimiento anticipado ante cualquier aporte, observación o comentario que nos hagan llegar, que sirva para enriquecer estas páginas en futuras ediciones.



Vista aérea Planta Colina Aceros AZA S.A.

## Indice

	Presentación	4
<b>Capítulo 1</b>	<b>INFORMACION GENERAL</b>	<b>13</b>
1.1	PROCESO DE FABRICACION Y CONTROL DE CALIDAD DEL ACERO DE REFUERZO PARA HORMIGON AZA	15
1.1.1	Proceso de Fabricación del Acero AZA	15
1.1.2	Colado del Acero	15
1.1.3	Laminación en Caliente de las Barras	16
1.1.4	Control de Calidad y Certificación	17
1.2	IDENTIFICACION, GRADOS DEL ACERO Y CARACTERISTICAS DE LAS BARRAS DE REFUERZO PARA HORMIGON AZA	19
1.2.1	Identificación y Rotulado	19
1.2.2	Grados del Acero	20
1.2.3	Relaciones Tensión-Deformación	21
1.2.4	Soldabilidad de las Barras de Refuerzo para Hormigón AZA	23
1.2.5	Características Geométricas y de Entrega de las Barras de Refuerzo para Hormigón AZA y Sold-AZA®	24
1.2.6	Certificado de Calidad	26
1.2.7	Declaración Ambiental de los Productos (DAP)	27
1.3	TRANSPORTE, RECEPCION, DESCARGA Y ALMACENAMIENTO	28
1.3.1	Transporte	28
1.3.2	Recepción	28
1.3.3	Descarga	28
1.3.4	Almacenamiento	31
1.4	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS CAPITULO 1	32
<b>Capítulo 2</b>	<b>FUNCION DEL ACERO DE REFUERZO. INTERPRETACION DE LOS PLANOS DE DISEÑO</b>	<b>33</b>
2.1	FUNCION DEL ACERO DE REFUERZO PARA HORMIGON	35
2.1.1	Introducción	35
2.1.2	Definiciones	35
2.2	DESCRIPCION E INTERPRETACION DE LOS PLANOS Y ESPECIFICACIONES	41
2.2.1	Generalidades	41
2.2.2	Planos de Conjunto	41

2.2.3	Planos de Detalle	44
2.2.4	Planos de Estructuras	45
2.2.5	Cubicación de las Armaduras	47
2.2.6	Pérdidas Materiales por Cortes	50
2.2.7	Cuantías Estimadas de Acero	53
2.2.8	Estructuración en Hormigón Armado	54
2.3	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS CAPITULO 2	55
<b>Capítulo 3</b>	<b>CALIFICACION DE LA MANO DE OBRA, PREVENCION, HIGIENE Y SEGURIDAD LABORAL</b>	<b>57</b>
3.1	CALIFICACION DE LA MANO DE OBRA	59
3.1.1	Jefe de Obra	59
3.1.2	Capataz de Enfierradores	60
3.1.3	Maestro de Primera Enfierrador	62
3.1.4	Maestro de Segunda Enfierrador	62
3.1.5	Ayudante Enfierrador	63
3.2	GUIA GENERAL DE PREVENCION, HIGIENE Y SEGURIDAD	65
3.2.1	Riesgos y Prevenciones	65
3.2.2	Obligaciones	65
3.2.3	Recomendaciones	67
3.2.4	Prohibiciones	67
3.2.5	Manejo de Cargas con Grúas	69
3.3	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS CAPITULO 3	70
<b>Capítulo 4</b>	<b>FABRICACION DE LAS ARMADURAS</b>	<b>71</b>
4.1	INTRODUCCION	73
4.2	EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MAQUINARIAS	74
4.3	PREPARACION	75
4.4	CORTE DE BARRAS	76
4.5	TOLERANCIAS DE CORTE	77
4.6	DOBLADO DE BARRAS	78
4.6.1	Introducción	78
4.6.2	Ganchos Normales (o estándar)	79
4.6.3	Diámetros Mínimos de Doblado	80
4.7	MEDIDAS MINIMAS PARA BARRAS CON GANCHOS	81

4.7.1	Barras con Ganchos Normales (estándar)	81
4.7.2	Estribos Normales y Ganchos de Amarra	82
4.7.3	Ganchos Sísmicos	83
4.8	TOLERANCIAS DE FABRICACION	84
4.9	RENDIMIENTOS PARA LA FABRICACION DE ARMADURAS	90
4.9.1	Mano de Obra Método Tradicional	90
4.9.2	Método Industrializado de Corte y Doblado (C&D)	91
4.9.3	Ejemplos de Rendimientos Fabricación de Armaduras	92
4.9.3.1	Forma de Entrega y Proporción de los Diámetros del Acero	93
4.9.3.2	Resumen de los Rendimientos para la Fabricación	93
4.9.4	Conclusiones y Comparación de los Métodos de Fabricación	94
4.10	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS CAPITULO 4	96
<b>Capítulo 5</b>	<b>ARMADO E INSTALACION DE LAS ARMADURAS</b>	<b>97</b>
5.1	GENERALIDADES	99
5.2	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	100
5.3	LONGITUD DE DESARROLLO	101
5.3.1	Introducción	101
5.3.2	Desarrollo para Barras Rectas en Tracción	101
5.3.3	Desarrollo para Ganchos Estándar en Tracción	106
5.3.4	Desarrollo para Barras Rectas en Compresión	110
5.3.5	Desarrollo de la Armadura de Flexión	113
5.3.6	Desarrollo de la Armadura para Momento Positivo	115
5.3.7	Desarrollo de la Armadura para Momento Negativo	116
5.3.8	Desarrollo de la Armadura del Alma	117
5.4	BARRAS DOBLADAS POR CAMBIO DE SECCION DE COLUMNAS	119
5.5	ARMADURA TRANSVERSAL PARA ELEMENTOS EN COMPRESION	120
5.5.1	Zunchos	120
5.5.2	Estribos	121
5.6	ARMADURA TRANSVERSAL PARA ELEMENTOS A FLEXION	123
5.7	EMPALME DE LAS BARRAS	123
5.7.1	Empalme por Traslape de Barras en Tracción	126
5.7.2	Empalme por Traslape de Barras en Compresión	131
5.8	AMARRAS PARA LAS ARMADURAS	132
5.8.1	Amarras con Alambre	132

5.8.2	Amarras Prefabricadas	133
5.8.3	Cantidad de Amarras	133
5.9	CONEXIONES MECANICAS	135
5.10	ESPACIAMIENTO MINIMO ENTRE BARRAS	137
5.11	SEPARADORES Y SOPORTES	138
5.12	RENDIMIENTOS DE MANO DE OBRA PARA EL ARMADO E INSTALACION	141
5.13	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS CAPITULO 5	143
<b>Capítulo 6</b>	<b>PROTECCION DE LAS ARMADURAS</b>	<b>145</b>
6.1	INTRODUCCION	147
6.2	CORROSION DE LAS BARRAS DE REFUERZO	150
6.2.1	Introducción	150
6.2.2	Definiciones Básicas	150
6.2.3	Limpieza Superficial del Acero	153
6.2.4	Medición de la Corrosión	157
6.2.5	Medición Cuantitativa de la Corrosión	160
6.2.5.1	Velocidades de Corrosión Medidas en Terreno	162
6.2.5.2	Relación entre la Intensidad y el Potencial	166
6.2.5.3	Pérdida de Sección de las Barras	166
6.2.5.4	Velocidades de Corrosión en Ausencia de Medidas en Terreno	168
6.2.5.5	Tasa de Oxidación	169
6.2.6	Medición Cualitativa de la Corrosión	175
6.3	AGENTES AGRESIVOS	177
6.3.1	Exposición a Congelación y a Deshielo	177
6.3.2	Exposición a Sulfatos	178
6.3.3	Carbonatación del Hormigón	184
6.3.3.1	Profundidad de Carbonatación	185
6.3.4	Exposición a Iones Cloruro	189
6.3.4.1	Velocidad de penetración de los Cloruros	191
6.4	REQUISITOS BASICOS DE DURABILIDAD PARA EL HORMIGON ARMADO	194
6.4.1	Consideraciones Generales	194
6.4.2	Período de Iniciación	194
6.4.2.1	Difusión	194
6.4.2.2	Absorción	195
6.4.2.3	Permeabilidad	195

6.4.3	Período de Propagación, Vida Útil y Residual	195	
6.4.4	Durabilidad del Hormigón y el Agua	199	
6.5	RECUBRIMIENTOS DE LAS ARMADURAS	204	
6.5.1	Recubrimientos de Hormigón	204	
6.5.2	Armaduras Galvanizadas	208	
6.5.2.1	Generalidades	208	
6.5.2.2	Reacciones Químicas	209	
6.5.2.3	Adherencia de las Barras Galvanizadas	212	
6.6	PROTECCION CONTRA EL FUEGO	213	
6.6.1	Introducción	213	
6.6.2	Metodologías de Diseño Clásicas	216	
6.6.3	Carga Térmica y Flujo de Calor	219	
6.6.4	Norma SFPE-04	219	
6.6.5	Propiedades del Hormigón Armado a Temperaturas Elevadas	222	
6.6.5.1	Capacidad de Resistencia o Soporte	223	
6.6.5.2	Aislamiento Térmico y Recubrimiento	229	
6.7	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	236	
<b>Anexos</b>	A.1	INSPECCION Y EVALUACION DE LAS ARMADURAS	239
	A.1.1	Introducción	239
	A.1.2	Defectos o Fallas y Práctica General	239
	A.1.3	Juntas de Hormigonado	241
	A.1.4	Procedimientos de Evaluación para la Inspección	243
	A.1.4.1	Introducción	243
	A.1.4.2	Método Simplificado	244
	A.1.4.3	Método Detallado	259
	A.2	DETALLES CONSTRUCTIVOS EN OBRAS DE HORMIGON ARMADO	261
	A.3	SINTESIS DE LAS EXIGENCIAS Y PROHIBICIONES MAS IMPORTANTES	270
	A.4	GLOSARIO DE CONCEPTOS RELATIVOS A LA CORROSION	278
	A.5	CONVERSION DE UNIDADES	279
	A.6	PROPIEDADES GEOMETRICAS DE SECCIONES	282
	A.6.1	Nomenclatura Empleada	282
	A.6.2	Superficies	283
	A.6.3	Cuerpos	285
	A.6.4	Fórmulas Trigonométricas	288

### Sistemas Certificados de Gestión de Calidad, de Seguridad y Salud en el Trabajo, de Medio Ambiente y de Energía

Certificación ISO 14001 : 2015

Sistema de Gestión Ambiental

Certificación ISO 50001 : 2018

Sistema de Gestión de Energía

Certificación ISO 45001 : 2018

Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo

Certificación ISO 9001 : 2015

Sistema de Gestión de Calidad





## Capítulo 1

# Información General

- 1.1 Proceso de Fabricación y Control de Calidad del Acero de Refuerzo para Hormigón AZA
- 1.2 Identificación, Grados del Acero y Características de las barras de Refuerzo para Hormigón AZA
- 1.3 Transporte, Recepción, Descarga y Almacenamiento
- 1.4 Bibliografía y Referencias



## 1.1 PROCESO DE FABRICACION Y CONTROL DE CALIDAD DEL ACERO DE REFUERZO PARA HORMIGON AZA

### 1.1.1 Proceso de Fabricación del Acero AZA

En AZA, en su planta ubicada en Colina, el proceso de fabricación del acero se inicia con la selección, procesamiento y corte de trozos de acero en desuso, la chatarra, que es la materia prima básica. Otros elementos que también son empleados en la fabricación, son las ferroaleaciones, oxígeno, cal y fundentes, entre otros.

En primer lugar, la materia prima se carga en cestas, en proporciones adecuadas para satisfacer las especificaciones del proceso de fabricación del acero, las que son trasladadas a la Acería para alimentar el horno de arco eléctrico. Toda la carga es fundida en el horno de 60 toneladas de capacidad, mediante la aplicación de un arco eléctrico que desarrolla una potencia de 65.000 kVA.

Una vez terminado el proceso de fusión, en donde toda la carga pasa del estado sólido al estado líquido, momento en el cual alcanza una temperatura de alrededor de 1.630 °C, el acero es trasladado a un Horno de Cuchara, donde se realizará la etapa de afino y se procederá a tomar muestras de acero para realizar el análisis de espectrometría, con el propósito de conocer su composición química. Durante toda la etapa de fusión, se inyectan al horno importantes cantidades de oxígeno para extraer y remover las impurezas y cumplir así con los estándares de calidad preestablecidos.

Luego de conocido el informe sobre la composición química, se realizan las correcciones necesarias mediante el proceso de afino, lo que permite obtener la composición y purezas deseadas. De esta forma, los diferentes grados del acero AZA se obtienen, de un cuidadoso control de la composición y mediante la adición de ferroaleaciones, como el ferromanganeso y ferrosilicio, aprovechando la mayor

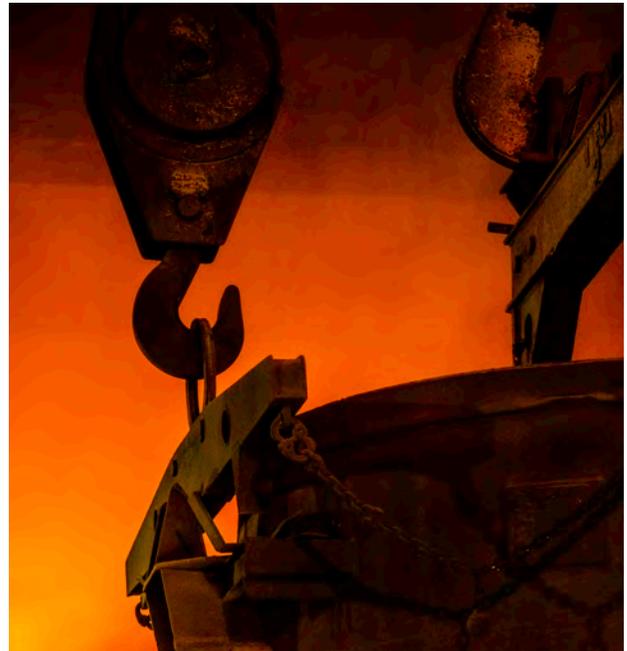


Figura 1.1.1.1: Operación de Carga de Horno Eléctrico, Planta Colina, AZA.

afinidad química de estos elementos, para formar entre otros, óxidos y sulfuros que pasan en mayor cantidad a la escoria.

Cuando el acero líquido cumple con las especificaciones requeridas, tanto de composición química como de temperatura, éste es trasladado en la cuchara hasta el proceso de colada continua, donde se realizará el colado del acero.

### 1.1.2 Colado del Acero

Obtenido el acero en su estado líquido, éste debe solidificarse en la forma conveniente para la utilización posterior en los trenes de laminación, lo cual se hace mediante un equipo de colada continua, en el que se aplica un proceso distinto del convencional, para transformar el acero líquido en un producto semiterminado, llamado palanquilla, que son barras macizas de 130 x 130 mm<sup>2</sup> de sección.

El acero líquido que se encuentra en la cuchara de colada,



Figura 1.1.2.1: Líneas de colada continua de acería, Planta Colina, AZA.

es transferido a una artesa o distribuidor, desde donde pasa a las vías de colada.

Desde el distribuidor, el acero cae dentro de tres lingoteras de cobre sin fondo, de doble pared y refrigeradas por agua, donde se inicia la solidificación del acero, con la formación de una delgada cáscara superficial endurecida, que contiene aún su núcleo de metal en estado líquido.

Para ayudar a acelerar la solidificación y engrosamiento de dicha cáscara, las lingoteras tienen un movimiento de oscilación vertical que, además, impide su adherencia a las paredes del molde y permite su transporte hacia el mecanismo extractor.

Después de dejar las lingoteras, tres metros debajo de éstas, el acero superficialmente sólido, es tomado por juegos de rodillos refrigerados con chorros de agua a alta presión, solidificándose completamente, y ya convertido en palanquilla, cortado automáticamente mediante cizallas, a la longitud deseada.

Posterior a esta operación, las palanquillas son inspeccionadas

visualmente para detectar eventuales defectos superficiales o de forma. Después de aprobadas, las palanquillas son separadas por coladas, identificadas y almacenadas para la operación siguiente: la laminación en caliente.

### 1.1.3 Laminación en Caliente de las Barras

La laminación en caliente es un proceso de transformación termomecánico, en donde se da la forma final a los productos siderúrgicos. En el caso de las barras de refuerzo para hormigón AZA, el proceso es el siguiente: en la planta de laminación, las palanquillas son seleccionadas según la calidad del acero del producto final y son cargadas a un horno de recalentamiento horizontal, donde alcanzan una temperatura uniforme de 1.200 °C, lo que permitirá su deformación plástica durante el proceso de laminación en caliente.

En este proceso, la palanquilla es tratada mecánicamente, haciéndola pasar sucesivamente por los rodillos de los trenes de laminación, las cuales van reduciendo su sección original y consecuentemente, aumentando la longitud inicial.

De esta forma, se lleva la sección transversal de la palanquilla cada vez más próxima a la forma y diámetro final de la barra redonda, con sus resaltes característicos y las marcas que identifican el origen o fabricante, el grado del acero y el diámetro nominal del producto.

En su planta ubicada en la comuna de Colina, AZA posee un laminador continuo de última generación de 360.000 toneladas anuales de capacidad, que permite controlar el enfriamiento de las barras y rollos, con lo cual las propiedades mecánicas finales de las barras de refuerzo para hormigón AZA son determinadas con gran precisión, dado que son conducidas hasta el final del tren de laminación, a una parrilla o lecho de enfriamiento donde terminan de enfriarse, para luego proceder al corte a la medida deseada y posteriormente ser empaquetadas y almacenadas. Es aquí donde se extraen las muestras para su aprobación y certificación de acuerdo con las normas de productos vigentes.

#### 1.1.4 Control de Calidad y Certificación

Todo el proceso de fabricación de las barras de refuerzo para hormigón AZA, está certificado bajo las normas ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001 e ISO 50001; de esta forma, a lo largo de todas las etapas de fabricación del producto existen monitoreos, mediciones en los procesos y ensayos de los productos, cuidando los aspectos en las gestiones ambientales y de la salud y seguridad en el trabajo.

Desde la selección de la chatarra y otros insumos, pasando por la fabricación del acero líquido, su composición química, hasta el control de las dimensiones finales obtenidas en la laminación en caliente, conforman un complejo sistema que permite asegurar la obtención de productos de calidad, de acuerdo con los actuales estándares.

La certificación de calidad de todas las partidas en AZA, da cumplimiento a la normativa legal vigente en Chile,

que establece los procedimientos para certificar las barras de refuerzo para hormigón por una tercera parte independiente.

Esta exigencia establece la extracción, identificación y retiro de muestras por inspectores acreditados, normalmente de algún organismo de ensaye de materiales autorizado por el Estado. En el caso de AZA, el certificado es entregado por el Instituto de Investigaciones y Ensaye de Materiales de la Universidad de Chile, IDIEM.

Las muestras son preparadas para ser sometidas a ensaye normalizados de tracción, midiéndose las propiedades mecánicas más relevantes, como la tensión de fluencia, la carga máxima y el alargamiento de rotura. Otro importante ensaye a que son sometidas las barras de refuerzo AZA para hormigón, es el de doblado; en este caso, una probeta debe resistir el doblado sin que a simple vista se observen grietas o fisuras en la zona sometida a esfuerzos de tracción.

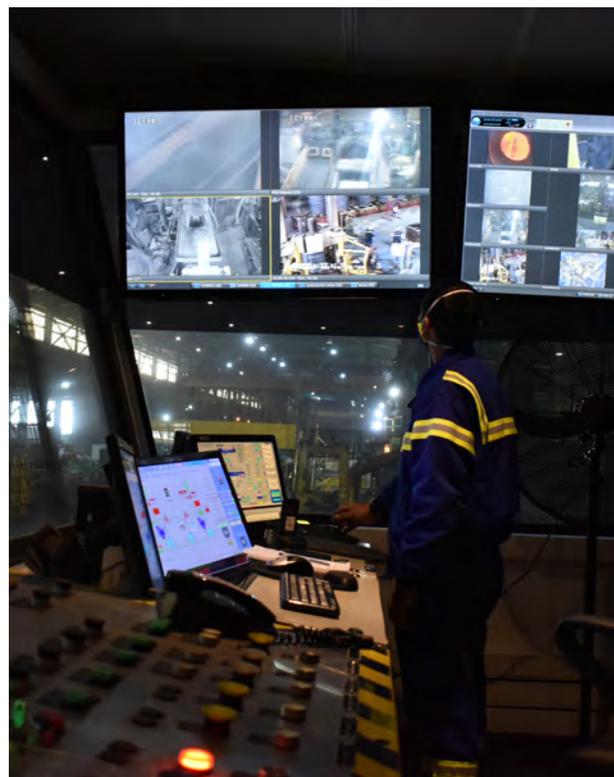


Figura 1.1.4.1: Sala de Control de Laminación, Planta Colina, AZA.

Como medidas adicionales de control, AZA efectúa análisis estadísticos de las propiedades mecánicas sobre toda la producción y a cada una de las coladas de barras producidas.

Los resultados de los ensayos, se presentan en los informes de laboratorio que se adjuntan a los certificados de calidad, en los que se identifica el material ensayado y se entrega el veredicto de cumplimiento con la norma, constituyéndose en una garantía del producto para el usuario.



Figura 1.1.4.2: Laboratorio de Ensayos Mecánicos de IDIEM, en AZA.

## 1.2 IDENTIFICACION, GRADOS DEL ACERO Y CARACTERISTICAS DE LAS BARRAS DE REFUERZO PARA HORMIGON AZA

### 1.2.1 Identificación y Rotulado

AZA, en sus instalaciones produce y comercializa dos categorías de barras de acero de refuerzo para hormigón, que cumplen ya sea las normas técnicas NCh204 o NCh3334. La norma NCh204 es una norma oficial de uso obligatorio en la construcción desde marzo de 2022 en todo el territorio nacional, que considera barras sin soldabilidad garantizada; la norma NCh3334, que data de 2014, es de uso voluntario y contempla barras de refuerzo con soldabilidad mejorada, tanto para elementos de refuerzo de hormigón electrosoldados o soldados con aporte de material.

Las barras de refuerzo AZA se suministran en formato de

barras rectas y con resaltes, en largos normales de 6 a 12 m y como rollos, de 1.500 kilogramos de peso aproximadamente.

Las **Barras con resaltes** poseen nervios longitudinales (a lo largo) y resaltes perpendiculares o inclinados con respecto a su eje, los cuales tienen como propósito aumentar la adherencia del acero con el hormigón, debido a la mayor superficie de contacto desarrollada. Según sean las exigencias del proyecto estructural, las barras con resaltes AZA puede suministrarlas bajo las normas NCh204 o la NCh3334.

La identificación exclusiva que utiliza nuestra empresa en el acero de refuerzo para hormigón, consiste en caracteres sobre relieve, los cuales incluyen la marca de origen AZA, el grado del acero y el diámetro correspondiente.

AZA suministra el acero de refuerzo para hormigón en la forma de barras rectas y en rollos, tal como se indica en la Tabla 1.2.1.

Tabla 1.2.1 Identificación del Acero de las Barras de Refuerzo para Hormigón AZA y Sold-AZA®					
Norma (año)	Grado del Acero	Diámetro Nominal $d_n$ mm	Formas de entrega	Identificación sobre relieve	
				Marca de Origen y Grado del Acero	Diámetro Nominal
NCh204 (2020)	A440-280H	8, 10 y 12 8 a 16	Rollo Recta		
	A630-420H	8, 10, 12 y 16 8 a 40	Rollo Recta		
NCh3334 (2014)	Sold-AZA® A630-420HS	8, 10, 12 y 16 8 a 40	Rollo Recta		

(1) Las barras de soldabilidad garantizadas de la norma NCh3334, llevan la letra "S" sobre relieve para distinguirlas de las barras de la norma NCh204.

Además de lo anterior, AZA identifica el contenido de todos los atados o paquetes de barras rectas y rollos, según los requisitos de las normas respectivas mediante una etiqueta plástica, con todos los datos concernientes a la fabricación de las partidas del producto, hasta que sea almacenado en las dependencias del comprador.

Nuestras etiquetas contienen no sólo las informaciones que cumplen con las disposiciones legales vigentes, sino que también permiten al usuario acceder mediante el código QR impreso en su parte frontal, a detalles e informaciones del producto.



Código QR para fácil acceso a información del producto.

Figura 1.2.1.1: Etiqueta de identificación de las barras de refuerzo AZA.

Se recomienda mantener la trazabilidad asociada al despacho y recepción de las barras. En este caso, es importante que quien recibe un lote o una fracción de éste, revise y verifique la consistencia técnica de los campos

señalados en las etiquetas, con los certificados de conformidad, las marcas sobre relieve en las barras, la documentación administrativa (guías de despacho y facturas) y las declaraciones que AZA pueda entregar al cliente o usuario.

## 1.2.2 Grados del Acero

Además de la calidad que pueda tener el hormigón, es también importante el grado del acero de refuerzo con respecto a las propiedades finales de los hormigones armados; por lo tanto, debe emplearse el acero adecuado, según lo indiquen los planos respectivos.

AZA fabrica en Chile, fundamentalmente, tres grados de acero de refuerzo para hormigón: A440-280H y A630-420H, según la norma NCh204 y las barras soldables Sold-AZA® en el grado A630-420HS según la norma NCh3334. La Tabla 1.2.2 muestra las propiedades mecánicas mínimas de dichos productos.

Conforme a las denominaciones adoptadas por el Instituto Nacional de Normalización, la letra A significan "acero al carbono o acero microaleado" en la norma NCh204 y "acero al carbono" en la norma NCh3334. Las letras H y S indican respectivamente, que "su uso es para hormigón" y "con características de soldabilidad". Los números se refieren, respectivamente, a la resistencia de rotura a la tracción y al límite de fluencia mínimo por tracción del acero.

Sin embargo, la norma NCh204 Of.2020, también permite el uso de los términos A440 para designar el acero A440-280H y A630 para el acero A630-420H. Por otra parte, la norma NCh3334 permite designar en forma abreviada el acero Sold-AZA® A630 S para el grado soldable A630-420HS, como se muestra en la Tabla 1.2.1.

**Tabla 1.2.2**

**Propiedades Mecánicas Mínimas de las Barras de Refuerzo para Hormigón AZA y Sold-AZA®**

	Grado del Acero	Resistencia a la Tracción (F <sub>U</sub> )		Tensión de Fluencia (F <sub>y</sub> )		Alargamiento Mínimo %
		MPa	kgf/mm <sup>2</sup>	MPa	kgf/mm <sup>2</sup>	
NCh204 (2020)	A440-280H Mínimo	440	44,9	280	28,6	16
	A630-420H Mínimo Máximo	630	64,2	420 545	42,8 55,6	$\frac{7000}{F_u} - K \geq 8\%$
NCh3334 (2014)	Sold-AZA® A630-420HS Mínimo Máximo	630	64,2	420 580	42,8 59,1	$\frac{7000}{F_u} - K \geq 8\%$

En las normas NCh204.Of2020 y NCh3334:2014 se establece que:

- a) Son requisitos en estas normas, el cumplimiento de un ensaye de doblado efectuado sobre una probeta, además de cumplir los requisitos de la forma y dimensiones de los resaltes y de masa (kg/m) de las barras.
- b) K es un coeficiente que depende del diámetro nominal de la barra (d<sub>n</sub>), cuyo valor se indica a continuación:  
 d<sub>n</sub> (mm) : 8 10 12 16 18 22 25 28 32 36 40  
 K: 2 1 0 0 0 1 2 3 4 5 6
- c) En la norma NCh204 Of.2020 se admite hasta un máximo de tensión de fluencia de 125 MPa sobre la nominal. En la NCh3334:2014, la sobre resistencia en la tensión de fluencia es de 160 MPa.

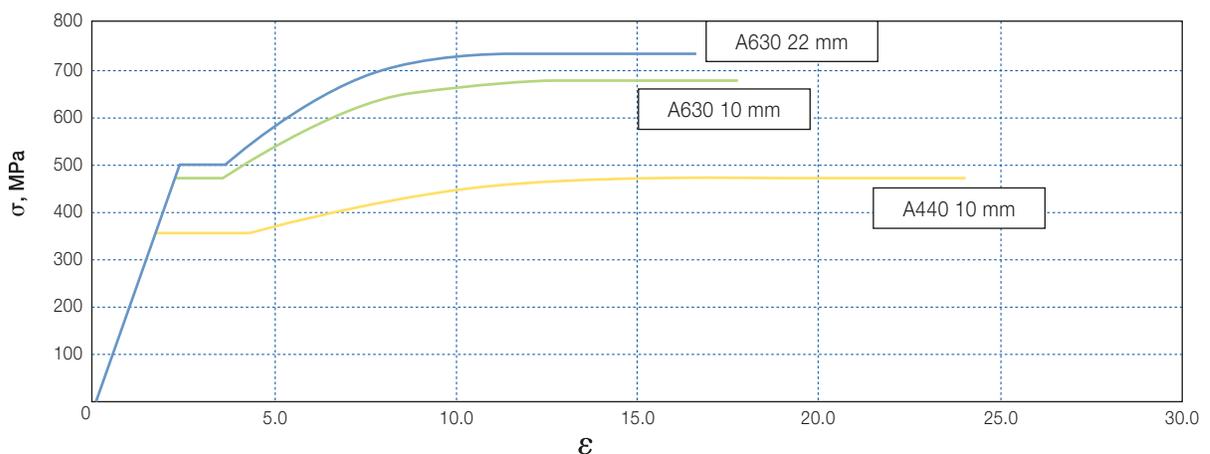
**1.2.3 Relaciones Tensión-Deformación**

El ensaye de tracción se realiza sobre muestras de barras de refuerzo en su sección completa, de la forma como salen de la laminación, dando así cumplimiento a la norma oficial chilena NCh200.

En el Gráfico 1.2.3.1 se muestran ejemplos de los resultados de ensayos de tracción, en barras de refuerzo para hormigón AZA, para los grados A440 y A630, con curvas comparativas a modo de referencia, en barras de 10 y 22 mm de diámetro.

**Gráfico 1.2.3.1**

**Curvas Tensión-Deformación Barras de Refuerzo para Hormigón AZA**



Fuente: Laboratorio de Ensayos IDIEM

En el caso de las barras de acero A440, éstas presentan claramente una zona de fluencia, en donde una vez alcanzado el límite elástico o tensión de fluencia, la probeta empieza a deformarse plásticamente bajo tensión constante. En el caso de todos los aceros de alta resistencia, como es el de grado A630, es normal que el fenómeno de fluencia a tensión constante se observe menos marcado que en los aceros de menor resistencia.

Cumpliendo con los requisitos de la norma NCh204 Of.2020, la tensión de fluencia se ha acotado en no superar los 125 MPa del valor mínimo. Esta condición permite no introducir la sobre resistencia en el diseño estructural y evitar fallas indeseadas en la estructura frente a sismos. En el Gráfico

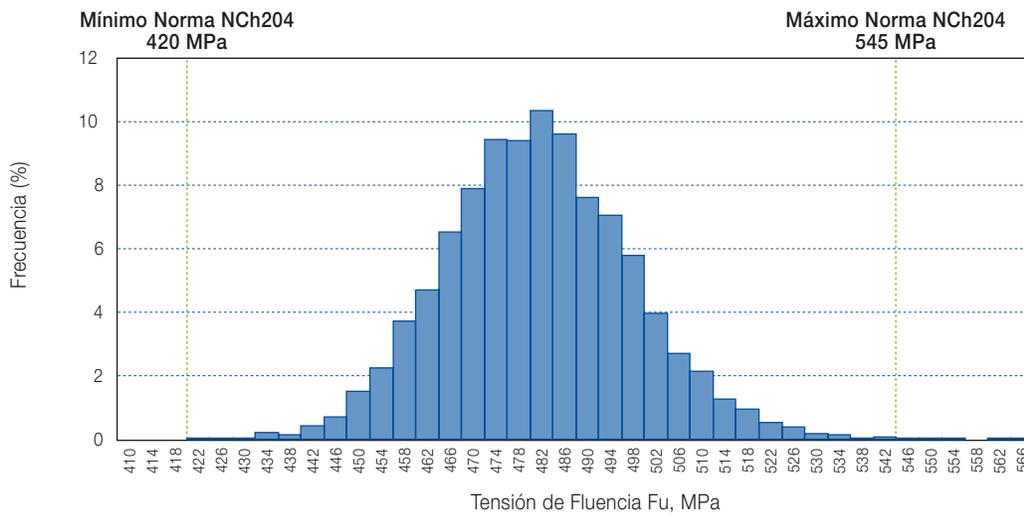
1.2.3.2 se muestra la distribución de la tensión de fluencia que presentan las barras de refuerzo para hormigón AZA en el grado A630.

Otra importante característica, en especial en el comportamiento sísmico del hormigón armado en la flexión, es que la norma oficial chilena NCh204.Of2020 y la NCh3334, establecen que en todos los grados de aceros, debe cumplirse además, una relación  $F_u/F_y \geq 1,25$ .

Al respecto, en el Gráfico 1.2.3.3 se muestra la distribución de esta relación, que exhiben todas las barras de refuerzo para hormigón AZA de grado A630, donde se observa que la media supera en un 10% el valor mínimo de la norma.

**Gráfico 1.2.3.2**

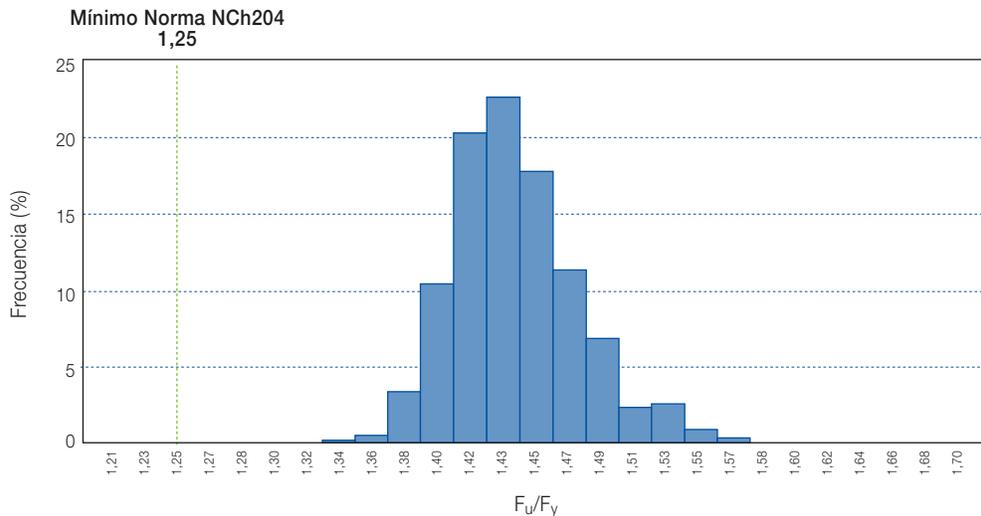
**Curva de Distribución de la tensión de fluencia  $F_y$  de las Barras de Refuerzo para Hormigón AZA, grado A630**



Fuente: Elaborado con información entregada por IDIEM.

**Gráfico 1.2.3.3**

**Curva de Distribución Relación  $F_u/F_y$  Barras de Refuerzo para Hormigón AZA, grado A630**



Fuente: Elaborado con información entregada por IDIEM.

### 1.2.4 Soldabilidad de las barras de Refuerzo para Hormigón AZA

Las barras de refuerzo bajo la norma NCh204 Of.2020 *no son de soldabilidad garantizada*, debido a que no se han incluido disposiciones específicas para posibilitar su soldabilidad.

Las barras de refuerzo Sold-AZA® regidas por las disposiciones de la norma NCh3334:2014, *sí poseen la*

*condición de soldabilidad*, lo que permite obtener elementos de refuerzo para hormigón armado, electrosoldados o soldados con aporte de material.

De acuerdo con la norma NCh3334:2014, el requisito de soldabilidad considera cumplir con valores máximos en la composición química del acero, además del criterio del Carbono Equivalente (CE) que no sea superior a 0,55%. La Tabla 1.2.4.1 muestra estos límites máximos permitidos para las barras Sold-AZA® grado A630 S.

**Tabla 1.2.4.1**

**Límites máximos de contenido de elementos químicos y Carbono Equivalente (CE) en las Barras de Refuerzo para Hormigón Sold-AZA®, grado A630 S**

% Carbono (C)	% Manganeso (Mn)	% Fósforo (P)	% Azufre (S)	% Silicio (Si)
0,30	1,50	0,035	0,045	0,50

$$C.E. = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cu}{40} + \frac{\%Ni}{20} + \frac{\%Cr}{10} - \frac{\%Mo}{50} - \frac{\%V}{10} \leq 0,55\%$$

Norma NCh3334:2014

El análisis químico se debe realizar en cada colada. Este análisis y el valor del CE es informado en el Certificado emitido por el Organismo de Certificación.

### 1.2.5 Características Geométricas y de Entrega de las Barras de Refuerzo para Hormigón AZA y Sold-AZA®

NCh3334:2014, en la Tabla 1.2.5.1 se incluyen los diámetros normales nominales y pesos nominales de las barras de acero de refuerzo para hormigón AZA y Sold-AZA®, usados corrientemente en la construcción.

De acuerdo con la norma chilena NCh204 Of.2020 y la

**Tabla 1.2.5.1**

**Características geométricas y masa por unidad de longitud de las Barras de Refuerzo para Hormigón AZA y Sold-AZA® (1)**

Características Nominales				Dimensiones de los resaltes		
Diámetro <sup>(2)</sup> $d_n$	Sección <sup>(3)</sup> $S_n$	Perímetro <sup>(4)</sup> $P_n$	Masa <sup>(5)</sup> $m_n$	Espaciamiento medio máximo $C_s$	Altura media mínima $h_{media}$	Ancho de la base máxima $A$
mm	mm <sup>2</sup>	mm	kg/m	mm	mm	mm
8	50,3	25,1	0,395	5,6	0,32	2,0
10	78,5	31,4	0,617	7,0	0,40	2,5
12	113	37,7	0,888	8,4	0,48	3,0
16	201	50,3	1,58	11,2	0,64	4,0
18	254	56,5	2,00	12,6	0,72	4,5
22	380	69,1	2,98	15,4	1,10	5,5
25	491	78,5	3,85	17,5	1,25	6,3
28	615	88,0	4,83	19,6	1,40	7,0
32	804	101	6,31	22,4	1,60	8,0
36	1017	113	7,99	25,2	1,80	9,0
40	1256	126	9,87	28,0	2,00	10,0

De acuerdo con la norma Oficial Chilena NCh204.Of2020 y NCh3334:2014:

- 1) Valores aproximados.
- 2) El diámetro nominal se determina a través de la masa lineal de las barras, de acuerdo con la expresión  $d_n = 12,73 \sqrt{m_n}$   
Donde  $d_n$ =diámetro de la barra (mm) y  $m_n$ = masa lineal (kg/m), la cual acepta una tolerancia de  $\pm 3,5\%$  para una barra con resaltes individual.
- 3) Sección nominal  $S_n$  (mm<sup>2</sup>) =  $0,785 d_n^2$  ( $d_n$  en mm).
- 4) Perímetro nominal  $P_n$  (mm<sup>2</sup>) =  $3,1416 d_n$  ( $d_n$  en mm).
- 5) Masa nominal  $m_n$  (kg/m) =  $0,00785 S_n$  ( $S_n$  en mm<sup>2</sup>).



Figura 1.2.5.1: Barra de Refuerzo para Hormigón AZA y Sold-AZA®.

En la Tabla 1.2.5.2, se describe en forma detallada la especificación normal para la entrega. No obstante lo anterior, AZA puede suministrar otros largos de barras, incluso mayores a 12 m, los cuales estarán sujetos a consulta previa.

Las tolerancias de entrega de las barras de refuerzo rectas, es de - 0 a + 50 mm, pudiéndose acordar otras tolerancias por convenio previo entre las partes.

**Tabla 1.2.5.2**

**Especificación de la Entrega del Acero de Refuerzo para Hormigón AZA y Sold-AZA®**

Diámetro de la barra mm	Rollos				Barras rectas
	Diámetro interior <sup>(1)</sup> cm	Diámetro exterior <sup>(2)</sup> cm	Peso aproximado kg	Largo aproximado m	Largos fijos <sup>(3)</sup> m
8	80	125	1.500	3.797	6-7*-8*-9*-10*-11* y 12
10	80	125	1.500	2.431	6-7*-8*-9*-10*-11* y 12
12	80	125	1.500	1.689	6-7*-8*-9*-10*-11* y 12
16**	80	125	1.500	949	6-7*-8*-9*-10*-11* y 12
18					6-7*-8*-9*-10*-11* y 12
22					6-7*-8*-9*-10*-11* y 12
25					6-7*-8*-9*-10*-11* y 12
28					6-7*-8*-9*-10*-11* y 12
32					6-7*-8*-9*-10*-11* y 12
36					6-7*-8*-9*-10*-11* y 12
40***					12

- (1) Diámetro mínimo del rollo
- (2) Diámetro máximo del rollo
- (3) Otros largos especiales estarán sujetos a previa consulta a AZA
- (\*) Las barras de 7 a 11 m de largo, serán a pedido
- (\*\*) La barra de 16 mm en rollos y en el grado A440-280H, es a pedido.
- (\*\*\*) La barra de 40 mm, en cualquier grado de acero, es a pedido



Figura 1.2.5.2: Paquetes de Barras rectas (izquierda) y en formato de rollos (derecha).

### 1.2.6 Certificado de Calidad

A requerimiento del ingeniero estructural responsable del proyecto, arquitecto, la empresa constructora o del inspector técnico, AZA está en condiciones y dispuesta a entregar, sin costo adicional, un Certificado de Calidad del Acero de Refuerzo para Hormigón, emitido por algún organismo de ensaye de materiales autorizado por el Estado, que permite certificar y autorizar el uso de las partidas de acero de refuerzo en obras de hormigón armado.

Se recomienda a quién recibe las barras en la obra, que exija a sus proveedores las partidas identificadas de acero con sus respectivas etiquetas. De esta forma, ante cualquier

duda posterior, se facilitará chequear la certificación entregada, con el material respectivo.

Importante: En el caso de barras de origen o procedencia desconocida, se deberá tomar la precaución de verificar que la información del certificado de calidad sea coincidente con los datos contenidos en las etiquetas de los atados o paquetes de barras recibidos.

En la Figura 1.2.6.1, se presenta un facsímil de certificado de calidad, emitido por el IDIEM, el que describe los controles necesarios a que son sometidas las barras de acero de refuerzo para hormigón, y los resultados obtenidos en los ensayos.

 Investigación, desarrollo e innovación de Estructuras y Materiales		 INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN Y REGULACIÓN TÉCNICA ANOTACIÓN CP 004	
<b>CERTIFICADO DE CONFORMIDAD N° 1788379A</b>			
<b>ORGANISMO CERTIFICACIÓN</b>	: IDIEM - Unidad de Certificación de Productos		
<b>DIRECCIÓN</b>	: Plaza Ercilla N° 883, Santiago		
<b>NOMBRE DEL SOLICITANTE</b>	: Jefe de Unidad Laminación "Planta Colina"		
<b>DIRECCIÓN</b>	: Panamericana Norte km. 19, Colina		
<b>DESTINATARIO</b>	: AZA S.A.		
<b>PROCEDENCIA</b>	: Producto fabricado en Chile por AZA		
<b>INFORME ASOCIADO A LA EVALUACIÓN DE CONFORMIDAD</b>	: INFORME OFICIAL N°1788379		
<b>IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO</b>			
<b>TIPO DE PRODUCTO</b>	: Barra laminada en caliente		
<b>FECHA DE PRODUCCIÓN</b>	: 03-05-2022	<b>MARCA SOBRELIEVE</b>	: AZA A630 12
<b>LOTE</b>	: 2614534403	<b>GRADO DE ACERO</b>	: A630-420H
<b>DIÁMETRO NOMINAL</b>	: 12 mm	<b>LARGO NORMAL<sup>1)</sup></b>	: -- m
<b>Nota<sup>(1)</sup></b> : Declaración del fabricante /abastecedor/ proveedor del producto; de acuerdo Anexo D.3 de la norma chilena NCh204:2020.			
<b>NORMA DE REFERENCIA</b>			
NCh204:2020 Acero — Barras laminadas en caliente para hormigón armado.			
<b>NORMAS RESPECTIVAS A PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO, INSPECCIÓN, ACEPTACIÓN O RECHAZO</b>			
NCh204:2020 Acero — Barras laminadas en caliente para hormigón armado.			
<b>FECHA DE MUESTREO</b>	: 03-05-2022		
<b>FECHA INSPECCIÓN</b>	: 03-05-2022		
<b>FECHA ENSAYOS</b>	: Tracción: 03-05-2022    Doblado: 03-05-2022    Dimensional: 03-05-2022		
<b>RESULTADO DE LA CERTIFICACIÓN SEGÚN ESQUEMA DE CERTIFICACIÓN 1b PARA BARRAS DE ACERO LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO UCP-PT-615</b>			
<b>LOTE ACEPTADO</b>	: SI		
<b>PESO LOTE</b>	: 37889 kg		
<b>FORMA DE IDENTIFICACIÓN DE LOS PRODUCTOS ACEPTADOS Y CERTIFICADOS</b>			
No se considera el uso de sellos.			
<b>FECHA DE ENTRADA EN VIGENCIA DE LA CERTIFICACIÓN</b>	: 03 de mayo de 2022		
<b>OBSERVACIONES</b>	: --		
  <b>DANILO CORVALÁN GAMBOA</b> JEFE UNIDAD DE CERTIFICACIÓN			
UCP - FT - 1003    Versión : 1			
Para verificar este documento ingrese a: <a href="http://repositorio.idiem.cl">http://repositorio.idiem.cl</a> El código del documento es: APV6A88LJE			
<a href="http://www.idiem.cl">www.idiem.cl</a>			

Figura 1.2.6.1: Certificado de Calidad IDIEM barras de refuerzo AZA.

De acuerdo con lo recomendado por la NCh204.Of2020, el certificado de conformidad con esta norma es importante para mantener la trazabilidad del producto, asociada a su despacho, desde la planta de producción hasta el usuario directo en la obra. Es relevante que las informaciones de las partidas, el lote o la fracción de éste, deben revisarse y verificarse que sean consistentes: certificados, etiquetas, marcas sobre relieve en las barras, junto con la documentación administrativa como son guías de despacho y facturas.

Los certificados de calidad se encuentran a disposición de nuestros clientes, sean distribuidores y usuarios, quienes los podrán obtener accediendo al “Sistema de Consulta de Certificados de Calidad” disponible en el vínculo para clientes del sitio web [www.aza.cl](http://www.aza.cl).

Para el caso de los usuarios, también los certificados de calidad podrán ser solicitarlos directamente a su respectivo proveedor sin costo.

### 1.2.7 Declaración Ambiental de los Productos (DAP)

Aceros AZA cuantifica su Huella de Carbono y todos sus impactos ambientales a través del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y comunica sus resultados de manera estandarizada a través de las Declaraciones Ambientales de sus Productos (DAP).

En la huella ambiental de las barras de refuerzo AZA, se suman todos los impactos ambientales que se producen durante su ciclo de vida, tales como calentamiento global, eutrofización, acidificación, daño a la capa de ozono y la creación de smog, entre otros. La huella de carbono es una parte de la huella ambiental total de las barras de refuerzo suministradas.

La DAP que entrega AZA, es un documento público verificado por un organismo independiente, que comunica de manera transparente y comparable la huella ambiental del producto a lo largo de su ciclo de vida.

Las DAP del acero sostenible de AZA están efectuadas de acuerdo con la norma ISO14025 y se encuentran publicadas en el International EPD® System, programa certificador de Declaraciones Ambientales de Producto de mayor reconocimiento en el mundo.

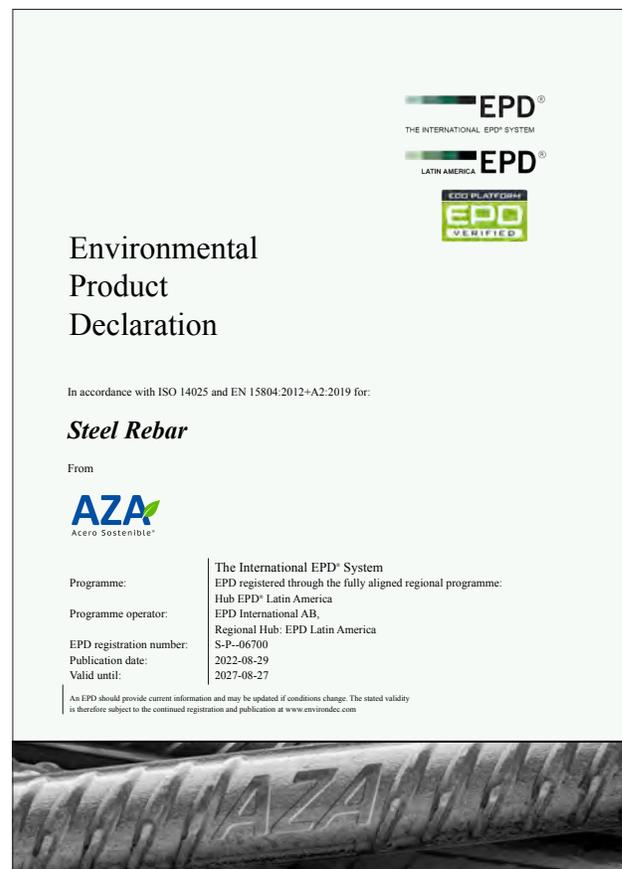


Figura 1.2.7.1: Declaración ambiental de las barras de refuerzo AZA.

La declaración DAP de las barras de refuerzo se puede descargar desde el sitio [www.aza.cl](http://www.aza.cl).

### 1.3 TRANSPORTE, RECEPCION, DESCARGA Y ALMACENAMIENTO

#### 1.3.1 Transporte

El transporte del acero a la obra, se realiza generalmente en camiones que poseen rampas lo suficientemente largas para evitar que las barras arrastren sobre el pavimento o sobresalgan de ella.

La carga debe ser uniformemente repartida y amarrada, en forma conveniente, para lograr la estiba correcta de los paquetes. Está prohibido que la carga exceda del largo normal de la rampa o plataforma del camión, con el objeto de evitar accidentes.



Figura 1.3.1.1: Camión rampa cargado con barras de refuerzo para hormigón.

#### 1.3.2 Recepción

El transportista deberá entregar el material, lo más cercano posible al lugar de almacenamiento, mediante una guía de despacho detallada de la carga. La persona que recibe, deberá revisar de acuerdo a dicho documento, controlando

el peso en una romana. En caso de no contar con romana, la carga se podrá determinar, previo acuerdo, en base a la masa nominal.

Si la compra fuera realizada por barras, la verificación de la entrega se hará contando el número de barras, según el diámetro y largos de los distintos atados.

Por otra parte, si la persona que recibe el material, detectara diferencias entre lo que dice la guía de despacho y lo efectivamente recibido, deberá informar este hecho inmediatamente a su superior responsable o al proveedor, antes de firmar conforme e ingresar dichos materiales como stock de bodega.

#### 1.3.3 Descarga

Es recomendable que los productos sean recibidos y descargados del camión con la mayor celeridad posible, para evitar atrasos en nuevas entregas y con el objeto de desocupar los espacios disponibles, siempre tan escasos en la obra.



Figura 1.3.2.1: Descarga manual del acero desde camión.

La descarga manual del acero desde el camión se hará preferentemente, en forma lateral a la rampa o plataforma, así como se muestra a continuación, haciendo descansar transversalmente los paquetes sobre una cama formada por cuarterones de madera espaciados cada 1,5 m aproximadamente. Así se impedirá el contacto directo del acero con el terreno, dejando un espacio libre entre cada atado para facilitar el tránsito de personal, acceso y posterior transporte interior.

Cuando la carga o descarga se realice mediante grúa, hay que prevenir que ambos extremos del paquete sean levantados al mismo tiempo, para evitar posibles accidentes,



Figura 1.3.2.2: Carga o descarga del acero desde un camión mediante grúa.

tales como la tendencia a que un extremo del atado que se levanta, gire dando una sacudida violenta o latigazo.

No es adecuado que al levantar los rollos o paquetes de barras estos sean tomados de sus amarras, sino que deberán usarse y seleccionarse estrobos formados con cables de acero y ganchos de seguridad adecuados, tal como se muestra en la Figura 1.3.2.3.

Las señales manuales para dirigir el izaje y otros movimientos de cargas, mediante el uso de grúa, que son recomendadas y reconocidas por la práctica internacional, se presentan en la Sección 3.2.5.

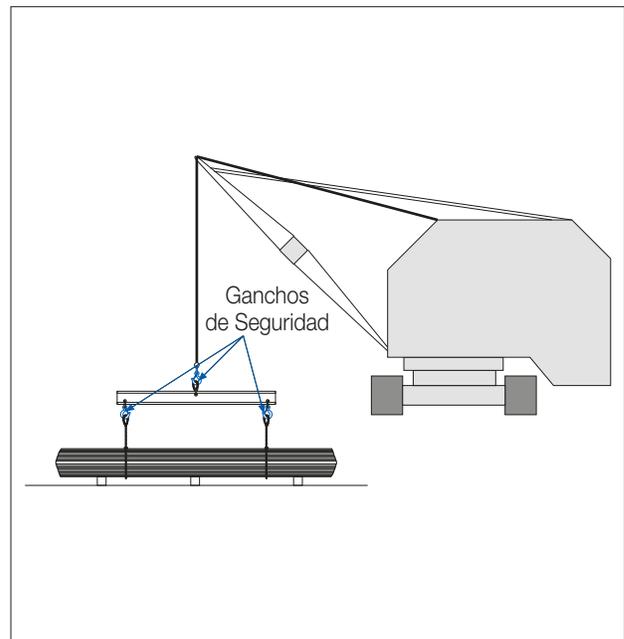


Figura 1.3.2.3: Forma recomendada para levantar rollos y paquetes de barras.

**Tabla 1.3.3.1**
**Dimensiones Aproximadas Ganchos Estándar (mm)**

	A	B	C	D
	23,8	19,1	22,2	111,9
	25,4	22,2	24,6	124,6
	28,6	25,4	26,2	138,9
	34,1	28,6	28,6	158,0
	39,7	31,8	31,0	174,6
	45,2	34,9	33,3	196,9
	50,8	38,1	41,3	220,7
	55,6	41,3	44,5	244,5
	61,1	44,5	47,6	266,7
	66,7	50,8	52,4	297,7
	75,4	60,3	58,7	332,6
	83,3	69,9	70,6	376,2
	96,8	79,4	80,2	429,4
	125,4	88,9	95,3	506,4
143,7	101,6	106,4	582,6	

Nota: Consultar al fabricante sobre la capacidad de resistencia

**Tabla 1.3.3.2**
**Dimensiones Aproximadas Grilletes con Pasador (mm)**

	A	B	C	D
	12,7	47,6	20,6	15,9
	15,9	61,1	27,0	19,1
	19,1	72,2	31,8	22,2
	22,2	84,1	36,5	25,4
	25,4	95,3	42,9	28,6
	28,6	108,0	46,8	31,8
	31,8	119,1	51,6	34,9
	34,9	133,4	57,2	38,1
	38,1	146,1	60,3	41,3
	44,5	177,8	73,0	50,8
	50,8	196,9	82,6	57,2

Nota: Consultar al fabricante sobre la capacidad de resistencia

### 1.3.4 Almacenamiento

El correcto almacenamiento del acero debe considerarse como una actividad importante, ya que con ello se logra un orden adecuado dentro de la obra y una entrega controlada de las barras. Por esta razón, se recomienda separar las barras, según la calidad del acero, por diámetros y largos, y almacenarlas en anaqueles con casilleros individuales, ubicados cerca del lugar de trabajo. En lo posible, estos anaqueles estarán techados y serán lo suficientemente largos, para evitar barras sobresalientes que ocasionen accidentes o barras que queden en contacto con el terreno.

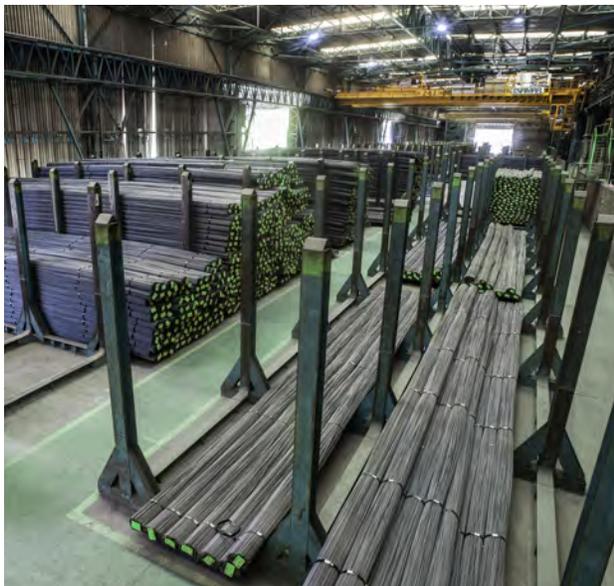


Figura 1.3.4.1: Almacenamiento de las barras sobre cuarterones.



Figura 1.3.4.2: Almacenamiento de Barras de Refuerzo para Hormigón

Cada casillero estará identificado con un letrero o tarjeta visible y su acceso deberá ser expedito, desde el sitio de descarga y hacia la cancha de preparación y bancos de fabricación.

Cuando no sea posible almacenar las barras en anaqueles, recordemos hacer descansar las barras sobre una cama de cuarterones de madera, separados cada 1,5 m. como máximo entre sí, para evitar el contacto del acero sobre el terreno.

El Jefe de Obra, Capataz y Bodeguero deben estar al tanto de la forma en que funciona el almacenamiento y entrega de las barras, conocer las atribuciones que corresponda al personal enferradores, los formularios con que se opera, y velar que las personas a su cargo cumplan con las formalidades establecidas.

#### 1.4 BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS CAPITULO 1

- Catálogo Técnico de Barras y Perfiles Laminados: AZA, Edición, 2022
- La Conquista del Acero: Fritz Toussaint, Editorial Stahleiesen MBH, Dusseldorf
- Norma Chilena NCh200.Of.72: Productos metálicos - Ensayo de tracción. Instituto Nacional de Normalización (INN)
- Norma Chilena NCh204Of.2020: Acero - Barras laminadas en caliente para hormigón armado. Instituto Nacional de Normalización (INN)
- Norma Chilena NCh3334:2014: Acero - Barras laminadas en caliente soldables para hormigón armado - Requisitos. Instituto Nacional de Normalización (INN)
- Placing Reinforcing Bars: Concrete Reinforcing Steel Institute, Sexta Edición, 1992

Capítulo 2

# Función del Acero de Refuerzo. Interpretación de los Planos de Diseño

- 2.1 Función del Acero de Refuerzo para Hormigón
- 2.2 Descripción e Interpretación de los Planos y Especificaciones
- 2.3 Bibliografía y Referencias



## 2.1 FUNCION DEL ACERO DE REFUERZO PARA HORMIGON

### 2.1.1 Introducción

Se define como hormigón armado, al material resultante de la unión del hormigón o concreto (mezcla proporcional de cemento Pórtland, o cualquier otro cemento hidráulico, con arena, grava y agua limpia, con o sin aditivos, que al fraguar y endurecer adquiere resistencia) y las armaduras o barras de acero de refuerzo, combinados de tal forma que constituyan un elemento sólido, monolítico y único desde el punto de vista de sus características físicas, para aprovechar así las cualidades individuales que presentan

ambos materiales.

El hormigón por sí solo, asegura una gran resistencia a las solicitaciones de compresión, pero muy escasa o frágil a los esfuerzos de tracción, por lo que no es conveniente su uso para estructuras sometidas a estas exigencias. Sin embargo, si son debidamente instaladas barras de acero de refuerzo en las zonas apropiadas, se habrá cumplido con tal requerimiento, obteniéndose un elemento capaz de resistir esfuerzos o tensiones combinadas.

En consecuencia, podemos decir que, en general, las compresiones son resistidas por el hormigón, y las tracciones por flexión, corte, torsión o normales, por el acero.

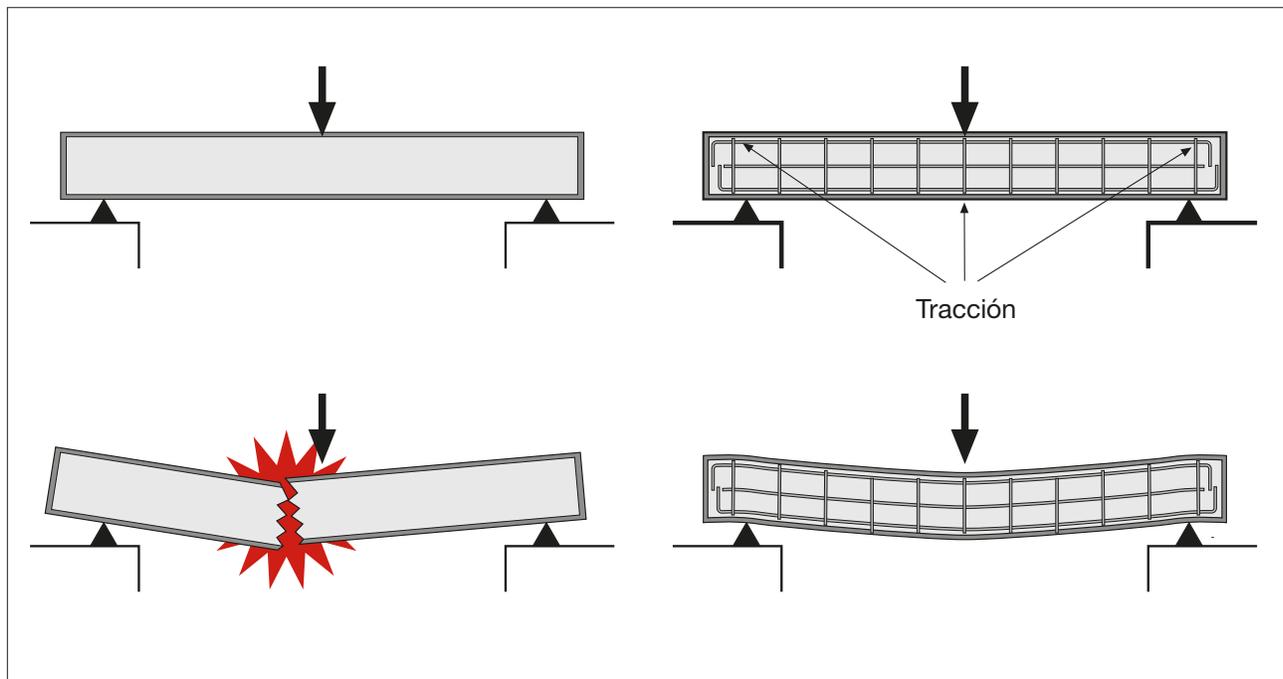


Figura 2.1.1: Ejemplo de viga cargada, sin y con armaduras sometidas a tensiones.

### 2.1.2 Definiciones

**Amarra:** Alambre de acero negro recocido, en general de diámetros entre 1,6 y 2,1 mm, conocida corrientemente como “amarra”, utilizado en particular para fijar los estribos a las barras longitudinales y los empalmes por traslape.

**Armadura:** Todas aquellas barras cortadas y/o dobladas para uso en hormigón armado, que den origen a un producto terminado de dimensiones y forma según lo especificado en los planos de estructura.

**Armadura Principal:** Es aquella armadura requerida para

la absorción de los esfuerzos externos inducidos en los elementos de hormigón armado. Es la armadura que va más cerca de la cara exterior de muros y losas.

**Armadura Secundaria:** Es toda aquella armadura destinada a confinar en forma adecuada la armadura principal en el hormigón. Esta armadura va detrás de la armadura principal.

**Barras de Repartición:** En general, son aquellas barras destinadas a mantener el distanciamiento y el adecuado funcionamiento de las barras principales en las losas de hormigón armado.

**Barras de Retracción:** Son aquellas barras instaladas en las losas donde la armadura por flexión tiene un sólo sentido. Se instalan en ángulo recto con respecto a la armadura principal y se distribuyen uniformemente, con una separación no mayor a 3 veces el espesor de la losa o menor a 50 centímetros entre sí, con el objeto de reducir y controlar la fisuración o grietas que se producen debido a la retracción durante el proceso de fraguado del hormigón, y para resistir los esfuerzos generados por los cambios de temperatura.

**Cerco:** También llamado estribo cerrado de confinamiento. Estribo cerrado o estribo cerrado circular continuo, consiste en uno o varios elementos de refuerzo que tienen ganchos sísmicos en ambos extremos.

**Conexiones:** Coplas o manguitos de acero de diferentes formas, con o sin hilo, que se utilizan para el empalme por traslape de las barras, que también son conocidas como conectores mecánicos.

**Enfierradura:** Ver armadura.

**Estribo:** Refuerzo empleado para resistir fuerzas cortantes y de torsión en un miembro; por lo general consiste en barras con resalte, alambres con resaltes o refuerzo electrosoldado de alambre (liso o con resaltes), ya sea sin

dobleces o doblados en forma de L, U o formas rectangulares y colocadas perpendicularmente o en ángulo con respecto al refuerzo longitudinal.

**Comentario:** Esta definición se usa para refuerzo transversal en miembros a compresión.

**Gancho normal:** Dobleces en el extremo de las barras (de geometría bien definida por la norma) que permite reducir la distancia necesaria para transmitir el esfuerzo de diseño de la barra ( $F_y$ ) al hormigón.

**Gancho Sísmico:** Gancho de un estribo, cerco, estribo cerrado o traba, con un doblez no menor a  $135^\circ$ , excepto que los cercos circulares de confinamiento deben tener un doblez no menor a  $90^\circ$ , con una extensión de 6 veces el diámetro (pero no menor a 75 mm) que engancha la armadura longitudinal y se proyecta hacia el interior del estribo o cerco.

**Gancho Suplementario:** Barra continua con un gancho sísmico en un extremo, y un gancho no menor de  $90^\circ$ , con una extensión mínima de 6 veces el diámetro en el otro extremo. Los ganchos deben enlazar barras longitudinales periféricas. Los ganchos de  $90^\circ$  de dos trabas transversales consecutivas que enlacen las mismas barras longitudinales, deben quedar con los extremos alternados.

**Laminilla:** Delgada y superficial capa, entre 40 y 60  $\mu\text{m}$  de espesor, pero firmemente adherida película de oxidación producto de la laminación en caliente, de las barras de acero para hormigón recién fabricadas.

**Trabas:** Elementos que sirven para cerrar estribos abiertos, confinar mallas de refuerzo de muros y evitar el pandeo de barras comprimidas de columnas y muros.

**Zuncho:** Estribo continuo enrollado en forma de hélice cilíndrica, empleado en elementos sometidos a esfuerzos de compresión (por ejemplo, columnas), que sirven para

confinar la armadura longitudinal de una columna y la porción de las barras dobladas de la viga como anclaje en la columna. El espaciamiento libre entre espirales debe ser uniforme y alineado, no mayor a 80 mm ni menor a 25 mm entre sí. Para elementos con hormigón vaciado en obra, el diámetro de los zunchos no debe ser menor a 10 mm.

Las formas más típicas usadas, para estribos y barras dobladas, se muestran en las figuras siguientes, en donde a cada dimensión de doblado es conveniente asignarle una letra de identificación, tal como se expone en la vista aumentada de la Figura 2.1.2.3 y un número al tipo de barra, según la forma incluida en el plano de referencia.

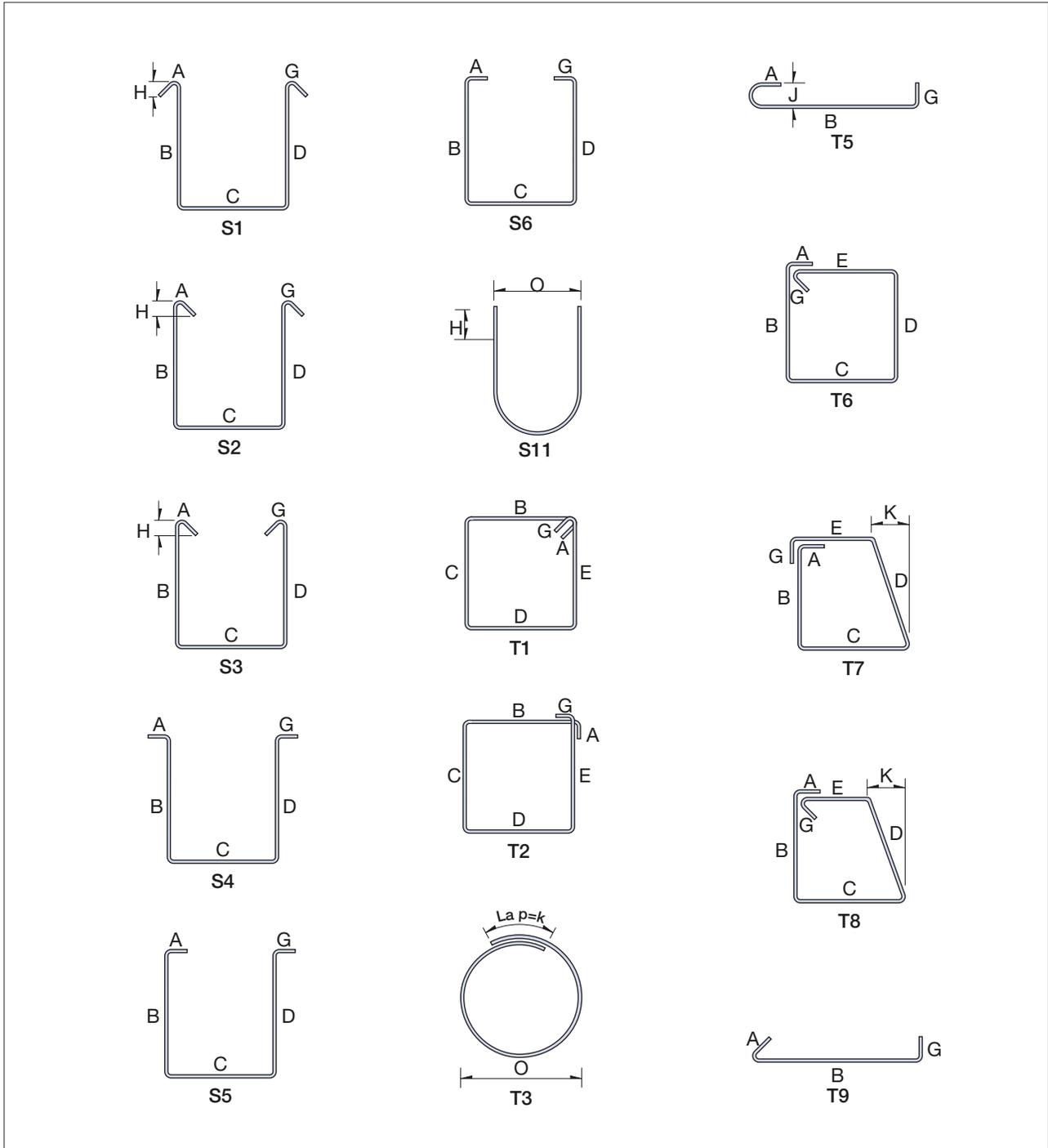


Figura 2.1.2.1: Formas típicas de amarras y estribos.

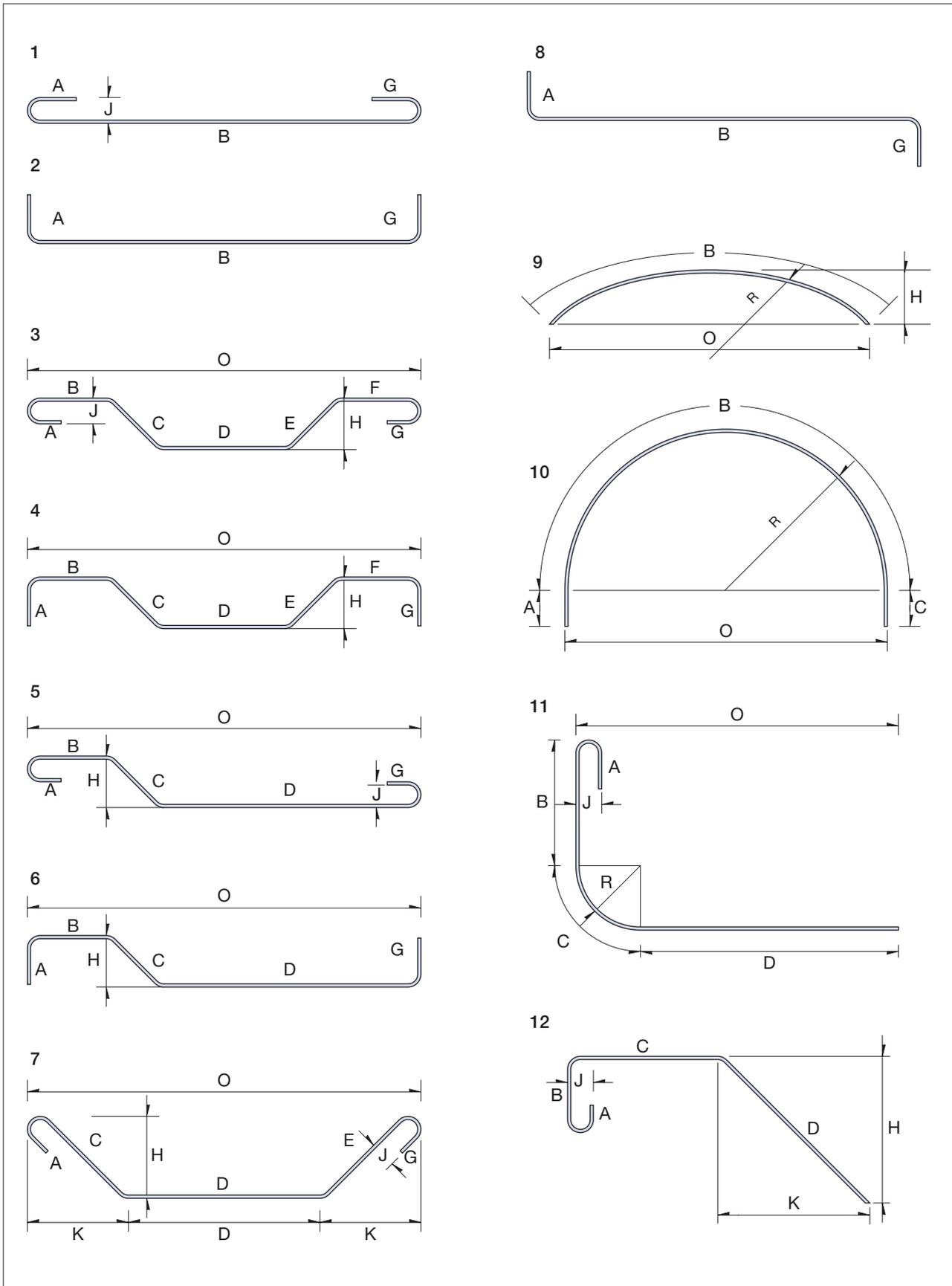


Figura 2.1.2.2a: Formas típicas de barras dobladas.

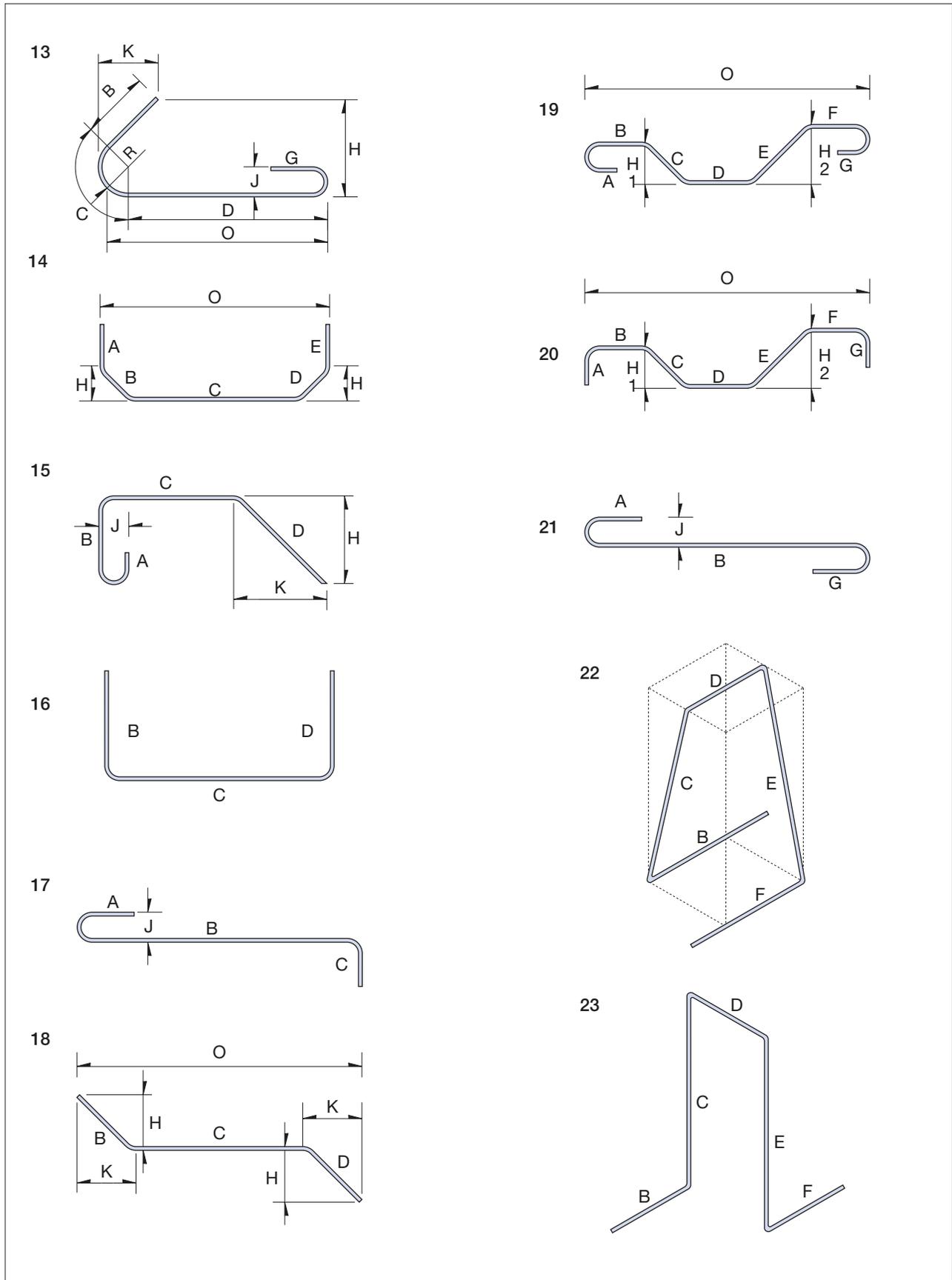


Figura 2.1.2.2b: Formas típicas de barras dobladas.

Alcances a las Figuras 2.1.2.1, 2.1.2.2a y 2.1.2.2b:

1. Todas las medidas son afuera-afuera de la barra, excepto "A" y "G" en ganchos normales de 135° y 180°.
2. La dimensión "J" en ganchos de 180° deberá indicarse sólo cuando sea necesario para restringir el tamaño del gancho.
3. Cuando "J" no se indica, "J" se mantendrá  $\leq$  que "H" en los tipos 3, 5 y 19. Cuando "J" excede "H", deberá ser indicada.
4. La dimensión "H" en los estribos deberá ser indicada cuando sea necesario, para que encaje en el hormigón.

5. Cuando las barras tengan que ser dobladas en forma más precisa que las tolerancias estándar de fabricación, las dimensiones de curvatura que requieran una fabricación más detallada deberán tener límites indicados.
6. Los tipos S1, S6, S11, T1, T3, T5 y T9, se aplican solo a barras de diámetro 8 a 25 mm.

A menos que ocurra lo contrario a lo indicado en estas notas, el diámetro "D" en la Figura 2.1.2.3 es el mismo para todas las curvaturas y ganchos en una barra, excepto para los tipos de curvado 11 y 13.

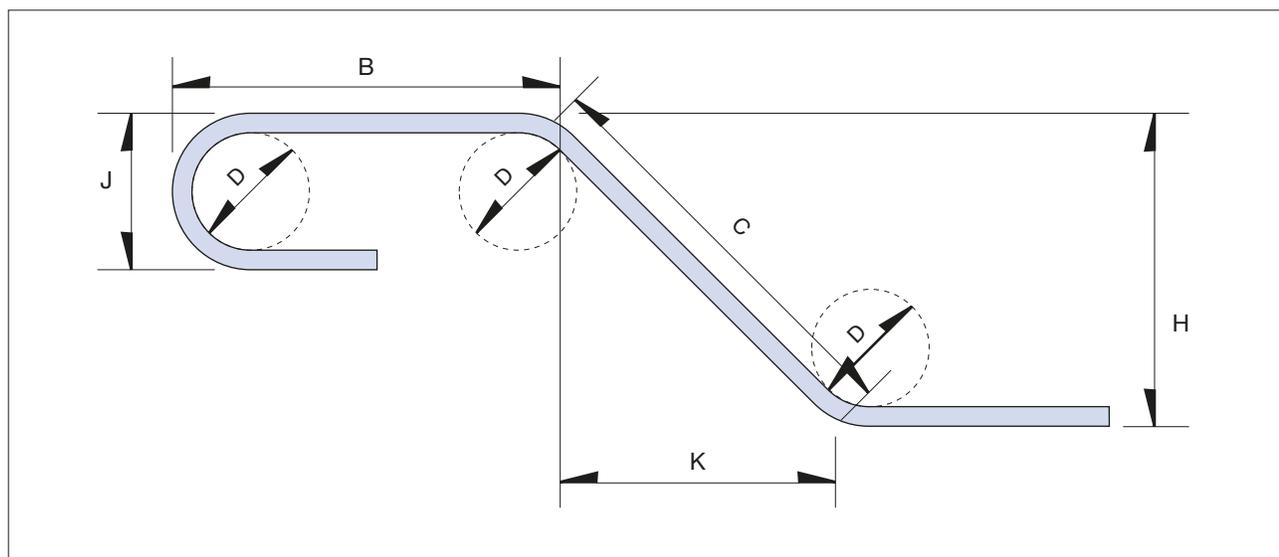


Figura 2.1.2.3: Vista aumentada de los detalles de curvatura.

## 2.2 DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS PLANOS Y ESPECIFICACIONES

### 2.2.1 Generalidades

Conforme a lo estipulado en la normativa vigente, las copias de los planos de diseño, los detalles típicos y las especificaciones para toda construcción de hormigón armado deben llevar la firma de un ingeniero civil estructural, o de un arquitecto si el tipo y clase de construcción y la Ley y Ordenanza General de Urbanismo y Construcción lo permite y, además, en el último tiempo, la identificación y firma de un ingeniero revisor calificado y autorizado por los organismos competentes, exigencia válida por el momento sólo para el caso de obras y edificios públicos.

Estos planos, detalles y especificaciones deben incluir, a lo menos:

- a) Nombre y fecha de publicación de la norma y del suplemento, de acuerdo con los cuales está hecho el diseño.
- b) Sobrecarga y otras cargas utilizadas en el diseño.
- c) Resistencia especificada a la compresión del hormigón, a las edades o etapas de construcción establecidas, para las cuales se diseña cada parte de la estructura.
- d) Resistencia especificada, tipo y calidad o grado del acero de la armadura.
- e) Tamaño y posición de todos los elementos estructurales y de la armadura.
- f) Precauciones por cambios en las dimensiones, producidos por fluencia lenta, retracción y temperatura.
- g) Longitud de anclaje de la armadura y posición y longitud de los empalmes por traslapes.
- h) Tipo y posición de los empalmes soldados y las conexiones mecánicas de la armadura, si las hubiere.
- i) Ubicación y detalles de todas las juntas de construcción, juntas de contracción y juntas de expansión requeridas y especificadas.

- j) Secuencia de la colocación del hormigón, si éste es un factor crítico.
- k) Tensiones estáticas y dinámicas admisibles del terreno de fundación.

Se han enumerado algunos de los ítemes de información más importantes, que deben incluirse en los planos de detalles o especificaciones de diseño, sin embargo, la Autoridad Competente, que es aquella que tiene atribuciones para velar por la correcta aplicación y cumplimiento de las leyes, reglamentos, códigos y normas, podrá requerir algunos antecedentes adicionales, como por ejemplo: dimensión para la contraflecha de losas y disposiciones para el encofrado o moldajes.

En la construcción, los planos de diseño para estructuras se presentan como Planos de Conjunto y Planos de Detalles, teniendo presente que, para todos los efectos, siempre se debe adoptar como criterio básico que: La cota prima sobre la escala señalada en el plano.

### 2.2.2 Planos de Conjunto

Los Planos de Conjunto, también denominados Planos Generales de Construcción, son aquellos que incluyen toda la información que permite la ubicación de los elementos de la estructura, utilizando generalmente como identificación, la letra inicial del elemento. Por ejemplo: letra V para vigas, P para pilares o pilotes, C para columnas, M para muros, L para losas, etc., y números para su posición respecto al piso: 100 a 199 para el 1° piso, 400 a 499 para el 4° piso, 1200 a 1299 para el 12° piso, etcétera, donde el primer o los dos primeros dígitos se refieren al piso y los dos restantes números el que individualiza al elemento.

En los Planos de Conjunto, no se muestra el detalle de las armaduras, ni la forma de las barras, lo que se verá en los Planos de Detalles, pero sí se indica frecuentemente, el diámetro y la cantidad de barras que deben ser usadas,

con una descripción de la posición que tienen dentro del elemento, llamando fe a las barras inferiores y fe' o fe1 a las superiores. Sobre las dimensiones del elemento en referencia, se debe señalar primero el ancho y luego el alto o largo, separados por una línea diagonal.

Es así como en los ejemplos de la Figura 2.2.2.1, el elemento V420 corresponde a una viga que está ubicada a la altura del cielo, en un 4° piso. Sus dimensiones son 30 centímetros de ancho por 40 centímetros de alto y está armada con tres barras de  $\phi 18$  abajo, y tres barras de  $\phi 18$  arriba, con estribos  $\phi 8$  cada 20 centímetros.

En la misma figura, el elemento P414 corresponde a una columna, ubicada en el 4° piso, que tiene 30 centímetros de ancho por 60 centímetros de largo, armada con 6 barras de  $\phi 22$  y estribos de  $\phi 8$  cada 15 centímetros.

Asimismo, el elemento M402 es un muro ubicado en el 4° piso, de 25 centímetros de ancho o espesor que posee como armadura de refuerzo, una doble malla de  $\phi 12$  y trama cuadrada a 20 centímetros. El elemento M404 es otro muro del 4° piso, también de 25 centímetros de ancho o espesor, pero armado con doble malla de  $\phi 10$ , a 20 centímetros en la vertical y a 15 centímetros en la horizontal.

Los ejemplos de la Figura 2.2.2.2 se refieren a la manera de señalar las armaduras en las losas, en que L506 sería una losa sencilla de 18 centímetros de espesor, ubicada a nivel de cielo del 5° piso, que debería armarse en el sentido que muestra la flecha, con barras de  $\phi 16$ , separadas cada 15 centímetros. Las barras de repartición de esta losa, de  $\phi 10$  y separadas a 20 centímetros se indicarán en el Plano de Detalles y se instalarán en el otro sentido.

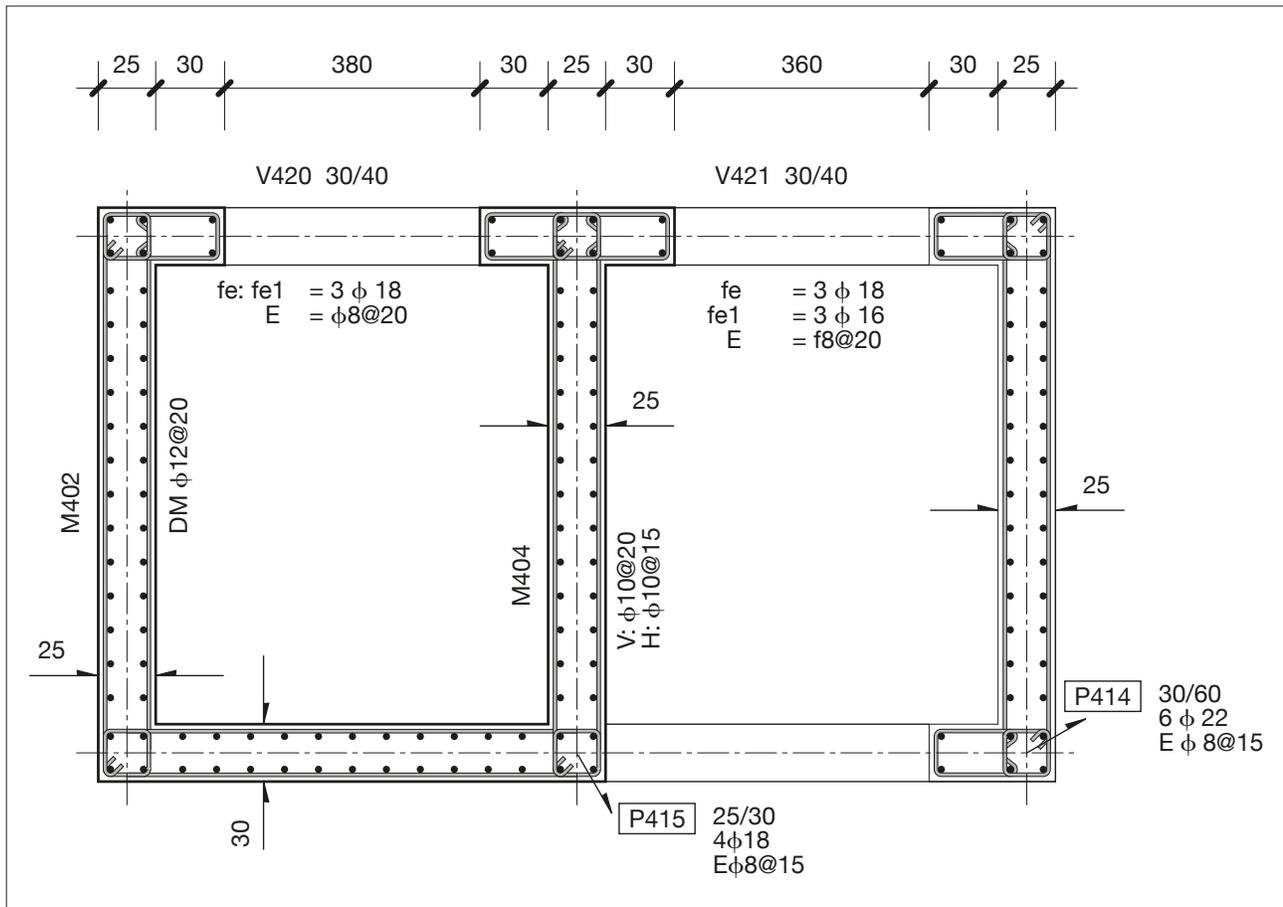


Figura 2.2.2.1: Plano de Conjunto Vigas, Columnas y Muros (fuera de escala).

La losa L508 sería el ejemplo de una losa con armaduras en los dos sentidos, en donde las flechas  $fe$  y  $fe1$  indican la dirección de las barras de  $\phi 12$ , con sus respectivas separaciones.

La armadura principal, siempre debe ser instalada más cerca al moldaje, ya sea la  $fe$  o  $fe1$  que los proyectistas destacan generalmente, con el símbolo "AP" u otro similar.

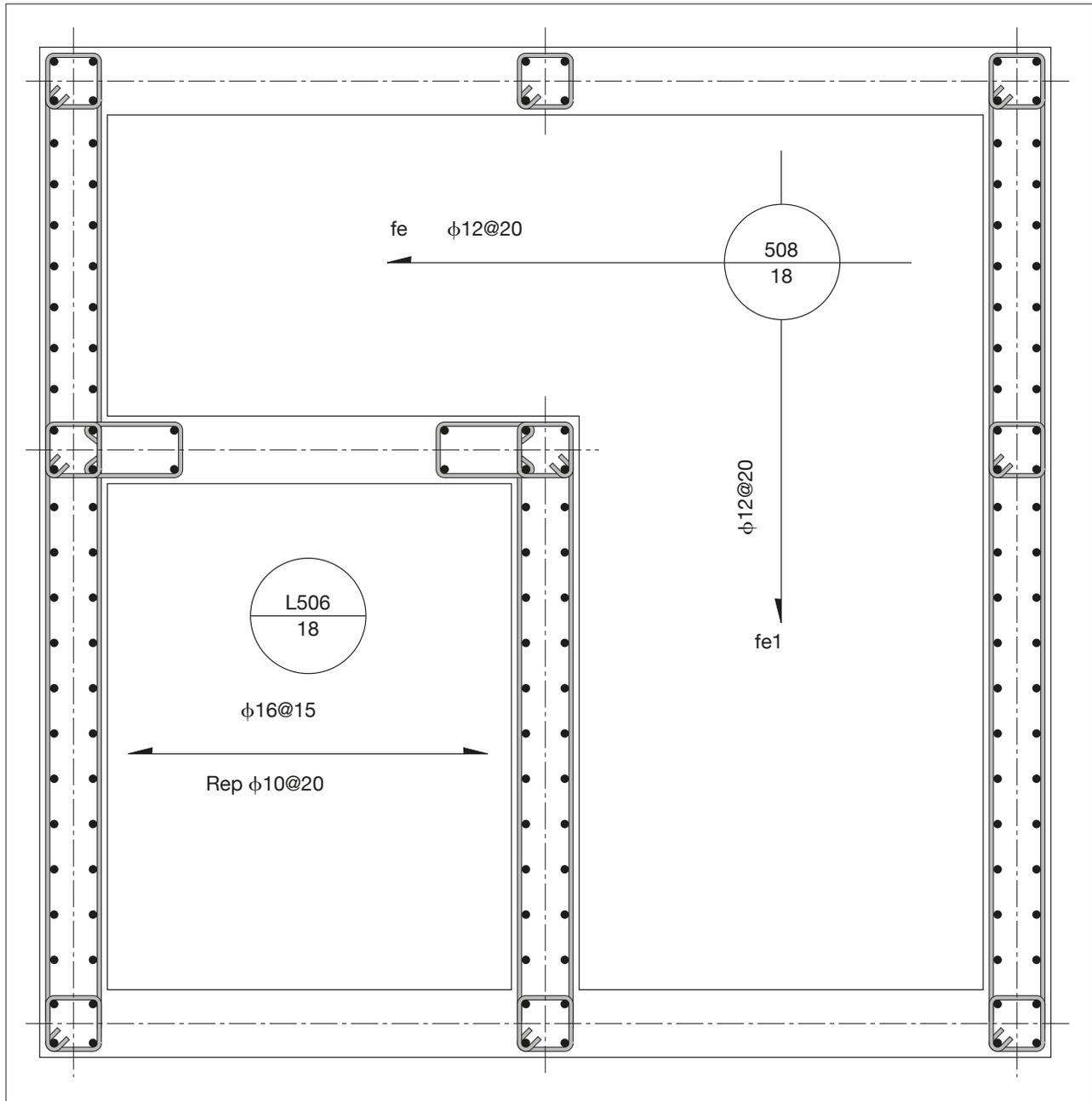


Figura 2.2.2.2: Plano de Conjunto Losas 506 y 508 (fuera de escala).

### 2.2.3 Planos de Detalle

Los Planos de Detalle deben contener todos los antecedentes de las armaduras. Por lo tanto, es recomendable que muestren los elementos en planta con sus elevaciones y cortes; cuántos sean necesarios para una mejor visualización e interpretación de las formas y ubicaciones.

Los proyectistas acostumbran, generalmente, dibujar el elemento de hormigón con una línea de contorno de trazo fino, y las barras colocadas dentro con trazos gruesos. Luego, se realiza lo que se conoce como destacado de la armadura, es decir, proyectar cada barra fuera del elemento, acotándola en todas sus dimensiones, dobleces y largo total.

En la Figura 2.2.3 se muestra el Plano de Detalle, para el ejemplo de una viga, en cuyo caso, la simbología V312 dice

que se trata de la viga número 312, que se encuentra a la altura del cielo del 3° piso. Los dígitos 30/60 significan que tiene 30 centímetros de ancho por 60 centímetros de alto y E  $\phi 8@15$  expresa que los estribos son de diámetro 8 milímetros, instalados cada 15 centímetros de separación.

Los restantes números que aparecen en el dibujo, se refieren al diámetro de las barras, el número de identificación que se le ha asignado en el plano y la cantidad de barras que le corresponden al elemento. Por ejemplo, los números 2205-2  $\phi 22$  equivalen a 2 barras de un diámetro 22 milímetros, cuya marca o número de posición en el plano, es el 05.

Como complemento y mejor comprensión de esta sección, en el anexo de este Manual se incluyen algunos ejemplos de los detalles constructivos más usuales para obras de hormigón armado, los cuales no se representan a escala, la que usualmente es 1:50.

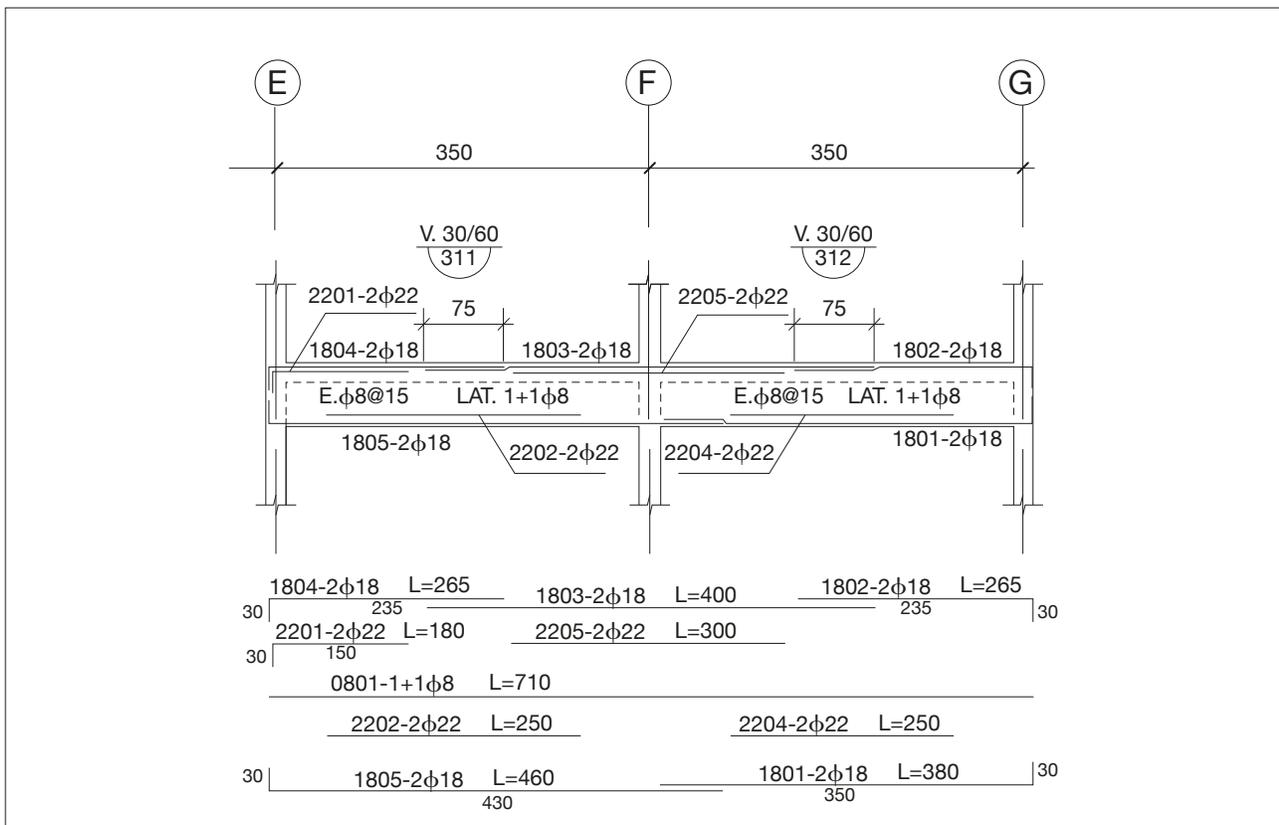


Figura 2.2.3: Plano de Detalle Viga 312 (fuera de escala).

### 2.2.4 Planos de Estructuras

Otro sistema para dibujar los Planos de Armaduras, recomendable por su facilidad de interpretación, pero no muy generalizado en Chile, es aquel que utiliza la práctica norteamericana, y consiste en separar los planos del edificio o construcción, por niveles, pisos, elevaciones o elementos menores, dibujando los elementos estructurales sin destacar las armaduras, pero identificando las barras con un código de números de tres o cuatro cifras: la primera o las dos primeras indican el diámetro del acero y, las últimas, la marca o el número asignado en el plano.

En la Figura 2.2.4 se muestra un ejemplo básico de un Plano

de Estructuras; en estos planos, generalmente se incluye en el extremo derecho, una lista detallada de los materiales o despiece y un esquema de los tipos y formas de las barras pertenecientes a dicho plano, con indicaciones de sus dimensiones parciales, longitud total (desarrollo) y la marca que le corresponde y, en ocasiones, un resumen de la cubicación del acero, tal como se describe en la Tabla 2.2.4.

**Comentario:** Es común que los planos se dibujen según el criterio chileno, y no con el sistema americano; es decir, con detallamiento o despiece del acero, por ejemplo bajo la viga (destacado), pero sin incluir el listado de materiales ni la cubicación.

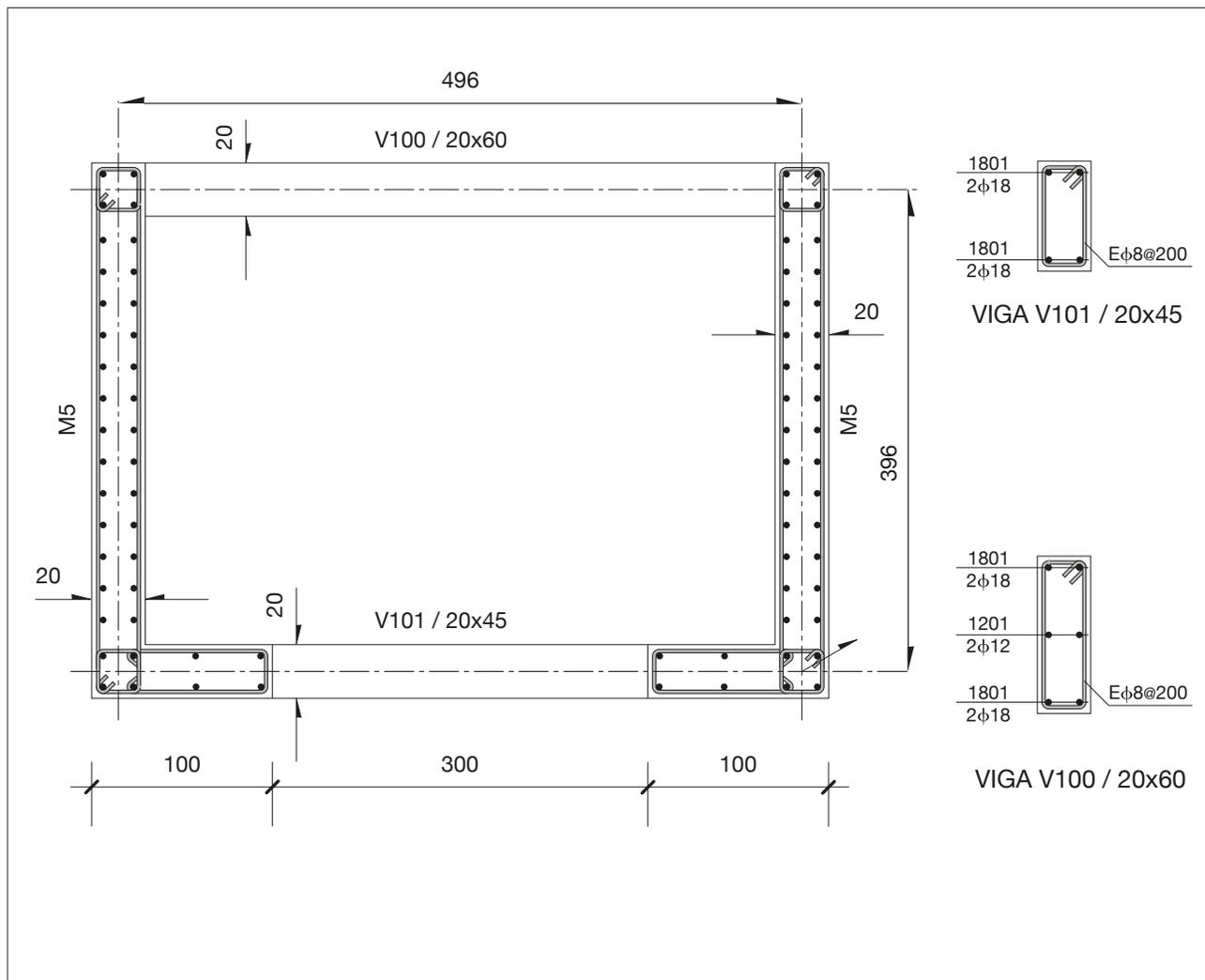


Figura 2.2.4: Ejemplo básico de un plano de estructuras (fuera de escala).

**Tabla 2.2.4**
**Esquema y Listado de Barras**

Lista de Barras A630												Largo		$\phi$		
Identificación					Dimensiones (cm)							Un	Total	doblez		
Item	Marca	Tipo	$\phi$	Cantidad	A	B	C	D	E	F	G	cm	m	m		
1	801	5	8	240	10	53	29	53	29	11		185	444	32		
2	802	3	8	32	20	1.340	20					1.380	442	32		
3	803	3	8	64	20	440	20					480	307	32		
4	804	5	8	120	10	53	29	53	29	11		185	222	32		
5	1001	4	10	360	16	188	16					220	792	60		
6	1002	4	10	128	16	188	16					220	282	60		
7	1601	3	16	56	50	1.450	50					1.550	868	100		
8	1602	3	16	146	50	548	50					648	946	100		
9	1603	1	16	4	1.450							1.450	58			
10	1604	1	16	4	548							548	22			
11	1605	3	16	50	50	428	50					528	264	100		
12	2201	4	22	128	26	213	26					265	339	135		
13	2202	3	22	16	20	1.340	20					1.380	221	135		
14	2203	3	22	32	20	440	20					480	154	135		
15	2204	4	22	64	25	213	26					264	169	135		
16	2205	3	22	16	20	440	20					480	77	135		
					<b>Cubicación del Acero A630</b>											
Diámetros (mm)					8	10	12	16	18	22	25	28	32	36		
Total (m)					1.415	1.074		2.158		959						
Acero (kg/m)					0,395	0,617	0,888	1,58	2,00	2,98	3,85	4,83	6,31	7,99		
Peso por Diámetros (kg)					559	662		3.410		2.859						
..... % Pérdidas																
Peso Total (kg)																

### 2.2.5 Cubicación de las Armaduras

En el caso que el proyectista no incluya la lista o despiece del material en sus planos, y en especial si la fabricación de las armaduras va a realizarse mediante el método tradicional de mano de obra en terreno, es conveniente usar un formulario que permita verificar en forma ordenada la cubicación.

Aunque cada empresa constructora tiene generalmente su propio procedimiento, en el primer ejemplo se propone un modelo práctico y sencillo de formulario para el resumen de la cubicación y a continuación otro diseño de planilla, que contempla sólo algunos de los datos anteriores, pero que a diferencia del anterior incluye las formas y el detalle de las barras rectas A630. Ambos casos no consideran las pérdidas materiales por despuntes.

**Tabla 2.2.5.1**
**Formulario para la Cubicación Resumida del Acero**

Obra	Edificio Catarina			Columnas Vigas y Muros	Peso Teórico (kg)	21.085	Hoja N°	1/3			
Plano	N° 118-7	Rev. 1	Nivel Subterráneo	Grado Acero	A630	Fecha	17.06.04				
Lista de Barras				Diámetros de las Barras (mm)							
Marca	Cantidad	φ mm	Largo cm	8	10	12	16	18	22	28	32
				Cubicación Teórica (m)							
803	1620	8	110	1.782							
804	945	8	140	1.323							
805	810	8	150	1.215							
1004	270	10	530		1.431						
1005	270	10	620		1.674						
1206	270	12	340			918					
1207	360	12	520			1.872					
1208	270	12	260			702					
1610	180	16	580				1.044				
1611	80	16	550				440				
1810	64	18	580					371			
1811	96	18	550					528			
2203	48	22	235						113		
2210	64	22	580						371		
2211	96	22	550						528		
2805	24	28	540							130	
2808	24	28	610							146	
2810	24	28	570							137	
3205	48	32	540								259
3208	48	32	610								293
3210	48	32	570								274
Cubicó	P.M.J.	Total	m	4.320	3.105	3.492	1.484	899	1.012	413	826
Revisó	A.C.F.	Masa	kg/m	0,395	0,617	0,888	1,58	2,00	2,98	4,83	6,31
Aprobó	C.R.S.	Peso Total	kg	1.706	1.916	3.101	2.345	1.798	3.016	1.994	5.210

Tabla 2.2.5.2

Planilla para la Cubicación Detallada del Acero

Obra	Edificio Catarina		Columnas Vigas y Muros			Peso Teórico (kg)	21.085	Hoja N°	1/8	
Plano	N° 118-7	Rev. 1	Nivel Subterráneo			Grado Acero	A630	Fecha	17.06.04	
Forma y Dimensiones de la barra cm			Identificación				Totales			
			Ejes	Marca	Posición	$\phi$ mm	Largo cm	Piezas	Largo m	Peso kg
						8	110	1.620	1.782	704
						8	140	945	1.323	523
						8	150	810	1.215	480
						10	530	270	1.431	883
						10	620	270	1.674	1.033
						12	340	270	918	815
$\phi$ Barra (mm)	8	10	12	16	18	22	25	28	32	36
Total (m)	4.320	3.105	918	1,58	2,00	2,98	3,85	4,83	6,31	7,99
Masa (kg/m)	0,395	0,617	0,888	1,58	2,00	2,98	3,85	4,83	6,31	7,99
Peso Parcial kg	1.706	1.916	815							

### 2.2.6 Pérdidas Materiales por Cortes

Una de las variables importantes en la utilización del acero, particularmente cuando las armaduras son fabricadas con el método tradicional de mano de obra en terreno, es el adecuado aprovechamiento de las barras para reducir las pérdidas que inevitablemente se producen, ya sea por razones de diseño, por un mal aprovechamiento longitudinal de las barras, debido a los largos disponibles en el mercado o a un inadecuado criterio aplicado por parte del personal encargado de esta operación.

A modo de ejemplo, en las páginas que siguen, se somete a consideración un modelo de formulario para la optimización de cortes, que ha tomado los mismos datos de la cubicación de la Tabla 2.2.5.1 precedente, que tiene como objetivo indicar la manera de cortar barras rectas. El sistema para optimizar los cortes puede ser manual, trabajo laborioso que obliga a tener orden, dedicación y rigurosidad y que demanda importantes horas profesionales. También, mediante algún programa computacional, que son de alta inversión inicial, pero que son muy eficientes ya que están

basados en algoritmos genéricos, que permiten rápidamente concatenar todas las variables.

El primer ejemplo considera solo la utilización de barras rectas de 6 y 12 m, que son los largos de existencia normal en el mercado, y el segundo es además para barras rectas de 7-8-9-10 y 11 m de largo que son para entrega previa consulta con el fabricante o proveedor.

El propósito de mostrar estos dos ejemplos es establecer las pérdidas según la mezcla de largos que se elija y, como consecuencia de ello, comparar como se reduce el costo final de las armaduras en ambos casos.

Cabe mencionar que, para el abastecimiento del acero a partir de rollos (para diámetros de 8 a 16 milímetros), las pérdidas por despuntes son prácticamente despreciables, del orden de 0,5%, pues teóricamente sólo se producen en la punta y en la cola del rollo. Sin embargo este acero en rollos debe ser enderezado de acuerdo a norma para obtener barras rectas, lo que tiene un costo adicional de horas máquina y mano de obra.

**Tabla 2.2.6.1**

**Detalle Optimización de Cortes - Barras Rectas de 6 y 12 m de largo**

Obra	Edificio Catarina		Columnas Vigas y Muros				Optimizó:	A.C.F.		Fecha	Hoja		
Plano	Nº 118-7	Hoja 1/3	Nivel Subterráneo				Aprobó:	C.R.S.		17.10.04	1/10		
Barras Rectas a Utilizar				Barras Cortadas Obtenidas									
φ mm	Largo m	Cantidad Total		Corte 1			Corte 2			Corte 3			Total
		Barras	kg	Marca	Largo cm	Cant.	Marca	Largo cm	Cant.	Marca	Largo cm	Cant.	kg
8	12	162	768	803	110	1.620							704
8	6	34	81	804	140	135							75
8	6	405	960	805	150	810	804	140	810				928
10	12	270	1.999	1004	530	270	1005	620	270				1.916
12	12	270	2.877	1206	340	270	1207	520	270	1208	260	270	2.685
12	6	90	480	1207	520	90							416
16	12	90	1.706	1610	580	180							1.650
16	6	80	758	1611	550	80							695
18	12	64	1.536	1810	580	64	1811	550	64				1.446
18	6	32	384	1811	550	32							352
22	12	64	2.289	2210	580	64	2211	550	64				2.155
22	6	32	572	2211	550	32							524
22	12	10	358	2203	235	48							336
28	12	24	1.391	2808	610	24	2810	570	24				1.368
28	6	24	696	2805	540	24							626
32	12	48	3635	3208	610	48	3210	570	48				3.574
32	6	48	1.817	3205	540	48							1.636

Resumen Consolidado								Totales				
φ mm	Largo Barras Rectas Requeridas, m							Teórico kg	Pérdidas			Real kg
	6	7	8	9	10	11	12		m	kg	%	
8	439						162	1.706	258	102	6%	1.808
10	0						270	1.916	135	83	4%	1.999
12	90						270	3.101	288	256	8%	3.357
16	80						90	2.345	76	120	5%	2.465
18	32						64	1.798	61	122	6%	1.920
22	32						74	3.016	68	203	6%	3.218
28	24						24	1.994	19	93	4%	2.087
32	48						48	5.210	38	242	4%	5.452
<b>Total</b>	<b>745</b>						<b>1.002</b>	<b>21.085</b>	<b>943</b>	<b>1.220</b>	<b>5,5%</b>	<b>22.306</b>

**Tabla 2.2.6.2**
**Detalle Optimización de Cortes - Barras Rectas de 6-7-8-9-10-11 y 12 m de largo**

Obra	Edificio Catarina		Columnas Vigas y Muros				Optimizó:	A.C.F.	Fecha	Hoja			
Plano	N° 118-7	Hoja 1/3	Nivel Subterráneo				Aprobó:	C.R.S.	17.10.04	1/54			
Barras Rectas a Utilizar			Barras Cortadas Obtenidas										
φ mm	Largo m	Cantidad Total		Corte 1			Corte 2			Corte 3			Total
		kg		Marca	Largo cm	Cant.	Marca	Largo cm	Cant.	Marca	Largo cm	Cant.	kg
8	12	162	768	803	110	1620							704
8	7	189	523	804	140	945							523
8	9	135	480	805	150	810							480
10	12	270	1.999	1004	530	270	1005	620	270				1.916
12	9	270	2158	1206	340	270	1207	520	270				2.062
12	8	90	639	1207	520	90	1208	260	90				623
12	8	60	426	1208	260	180							416
16	12	90	1.706	1610	580	180							1.650
16	11	40	695	1611	550	80							695
18	12	32	768	1810	580	64							742
18	11	48	1.056	1811	550	96							1.056
22	12	10	358	2203	235	48							336
22	12	32	1.144	2210	580	64							1.106
22	11	48	1.573	2211	550	96							1.573
28	11	12	638	2805	540	24							626
28	12	24	1.391	2808	610	24	2810	570	24				1.368
32	11	24	1.666	3205	540	48							1.636
32	12	48	3.635	3211	610	48	3212	570	48				3.574

Resumen Consolidado								Totales				
φ mm	Largo Barras Rectas Requeridas, m							Teórico kg	Pérdidas			Real kg
	6	7	8	9	10	11	12		m	kg	%	
8		189		135			162	1.706	162	64	3,6%	1.770
10							270	1.916	135	83	4,2%	1.999
12			150	270				3.101	138	123	3,8%	3.223
16						40	90	2.345	36	57	2,4%	2.402
18						48	32	1.798	13	26	1,4%	1.824
22						48	42	3.016	20	60	2%	3.075
28							12	1.994	7	35	2%	2.029
32							24	5.210	14	91	1,7%	5.300
<b>Total</b>		<b>189</b>	<b>150</b>	<b>405</b>		<b>172</b>	<b>668</b>	<b>21.085</b>	<b>525</b>	<b>538</b>	<b>2,5%</b>	<b>21.623</b>

## 2.2.7 Cuantías Estimadas de Acero

algunos edificios según su clase, uso y número de pisos.

A modo de referencia y solo con carácter informativo, en las Tablas que se acompañan, se entregan las cuantías aproximadas de acero de refuerzo, estimadas para los elementos estructurales de hormigón que se indican y para

Los valores de las Tablas 2.2.7.1 y 2.2.7.2, son cuantías promedio para los tramos de los pisos señalados y para acero A630, con un rango de precisión de  $\pm 10\%$ , según el diseño y bases de cálculo.

Tabla 2.2.7.1 Cuantías aproximadas de Acero de Refuerzo (kg /m <sup>3</sup> de hormigón)		
Elemento estructural	Edificios habitacionales y viviendas en general	Edificios industriales
Fundaciones	60,0	115,0
Muros	80,0	100,0
Columnas	160,0	180,0
Losas	75,0	120,0
Vigas y cadenas	120,0	140,0

Tabla 2.2.7.2 Cuantías aproximadas de Acero de Refuerzo (kg/m <sup>2</sup> construidos en planta)						
Edificios habitacionales				Edificios industriales		
	Clase <sup>(*)</sup>	Nº de pisos	Acero refuerzo kg/m <sup>2</sup>	Clase <sup>(*)</sup>	Nº de pisos	Acero refuerzo kg/m <sup>2</sup>
Vivienda Social	C ó D	1	6,0	C	1	12,0
Vivienda Social	C ó D	2	8,0	C	2	16,0
Vivienda Económica	C ó D	1	10,0	B	1	25,0
Vivienda Económica	C ó D	2	12,0	B	2	32,0
Edificio	C	3 y 4	20,0			
Edificio Tipo II	B	5 a 8	30,0			
Edificio Tipo II	B	9 a 15	34,0			
Edificio Tipo II	B	16 a 25	40,0			

(\*) Ordenanza General de Urbanismo y Construcción:  
 Clase B: Construcciones con estructura resistente de hormigón armado en columnas, vigas, cadenas, muros y losas.  
 Clase C: Construcciones con muros soportantes de 20 centímetros de espesor, mínimo en obra gruesa, en albañilería de ladrillos entre columnas, vigas y cadenas de hormigón armado. Esta clase solo podrá diseñarse y construirse hasta edificios de cuatro pisos.  
 Clase D: Construcciones con muros soportantes de 15 centímetros de espesor, mínimo en obra gruesa, en albañilería de ladrillo, de piedra y de bloques entre columnas, pilares, vigas y cadenas de hormigón armado. Esta clase solo podrá diseñarse y construirse hasta dos pisos, y la altura libre de cada piso no podrá exceder de 2,60 m.  
 Edificios Tipo II: Ha sido una de las formas estructurales más usadas en nuestro país. Consiste en muros rígidos para esfuerzos laterales y vigas, columnas y muros para fuerzas verticales. Este tipo es apropiado para edificios en altura hasta los 35 pisos en hormigón armado.

### 2.2.8 Estructuración en Hormigón Armado

La definición de los conceptos de estructuración (tipos) y la cantidad media de acero de refuerzo y hormigón para los edificios más usuales, está basada en un informe técnico realizado por el ingeniero chileno señor Elías Arze Loyer, en el mes de octubre del año 1980, el cual se presenta en forma extractada en los párrafos y Gráficos 2.2.8.1 y 2.2.8.2.

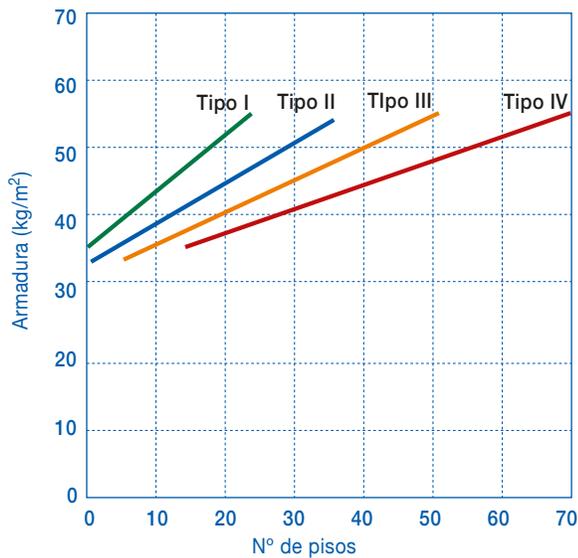
**Tipo I:** Marcos rígidos de hormigón, apropiados para cualquier altura hasta 20 pisos en hormigón armado.

**Tipo II:** Ha sido una de las formas estructurales más usadas en nuestro país. Consiste en muros rígidos para esfuerzos laterales y vigas, columnas y muros para fuerzas verticales. Este tipo de edificio es apropiado para cualquier altura hasta los 35 pisos en hormigón armado.

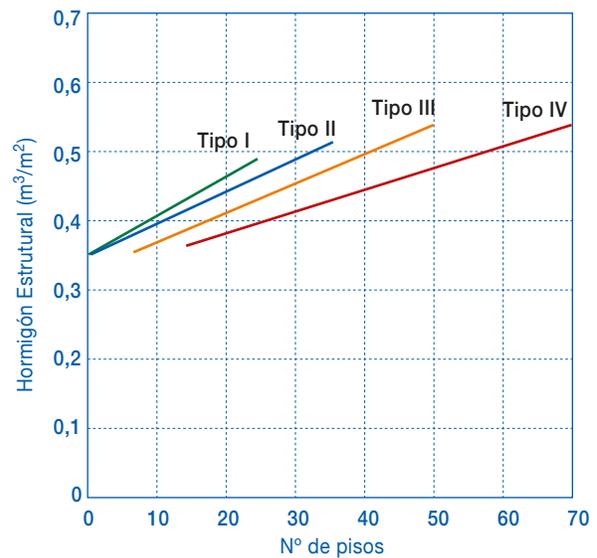
**Tipo III:** Es una combinación de los tipos I y II (marcos y muros), es un tipo relativamente reciente que tiene ventajas de resistencia sísmica sobre los anteriores. Su aplicación ha sido posible debido a la aparición de los computadores, que permiten resolver los complejos problemas de cálculo involucrados. Este tipo de edificio es apropiado para cualquier altura hasta los 50 pisos en hormigón armado.

**Tipo IV:** Denominados tubulares, en que la resistencia a las fuerzas laterales está dada por tubos espaciales verticales sólidos, como los núcleos de ascensores y áreas de servicios. La construcción tubular, que fue desarrollada por los ingenieros norteamericanos Khan & Lyegar, de la empresa Skidmore Owens & Merrill, ha hecho posible construir los edificios más altos conocidos.

**Gráfico 2.2.8.1**  
**Cuantías Medias de Acero de Refuerzos en Edificios**



**Gráfico 2.2.8.2**  
**Cuantías Medias de Hormigón en Edificios**



### 2.3 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CAPÍTULO 2

- Compendio Tecnología del Hormigón: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón (ICH)
- Manual de Detallamiento para Elementos de Hormigón Armado: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón (ICH). 2019
- Detalles Constructivos en Obras de Hormigón Armado: J. Calavera, Ediciones Intemac, 2000
- Ferralla: J. Calavera, E. González, J. Fernández, F. Valenciano, Ediciones Intemac, 2003
- Norma NCh 211.Of2012 - Acero - Enfierradura para uso en hormigón armado – Requisitos. Instituto Nacional de Normalización (INN).
- Hormigón Armado: P. Jiménez Montoya, Quinta Edición, Editorial G. Gili S.A.
- Obras de Hormigón Armado: C. Russo, Editorial G. Gili S.A.
- Ordenanza General de Urbanismo y Construcción: Ministerio de la Vivienda y Urbanismo
- Placing Reinforcing Bars: Concrete Reinforcing Steel Institute, Sexta Edición, 1992
- Tratado de Construcción: H. Schmitt, Editorial G. Gili S.A.
- Tratado de Hormigón Armado: G. Franz, Editorial G. Gili S.A.



Capítulo 3

# Calificación de la Mano de Obra Prevención, Higiene y Seguridad Laboral

3.1 Calificación de la Mano de Obra

3.2 Guía General de Prevención, Higiene y Seguridad

3.3 Bibliografía y Referencias



### 3.1 CALIFICACION DE LA MANO DE OBRA

El objetivo de esta sección es realizar una descripción de las tareas, conocimientos fundamentales y experiencias, que deben tener las distintas categorías de especialistas en armaduras, ya que, para obtener mejores rendimientos y calidad de la mano de obra, especialmente la fabricación realizada con el método tradicional, vale decir no industrializado, y el armado e instalación, deben ser ejecutadas por trabajadores entendidos en el oficio, identificados como maestros enfierradores, dirigidos adecuadamente por sus Capataces y por el Jefe de Obra.

#### 3.1.1 Jefe de Obra

Es aquella persona que depende en forma jerárquica del profesional a cargo de la obra. Dirige, supervisa y trabaja directamente con los capataces de todas las especialidades y, se relaciona con el bodeguero y el encargado administrativo. Para obras de importancia debe tener la competencia exigida por el Decreto con Fuerza de Ley N° 458, Ley y Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

Realiza su trabajo en todos los lugares de la obra, así en el exterior o interior de la misma, como a nivel corriente, bajo o sobre el nivel de terreno, en altura y en trabajo de oficina; por lo tanto, debe ser una persona sana y apta para este tipo de trabajos.

Fundamentalmente, se le exige resistir bien el vértigo; tener equilibrio para el trabajo en andamios, don de mando, demostrar haber tenido personal a su cargo, personalidad acorde con sus funciones, conocer a cabalidad y en detalle, todos los oficios de la construcción y tener conocimiento global de las faenas.

a) Grado mínimo de instrucción:

- Expresión y Lenguaje: Debe saber leer y escribir,

expresarse claramente en forma oral y escrita, y poder redactar cartas, informes y documentos técnicos.

- Aritmética: Debe poder realizar las cuatro operaciones (suma, resta, multiplicación y división) y conocer las fracciones decimales y porcentajes. Puede usar tablas de cálculo y ábacos.
- Sistema de pesos y medidas: Debe conocer las medidas de peso, longitud, superficie y volumen y saber la conversión y equivalencia de medidas entre el sistema métrico decimal y el sistema inglés.
- Geometría: Debe saber las propiedades del triángulo y la circunferencia, la relación entre ángulos y figuras geométricas regulares, conocer las líneas rectas, paralelas, perpendiculares, curvas y pendientes, poder realizar bisección de ángulos y hacer el cálculo de superficies y volúmenes por métodos algebraicos y numéricos.

b) Conocimientos:

- Debe saber interpretar con claridad, los planos y especificaciones técnicas de estructuras de hormigón armado y los elementos que la componen, los planos de arquitectura y de especialidades, la simbología y representaciones gráficas complementarias.
- Debe tener nociones de dibujo técnico.
- En lo posible, debe tener conocimientos de computación a nivel de usuario (Word y Excel).
- Debe saber trazar los ejes y, en general, replantear una edificación.
- Debe comprender las diferentes técnicas, prácticas y métodos usuales, en cada etapa de la construcción.
- Debe conocer las propiedades físicas y químicas de todos los materiales que se usan habitualmente en la construcción.
- Debe conocer las características y especificaciones técnicas de los materiales y su aplicación en la construcción.
- Debe ser capaz de ubicar los diferentes materiales de una obra.
- Debe saber usar, correctamente, toda clase de equipos

y herramientas empleadas en cada actividad.

- Debe entender la terminología técnica empleada por los profesionales de la construcción.
- Debe saber manejar al personal, conocer de relaciones humanas y comprender el lenguaje o jerga empleado por los trabajadores de la construcción.
- Debe saber distribuir los trabajos y tareas del personal de acuerdo con la categoría y capacidad de cada uno.
- Debe dominar, con cierto grado de amplitud, la legislación laboral vigente.
- Debe tener conocimientos básicos de primeros auxilios.
- Debe saber implementar los sistemas de encofrados o moldajes, rampas, carreras y andamios y saber de su capacidad de resistencia y seguridad.
- Debe conocer, dominar y hacer cumplir las normas, instrucciones y exigencias de prevención, higiene y seguridad.
- Debe conocer los rendimientos de mano de obra de todos los trabajos que se realizan en una obra.
- Debe saber efectuar tratos y sus liquidaciones.
- Debe tener nociones de programación y control de avance de las obras (a lo menos interpretación de la Carta Gantt y Ruta Crítica).
- Debe estar al tanto del sistema administrativo imperante y de sus procedimientos, y saber usar los formularios de gestión y control.

c) Descripción de las funciones que realiza:

- Aclarar dudas a sus subordinados, referentes a la interpretación de planos y hacer croquis a mano alzada de los detalles constructivos.
- Programar y controlar todos los trabajos y actividades que se realizarán, durante el desarrollo de la obra.
- Programar la entrada de los subcontratistas de especialidades, en función del resto de las actividades.
- Ordenar el trabajo específico que deberán controlar los capataces y aclarar sus dudas.
- Solicitar las dosificaciones de los hormigones y morteros que se prepararán en obra.
- Controlar los stocks de materiales e insumos, existentes

en bodega, para evitar paralización de faena por falta de estos.

- Cubicar los materiales faltantes o imprevistos e informar oportunamente a quién corresponda para su compra.
- Preocuparse y exigir la entrega de los certificados de calidad de los materiales e insumos que correspondan a, por ejemplo, hormigones de planta, acero de refuerzo para hormigón, humedad de la madera, etc.
- Revisar los informes diarios de avance de obra, entregados por los capataces.
- Llevar un cuadro de avance diario de la obra.
- Determinar los rendimientos de mano de obra y el valor de los tratos.
- Indicar como deben construirse o instalarse, adecuadamente, los sistemas de moldajes o encofrado, los andamios, rampas y carreras para evitar accidentes.
- Controlar y exigir el cumplimiento del reglamento y normativas de higiene, seguridad y prevención de riesgos.
- Arbitrar los casos de apreciación de tratos, cuando surjan problemas de interpretación de estos.
- Resolver en primera instancia, casos de despidos y proponer soluciones a lo resuelto por el profesional a cargo de la obra.
- Informar, diariamente, al profesional a cargo de la obra, sobre las novedades ocurridas en terreno, del avance de las actividades y del cumplimiento del programa.

### 3.1.2 Capataz de Enfierradores

Es aquel trabajador que es dirigido y supervisado directamente por el Jefe de Obra; dirige a los maestros y ayudantes de la especialidad, otros capataces y eventualmente, subcontratistas.

Realiza su trabajo en el mismo ambiente y condiciones que el resto del personal de enfierradores.

Debe tener las mismas aptitudes y condiciones físicas de los maestros y ayudantes y corre los mismos riesgos de

caídas, pero se le exige como experiencia previa haber trabajado a lo menos durante 3 años como maestro de Primera Enfierrador.

a) Grado mínimo de instrucción:

- Expresión y Lenguaje: Debe saber leer y escribir y poder expresarse, claramente, en forma oral y por escrito.
- Aritmética: Debe poder realizar las cuatro operaciones (suma, resta, multiplicación y división) y conocer las fracciones, decimales y porcentajes.
- Sistema métrico decimal: Debe conocer las medidas de peso, longitud, superficie y volumen y saber efectuar la conversión de medidas del sistema inglés y sus equivalencias.
- Geometría: Debe conocer y trabajar con líneas rectas, paralelas, perpendiculares y curvas, saber de las propiedades básicas del triángulo, del círculo y de otras figuras y cuerpos geométricos.
- Debe saber hacer uso de fórmulas aritméticas, algebraicas y geométricas fundamentales y poder efectuar bisección de ángulos.

b) Conocimientos: Debe tener todos los conocimientos que se le exigen al maestro de Primera Enfierrador y, en particular:

- Debe saber interpretar los planos y especificaciones técnicas correspondientes a su oficio.
- Debe saber interpretar toda clase de simbologías de los planos correspondientes a su oficio.
- Debe conocer y aplicar, adecuadamente, los métodos y prácticas usuales del oficio.
- Debe conocer y saber usar los materiales y herramientas de su oficio.
- Debe conocer las diversas calidades de acero de refuerzo para hormigón y los distintos diámetros y longitudes comerciales de las barras de acero, disponibles en el mercado.
- Debe conocer y saber usar, correctamente, los equipos manuales y mecánicos para el corte y doblado de las barras.

- Debe conocer las tolerancias aceptadas, según norma, para el corte y fabricación de las armaduras; saber las medidas mínimas y las medidas recomendadas para los diámetros de doblado de los ganchos.
- Debe tener conocimientos básicos de dibujo técnico.
- Debe saber dibujar plantillas de trabajo.
- Debe entender el lenguaje o jerga utilizada por los trabajadores de su oficio.
- Debe conocer, cumplir y hacer cumplir las normas, instrucciones y exigencias de prevención, higiene y seguridad.
- Debe tener conocimientos básicos de primeros auxilios.
- Debe tener conocimientos generales sobre la legislación laboral vigente.

c) Descripción del trabajo que realiza:

- Organizar y dirigir todas las actividades de los enfierradores bajo su mando.
- Inspeccionar y verificar continuamente el estado de las escalas, andamios, rampas y carreras.
- Diseñar y confeccionar croquis explicativos de los detalles constructivos.
- Inspeccionar y verificar continuamente la calidad del trabajo de los trabajadores bajo su mando.
- Comprobar con anticipación la existencia de los materiales que se van a utilizar.
- Preparar listas especificadas del pedido de materiales y preocuparse de exigir que estén en la obra, en el momento oportuno.
- Mantener un control diario de los rendimientos de mano de obra de los trabajadores bajo su mando.
- Orientar y capacitar a los trabajadores bajo su mando, sobre el correcto uso y mantenimiento de los equipos, herramientas y materiales del oficio.
- Controlar, exigir y hacer cumplir las normas de higiene, seguridad y prevención de riesgos de los trabajadores bajo su mando.

### 3.1.3 Maestro de Primera Enfierrador

Es aquel trabajador que es dirigido por el Jefe de Obra y el Capataz; dirige a los ayudantes y maestros de segunda, trabaja con los maestros o cuadrilla de maestros de la especialidad, con ayudantes o solo.

Realiza su trabajo, en el mismo ambiente y condiciones que los maestros enfierradores de segunda y ayudantes; debe tener las mismas aptitudes y condiciones físicas, corre los mismos riesgos de accidentes, pero se le exige, como experiencia, el haber trabajado, a lo menos, durante 3 años como maestro de Segunda Enfierrador.

a) Grado mínimo de instrucción:

- Expresión y Lenguaje: Debe saber leer, escribir y poder expresarse, claramente, en forma oral y por escrito.
- Aritmética: Debe poder realizar las cuatro operaciones (suma, resta, multiplicación y división) y conocer las fracciones, decimales y porcentajes.
- Sistema métrico decimal: Debe conocer las medidas de peso, longitud, superficie y volumen.
- Geometría: Debe conocer y trabajar con líneas rectas, paralelas y perpendiculares, y saber de las propiedades básicas del triángulo y del círculo.

b) Conocimientos: Debe tener todos los conocimientos que se le exigen al maestro de Segunda Enfierrador y, en particular:

- Debe saber interpretar los planos correspondientes a su oficio.
- Debe saber interpretar toda clase de simbologías de los planos correspondientes a su oficio.
- Debe conocer y aplicar, adecuadamente, los métodos y prácticas usuales del oficio.
- Debe conocer y saber usar los materiales y herramientas de su oficio.
- Debe conocer las diversas calidades de acero de refuerzo para hormigón y los distintos diámetros y longitudes comerciales de las barras de acero disponibles en el mercado.
- Debe conocer y saber usar, correctamente, los equipos

manuales y mecánicos para el corte y doblado de las barras.

- Debe conocer las tolerancias aceptadas, según norma, para el corte y fabricación de las armaduras, saber las medidas mínimas y las medidas recomendadas para los diámetros de doblado de los ganchos.
- Debe tener conocimientos básicos de dibujo técnico.
- Debe saber dibujar plantillas de trabajo.
- Debe entender el lenguaje o jerga utilizada por los trabajadores de su oficio.
- Debe conocer y cumplir las normas, instrucciones y exigencias de prevención, higiene y seguridad.

c) Descripción del trabajo que realiza:

- Revisar el corte y estirado del acero en rollos, efectuado por los ayudantes.
- Dimensionar, cortar, grifar, armar y fijar las barras de acero, en los bancos de trabajo o sitio de instalación de las armaduras.
- Realizar todo tipo de doblados y formas o figuras de barras.
- Instalar todo tipo de armaduras, en conjunto con los ayudantes, como por ejemplo, columnas, vigas, cadenas, losas, etc.
- Hacer croquis que describen los detalles constructivos de las armaduras.
- Confeccionar las plantillas de trabajo.

### 3.1.4 Maestro de Segunda Enfierrador

Es aquel trabajador que es dirigido por el Jefe de Obra, por el Capataz o por el Maestro de Primera y que trabaja con los maestros o cuadrilla de maestros de la especialidad o solo.

Realiza su oficio, en el exterior e interior de la faena, tanto a nivel de terreno como sobre losas, andamios y en altura; está expuesto a caídas, golpes de corriente eléctrica de la cortadora y dobladora eléctrica y a heridas, ocasionadas por los materiales o herramientas, por lo tanto, debe ser una persona apta para este tipo de trabajos.

Se le exigen las mismas condiciones que las del ayudante, pero además habilidad manual y haber trabajado a lo menos durante 2 años como Ayudante Enfierrador.

a) Grado mínimo de instrucción:

- Expresión y Lenguaje: Debe saber leer y escribir y saber expresarse claramente.
- Aritmética: Debe poder realizar las cuatro operaciones (suma, resta, multiplicación y división) y conocer las fracciones, decimales y porcentajes.
- Sistema métrico decimal: Debe conocer las medidas de peso, longitud, superficie y volumen.
- Geometría: Debe conocer y trabajar con líneas rectas, paralelas y perpendiculares, y saber de las propiedades básicas del triángulo y del círculo.

b) Conocimientos: Debe tener todos los conocimientos que se le exigen al Ayudante Enfierrado, y en particular;

- Debe saber interpretar los planos correspondientes a su oficio.
- Debe tener conocimientos elementales de dibujo técnico.
- Debe conocer y aplicar los métodos y prácticas usuales del oficio, en su categoría.
- Debe conocer y usar, correctamente, los materiales, equipos y herramientas manuales que se emplean en su oficio.
- Debe entender el lenguaje o jerga utilizado por los trabajadores de su oficio.
- Debe conocer y cumplir las normas, instrucciones y exigencias de prevención, higiene y seguridad.

c) Descripción del trabajo que realiza:

- Revisar el corte y enderezado del acero en rollos, efectuado por los ayudantes.
- Enderezar, dimensionar, cortar, grifar, amarrar y armar las barras de acero, en los bancos de trabajo o sitio de instalación de las armaduras.
- Doblar barras, estribos y otras formas o figuras de barras.
- Armar e instalar las armaduras en conjunto con los ayudantes.

- Hacer croquis que describan los detalles constructivos de las armaduras.

### 3.1.5 Ayudante de Enfierrador

Es aquel trabajador que es dirigido por el Jefe de Obra, Capataz o subcontratista de enfierradura y por los Maestros de Primera y Segunda. Trabaja con los maestros y otros ayudantes de la especialidad.

Realiza su oficio en la cancha de enderezado y corte y trabaja al exterior e interior de la faena, tanto a nivel de terreno como sobre andamios y en altura; está expuesto a caídas y a golpes de corriente eléctrica de la cortadora y dobladora; por lo tanto, debe ser una persona apta para este tipo de trabajos.

Se exige que sea una persona sana, resistente y capaz de levantar elementos pesados y efectuar movimientos constantes de todo el cuerpo, tener una buena tolerancia al vértigo y equilibrio para el trabajo en andamios, tener habilidad manual y haber trabajado a lo menos, durante 2 años en faenas de construcción.

a) Grado mínimo de instrucción:

- Debe saber leer y escribir, sumar, restar, multiplicar y dividir y conocer las medidas de longitud.

b) Conocimientos:

- Debe conocer los diversos tipos de materiales y saber usar, con destreza, los equipos y herramientas de la especialidad.
- Debe saber interpretar los croquis y detalles de las armaduras.
- Debe comprender la jerga y el lenguaje empleado por los trabajadores de su oficio.
- Debe conocer y cumplir las normas, instrucciones y exigencias de prevención, higiene y seguridad.

c) Descripción del trabajo que realiza:

- Acarrear materiales y pasar herramientas a los maestros.
  - Medir, conforme a las indicaciones del maestro y ayudar a trazar.
  - Enderezar el acero en rollos y dimensionar y cortar las barras.
  - Ayudar a armar e instalar las armaduras en conjunto con los maestros.
- Instalar las fijaciones de alambre negro para las barras (amarras) y las conexiones mecánicas, en conjunto con los maestros.
  - Mantener limpios los equipos y herramientas y el lugar de trabajo.

## 3.2 GUIA GENERAL DE PREVENCIÓN, HIGIENE Y SEGURIDAD

### 3.2.1 Riesgos y Prevenciones

Dadas las características de los trabajos realizados en la construcción de una obra, a continuación se detallan los riesgos más representativos a los que estarán expuestos los trabajadores, al ejecutar sus labores en los distintos frentes de trabajo y las prevenciones básicas que se deben tomar, para evitar dichos riesgos.

#### a) Ruido industrial.

Consecuencias: Disminución de la capacidad auditiva.

Prevención : En aquellos lugares, donde no ha sido posible eliminar o controlar el riesgo, los trabajadores deberán usar protectores auditivos.

#### b) Movimiento de materiales.

Consecuencias: Lesiones por esfuerzo excesivo, heridas, fracturas y caídas.

Prevención: Para el control de riesgos, se deben considerar las características del material, tales como peso y forma. Si es necesario, se deberá complementar el uso con elementos mecánicos auxiliares, además, usar los elementos de protección personal como casco, guantes, zapatos de seguridad, etc.

#### c) Proyección de partículas.

Consecuencias: Lesiones por cuerpos extraños, conjuntivitis, erosiones, quemaduras, etc.

Prevención: En las actividades que existan proyecciones de partículas, los supervisores deben asegurarse que las máquinas y equipos cuenten con protecciones y que éstas, permanezcan en su lugar y en óptimas condiciones. A su vez, los trabajadores deberán usar, en forma permanente los equipos de protección personal, como por ejemplo,

protectores visuales y faciales.

#### d) Caídas.

Consecuencias: Esguinces, heridas, fracturas, contusiones o lesiones múltiples.

Prevención: Para el control de los riesgos de este tipo de accidentes, es preciso construir, armar, fijar y desarmar los andamios, rampas, escalas y carreras, de acuerdo a las normas establecidas, siendo responsabilidad del Jefe de Obra y de los Capataces, el inspeccionar y supervisar, permanentemente el estado en que se encuentren.

Además, los trabajadores que realicen su actividad en altura, deberán estar unidos a una cuerda de vida con la cola fijada a un cinturón de seguridad tipo arnés. Por último, será responsabilidad de todos los trabajadores, el mantener las áreas de trabajo limpias y libres de materiales o elementos extraños que puedan ocasionar caídas.

### 3.2.2 Obligaciones

Todos los trabajadores de la construcción están obligados a tomar cabal conocimiento de las disposiciones y medidas de higiene y seguridad siguientes:

- Respetar las normas básicas de higiene en los lugares de trabajo, a fin de prevenir y evitar enfermedades, contaminación, etc.
- De acuerdo con las disposiciones legales vigentes, las empresas constructoras están obligadas a proteger a todo su personal de los riesgos del trabajo, entregándole al trabajador, cuya labor lo requiera, sin costo alguno, pero a cargo suyo y bajo su responsabilidad, los elementos de protección personal del caso, sin embargo, el costo podrá ser descontado de su finiquito, si el trabajador no hiciere devolución de ellos, en caso de término anticipado de la relación laboral.
- Los guantes, respiradores, máscaras, gafas, botas,

zapatos de seguridad u otros elementos de protección personal, serán como su nombre lo indica, de uso personal, estando prohibido su préstamo o intercambio por motivos de índole higiénica.

- Los trabajadores deberán usar, obligatoriamente, el equipo de protección cuando sus labores así lo requieran, y será de su responsabilidad el mantenimiento, conservación y el dar un buen uso a estos elementos.
- Los elementos de protección personal no pueden ser vendidos, canjeados o sacados fuera del lugar de trabajo, salvo que el tipo de trabajo así lo requiera o lo autorice el encargado de la obra.
- En caso de deterioro, pérdida culpable o intencional, para solicitar la reposición de nuevos elementos de protección personal, el trabajador estará obligado a devolver los que tenga en su poder.
- Todo trabajador deberá informar en el acto, a su jefe inmediato, y solicitar su reposición, si su equipo de protección personal ha sido cambiado, sustraído, extraviado o deteriorado.
- Los Jefes de Obra y Capataces serán directamente responsables de la supervisión y control del uso correcto y oportuno de los elementos de protección personal y del cumplimiento, por parte de los trabajadores, de las normas y exigencias de la reglamentación.
- Los trabajadores deberán preocuparse y cooperar con el mantenimiento y buen estado de funcionamiento y uso de las maquinarias, equipos e instalaciones en general, tanto las destinadas a la producción como las destinadas a higiene y seguridad.
- Todos los trabajadores deberán preocuparse de mantener su área de trabajo limpia, en orden y despejada de obstáculos, con el fin de evitar accidentes.
- Todo trabajador estará obligado a informar, a su jefe inmediato, acerca de las anomalías que detecte o cualquier elemento defectuoso que note en su trabajo, previniendo, con ello, situaciones peligrosas.
- Todo trabajador que maneje herramientas, maquinarias o equipos defectuosos, en mal estado operativo o no adecuado para el trabajo que está realizando, estará obligado de informar, a su jefe inmediato, quién deberá ordenar la reposición.
- Al término de cada jornada, o en caso de abandono momentáneo del lugar de trabajo, el operario encargado de una máquina o equipo, deberá desconectar el sistema eléctrico que la impulsa para prevenir cualquier imprudencia de terceros o crear condiciones inseguras.
- Todo trabajador que sufra un accidente, por leve que sea éste, deberá comunicarlo a su jefe inmediato, quien tendrá la responsabilidad de realizar una investigación del mismo e informarlo al departamento de personal de la empresa.
- Todo trabajador accidentado debe ser enviado al Policlínico o Posta de Urgencia más inmediata de la zona donde ocurrió el accidente.
- Ningún trabajador accidentado podrá volver a incorporarse al trabajo si no presenta, a quien corresponda, el certificado de alta que otorga el médico u organismo tratante.
- Todo trabajador está obligado a colaborar en la investigación de los accidentes que ocurran en la faena; igualmente, estará obligado a declarar, en forma completa y real, los hechos presenciados o de los que tenga noticia, a quien corresponda cuando así lo solicite.
- Todo trabajador que padezca de alguna enfermedad, o que note que se siente mal, si el malestar afecta su capacidad y, por ende, su seguridad y la de los demás trabajadores, deberá comunicarlo a su jefe inmediato, para que éste proceda a tomar las medidas que el caso requiera.
- Si se sospechan riesgos de enfermedad profesional o de un estado de salud que ocasione una situación peligrosa en algún trabajador, éste tiene la obligación de someterse a los exámenes médicos que dispongan sus servicios de salud, en la fecha, hora y lugar que éstos determinen, considerando que el tiempo empleado en el control, debidamente comprobado, es tiempo efectivamente trabajado, para los efectos legales.
- Los letreros, avisos y afiches de seguridad, deberán ser leídos por todos los trabajadores, quienes deberán

cumplir con sus instrucciones, además de evitar e impedir su destrucción.

- Los trabajadores están obligados a conocer la ubicación exacta de los extintores de incendio, en las instalaciones, oficinas, bodega y lugares de trabajo, como así, conocer la forma de operarlos, siendo al respecto, el deber de todo jefe, velar por la instrucción del personal.
- El acceso a los extintores de incendio deberá estar despejado de obstáculos y aquéllos, ubicados en lugares visibles.

### 3.2.3 Recomendaciones

Las siguientes son algunas recomendaciones generales de prevención, higiene y seguridad, dirigidas particularmente a los enfierradores, que se ha creído importante reiterar y destacar.

- Todos los trabajadores deben usar overol de mezclilla o ropa adecuada de trabajo, guantes, cascos y zapatos de seguridad con puntas de acero.
- En lo posible, los trabajadores deben evitar el uso de cinturones, trabas o bolsillos en su ropa de trabajo, para evitar el riesgo que las barras o armaduras se enganchen en ellos.
- Los trabajadores deben tomar la precaución de introducir el extremo de los guantes, dentro de las mangas del overol o de la camisa.
- El personal dedicado a fabricar armaduras siempre debe usar, protectores para los ojos.
- Dos trabajadores que transporten, manualmente, un atado de barras, deben soltarlas, exactamente, al mismo tiempo.
- A los trabajadores se les recomienda flexionar las rodillas en posición de descanso, cuando levanten pesos superiores a los normales, para evitar lesiones.
- Todo trabajador que realice su actividad en altura, deberá estar unido a una cuerda de vida, con la cola fijada a un cinturón, tipo arnés de seguridad.

- Durante el transporte, armado e instalación de las armaduras, se deberá tener especial cuidado con el paso de líneas de alimentación eléctrica.
- Se deberán tomar todas las precauciones de seguridad, en cuanto a jamás descargar pesos sobre losas o elementos de hormigón no fraguados, o sobre encofrados que no hayan sido verificados en su resistencia.
- Cuando el transporte del material se haga en forma manual, y para evitar accidentes, hay que tener especial cuidado al transitar por las escalas, andamios, carreras, rampas y áreas abiertas no protegidas.
- Será responsabilidad de todos los trabajadores, mantener las áreas de trabajo limpias y libres de restos de materiales, con el objeto de evitar caídas u otro tipo de accidentes.

### 3.2.4 Prohibiciones

Los trabajadores deberán tomar conocimiento que, en general, les estará prohibido lo siguiente:

- Entrar o circular en todo recinto de trabajo especialmente definido como peligroso, sin estar debidamente autorizado para ello.
- Soldar, cortar o calentar cerca de elementos o envases, que contengan algún tipo de aceite o combustibles inflamables.
- Fumar, en los lugares que se hayan señalado como prohibidos.
- Encender fuego cerca de elementos combustibles inflamables, tales como pinturas, diluyentes, elementos químicos o botellas de gases comprimidos, aún cuando éstos se encuentren vacíos.
- Tomar bebidas alcohólicas o consumir drogas, cualquiera sea su naturaleza.
- Tratarse, por cuenta propia las lesiones que haya sufrido en algún accidente, remover cuerpos extraños de sus ojos o de algún accidentado, sin tener conocimiento para ello.

- Mover a algún accidentado si éste ha sufrido una caída y se encuentra sin conocimiento.
- Romper, rayar, retirar o destruir avisos, carteles, afiches, instrucciones o reglamentos acerca de la seguridad e higiene.
- Trabajar sin el debido equipo de seguridad o sin las ropas de trabajo que la empresa proporciona.
- Apropiarse o usar elementos de protección personal de otro trabajador.
- Viajar en vehículos o trasladarse en máquinas, que no estén diseñadas y habilitadas especialmente para el transporte de personas.
- Efectuar trabajos u operaciones sin ser el encargado de ellas o el autorizado para hacerlas.
- Esmerilar, cortar o doblar barras sin gafas de protección.
- No usar el casco de seguridad y otros implementos de protección personal, dentro de los recintos de las faenas u otros lugares que se exijan y se requieran.
- Trabajar en altura sin usar el cinturón de seguridad y cola unida al cable de vida.
- Dejar caer objetos desde la altura, habiendo tránsito de personas.

### 3.2.5 Manejo de Cargas con Grúa

A modo de información, damos a conocer las señales manuales para el control del alzamiento y movimiento de cargas mediante el uso de grúa, que son recomendadas y reconocidas por la práctica internacional.

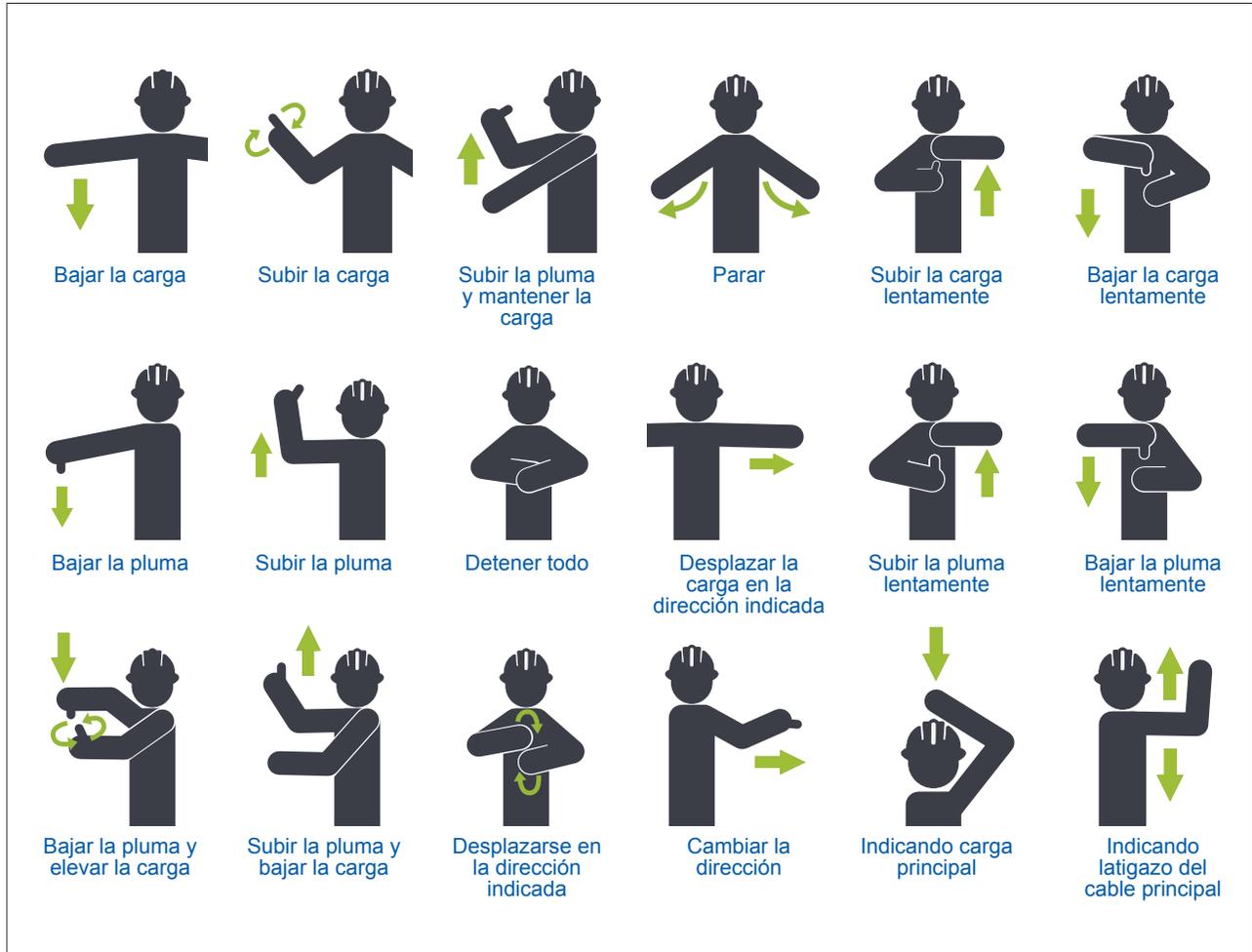


Figura 3.2.5: Señales manuales para el movimiento de cargas con grúa.

### 3.3 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CAPÍTULO 3

- Capacitación Profesional Sector Construcción: Corporación de Capacitación Cámara Chilena de la Construcción, Segunda Edición, 1992
- Guía General Reglamento de Orden, Higiene y Seguridad Laboral: Mutual de Seguridad Cámara Chilena de la Construcción, 1991
- Placing Reinforcing Bars: Concrete Reinforcing Steel Institute, Sexta Edición, 1992

## Capítulo 4

# Fabricación de las Armaduras

- 4.1 Introducción
- 4.2 Equipos, Herramientas y Maquinaria
- 4.3 Preparación
- 4.4 Corte de Barras
- 4.5 Tolerancias de Corte
- 4.6 Doblado de Barras
- 4.7 Medidas Mínimas para Barras con Ganchos
- 4.8 Tolerancias de Fabricación
- 4.9 Rendimiento para la Fabricación de Armaduras
- 4.10 Bibliografía y Referencias



## 4.1 INTRODUCCION

Tal como lo indica la norma Oficial NCh211 Of.2012, el proceso de fabricación de las armaduras contempla las actividades que agrupan desde la recepción de las materias primas, su transporte y almacenamiento, hasta la preparación del material, el corte y el doblado de las barras. Es importante que este proceso de fabricación sea programado y coordinado, en forma continua, de manera tal que las diferentes piezas terminadas, tanto en dimensiones y formas según lo especificado en los planos de estructura, estén disponibles cuando sean requeridas para su armado e instalación. Esto permitirá no atrasar la

colocación del encofrado y el vaciado del hormigón.

La fabricación de las armaduras puede ser realizada mediante el método denominado tradicional en terreno, con mano de obra directa de la empresa constructora o subcontratada, o a través de alguna de las empresas industriales especializadas en el corte y doblado, empresas que generalmente incluyen el suministro del acero y la instalación de las armaduras como parte de su servicio.

Las ventajas para la fabricación, industrializada respecto de la manual tradicional, se presentan en la última sección de este Capítulo.

## 4.2 EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MAQUINARIA

Los equipos, herramientas y maquinarias recomendadas y necesarias para la fabricación de las armaduras, tanto para el método tradicional como para el industrializado, son habitualmente las individualizadas en la Tabla 4.2.

**Tabla 4.2**

**Equipos, herramientas y maquinarias para la fabricación de armaduras**

Método tradicional en obra	Sistema industrializado en planta de Corte y Doblado (C&D)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guillotina o cizalla manual o automática.</li> <li>• Napoleones de 30" y cortafíos.</li> <li>• Combos y martillos de peña de 6 y 10 libras.</li> <li>• Metro enfierrador y huinchas metálicas de 3 y 7 m de largo.</li> <li>• Huinchas de lona de 20 m de largo.</li> <li>• Panes de tiza de diferentes colores para marcar los cortes.</li> <li>• Guaípe y paños de limpieza para el acero.</li> <li>• Grifas y trozos de tubos de acero de diámetro interior de 1/2" a 1" para el doblado manual de las barras.</li> <li>• Bancos de corte con reglas incorporadas y graduadas de 1 en 1 centímetros.</li> <li>• Bulones de acero de diferentes diámetros o polines para el doblado de las barras.</li> <li>• Dobladora motorizada transportable.</li> <li>• Gage para verificar los diámetros de doblado.</li> <li>• Overol de mezclilla y guantes de cuero de descarné o ropa de trabajo adecuada.</li> <li>• Zapatos de seguridad con punta de acero.</li> <li>• Casco de seguridad, protectores faciales, para los ojos y oídos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puente grúa y montacargas.</li> <li>• Hardware, software y transmisión de datos.</li> <li>• Máquina y carro automático de medición y corte.</li> <li>• Máquina automática para el enderezado y corte del acero suministrado en rollos.</li> <li>• Estribadora automática direccional para la fabricación de estribos, que puede incluir un ordenador electrónico.</li> <li>• Máquina soldadora para armaduras redondas de postes, pilotes in situ e hincados, columnas y vigas.</li> <li>• Máquina soldadora de mallas.</li> <li>• Devanadores o bobinas porta rollos.</li> <li>• Robot receptor de estribos con brazos rotatorios.</li> <li>• Vías de rodillos motorizadas de alimentación.</li> <li>• Centro de doblado de barras, automático y computarizado.</li> <li>• Recogedor de barras rectas, conectable a la cortadora automática o máquina de enderezado.</li> <li>• Rack de recepción para las piezas terminadas.</li> <li>• Centro de embalaje y emisión de tarjetas de identificación del producto terminado.</li> <li>• Ropa de trabajo adecuada y casco de seguridad</li> <li>• Zapatos de seguridad con punta de acero.</li> <li>• Casco de seguridad, protectores faciales, para los ojos y oídos.</li> </ul>

### 4.3 PREPARACION

La preparación del material se compone básicamente del enderezado y la limpieza del acero.

Se entiende por enderezado, la actividad que significa desenrollar el acero suministrado en rollos para obtener barras rectas, mediante algún sistema manual o mecánico, tal como se muestra con la máquina en la Figura 4.3.1. En ningún caso el enderezado de rollos se hará por estiramiento. Este se debe hacer exclusivamente con máquinas de enderezado de rodillos que después del enderezado sigan cumpliendo con los requisitos de las normas NCh204 o NCh3334.

Para corregir pequeñas y eventuales dobladuras en las barras rectas, producidas durante la carga o descarga del material, o por el enderezado o corte, éstas se pueden corregir puntual y controladamente mediante un combo, martillo o el revés de la grifa, con la barra colocada sobre el banco de trabajo y cuidando de no dañar los resaltes. No se permite usar barras que ya han sido dobladas y se les vuelve a enderezar porque las propiedades mecánicas de la barra se alteran y no se cumplirá con los requisitos de las normas NCh204 o NCh3334. Esta operación debe hacerse con los elementos de protección adecuados, en especial gafas protectoras para los ojos, debido a la proyección eventual de escamas sueltas.

La limpieza consiste en retirar aceites, grasas, barro, lechada de cemento, costras, escamas y herrumbre suelta adherida al acero. La experiencia ha demostrado que delgadas, pero firmes

y superficiales películas de oxidación o escamas producto de la laminación, color gris acero o gris oscuro, no son dañinas para las barras de acero, más bien serían beneficiosas, ya que aumentarían la adherencia con el hormigón. A esta misma conclusión ha llegado el Instituto Chileno del Acero (ICHA), luego del análisis de diversas investigaciones realizadas en Chile por el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile, y en el extranjero por el ACI, American Concrete Institute.

Ya que las escamas sueltas y la herrumbre no permiten una buena adherencia, estas deben ser retiradas mediante escobillas de acero o raspadores, manuales o mecánicos o mediante chorro de arena. No es necesario lograr una superficie pulida, sólo basta conseguir la eliminación de estos elementos.

Las grasas o aceites que manchan ocasionalmente las barras, deben ser limpiadas con un guaipe o paño empapado con algún detergente industrial soluble en agua. El barro se limpiará, simplemente, con un chorro de agua pura, antes de instalar las armaduras. Tampoco es aceptable las barras sucias con lechada de cemento que pueda afectar la adherencia entre el hormigón y las barras. No deben aceptarse barras con pintura adherida en ninguna parte de la barra.

Respecto a la oxidación de las barras, en la sección 6.2.3 de este Manual, se presenta una síntesis del fenómeno o mecanismo que ocasiona su oxidación, los tipos de limpieza y algunas recomendaciones básicas para evaluarla cualitativa y cuantitativamente.



Figura 4.3.1: Máquina para el enderezado del acero en rollos.

#### 4.4 CORTE DE BARRAS

Conforme a lo establecido por el "ACI Detailing Manual" del Comité ACI 315, los cortes de las barras deben efectuarse en frío, siempre con las barras en ángulo recto con respecto al eje longitudinal de las barras, con las perfectamente enderezadas y, de acuerdo con los largos indicados en los planos, tal como lo muestra la fotografía de la Figura 4.4.1.

En el método tradicional, las barras de diámetros 6 a 10 milímetros se cortan, generalmente, con napoleones y las

de mayores dimensiones, mediante cortafíos, cizallas o guillotinas. No es recomendable el uso de equipos oxicorte por el efecto térmico que altera las propiedades mecánicas del acero, ni el uso de esmeriles angulares (galleteras), por el costo que significan los discos y lo lento del proceso.

Cuando se requiera una alta producción o cortar barras de grandes diámetros, es corriente el uso de cizallas motorizadas que son capaces de cortar varias barras a la vez. Algunos modelos tienen prestaciones para barras con resaltes sobre los 36 milímetros de diámetro, en acero grado A630, a razón de 60 cortes por minuto (Figura 4.4.2).



Figura 4.4.1: Corte de las barras.

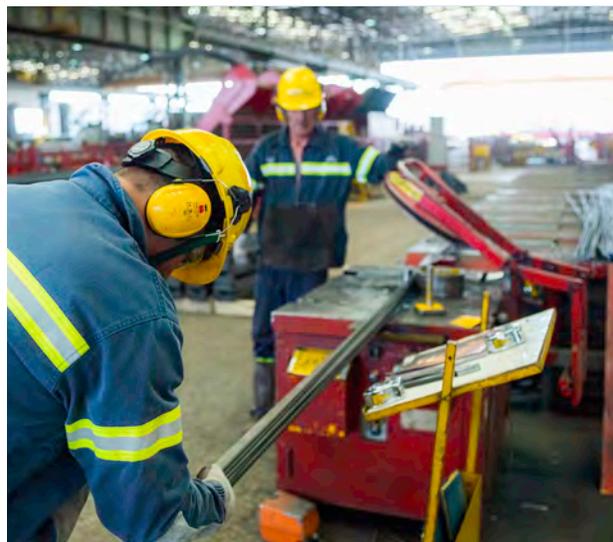


Figura 4.4.2: Cizallas motorizadas.

## 4.5 TOLERANCIAS DE CORTE

En cuanto a las tolerancias de corte que son aceptadas en la norma NCh211.Of2012 y recomendadas por el Comité ACI 315, éstas se pueden resumir tal como lo indica la Tabla 4.5 que sigue.

Tabla 4.5 Tolerancias para el corte de las barras		
Tipo de barra	Diámetro $d_n$ mm	Tolerancias mm
Barras rectas	6 a 16	$\pm 10$ (para largo extremo-extremo de barra $\leq 1,0$ m)
	6 a 16	$\pm 20$ (para largo extremo-extremo de barra $> 1,0$ m)
	18 a 36	$\pm 20$
	40	$\pm 50$
Barras con ganchos y dobleces	8 a 22	Extremo-Extremo de los ganchos $\pm 12$
	25 a 36	Extremo-Extremo de los ganchos $\pm 25$
	8 a 36	Todo el alto, o parte de la barra $\pm 12$
Espiral o amarra circular	8 a 25	Dimensiones Extremas-Extremas $\pm 12$
Estribos	8 a 25	Dimensiones Extremas-Extremas $\pm 12$

## 4.6 DOBLADO DE BARRAS

### 4.6.1 Introducción

De acuerdo con lo establecido en las normas vigentes, toda armadura debe doblarse en frío, a menos que el ingeniero estructural permita otra cosa y ninguna armadura debe doblarse si está parcialmente embebida en el hormigón, excepto cuando así se indique en los planos de diseño o lo permita el ingeniero estructural.

No obstante, las condiciones de la obra pueden hacer necesario doblar barras que se encuentran embebidas en el hormigón, en cuyo caso el ingeniero deberá determinar si las barras se pueden doblar en frío o si excepcionalmente es necesario calentarlas. Los dobleces deben ser graduales y deben enderezarse a medida que se requiera.

Como regla general, se recomienda que los dobleces de las barras con nervios longitudinales sean efectuados con alguno de ellos en contacto normal con los bulones o polines de doblado, es decir no es recomendable realizar el doblez por los resaltes.

Si se detectaran casos de agrietamiento o rotura, sobretodo en el caso de barras de grandes diámetros, resulta aceptable el calentamiento previo de las barras, a una temperatura que no exceda los 420° C, siempre y cuando se cuente con la autorización anticipada del ingeniero calculista. Las barras que se quiebran durante el doblado o enderezado, pueden ser reutilizadas si son traslapadas fuera de la zona de doblado, pero sin la zona fisurada.

En las barras embebidas, el calentamiento debe efectuarse de manera que no ocasione daños al hormigón. Si el área de doblado se encuentra, aproximadamente, a 15 centímetros del hormigón, puede ser necesario utilizar algún sistema de protección. El calentamiento de las barras debe ser controlado por medio de crayones térmicos o por cualquier otro medio adecuado. Las barras calentadas no

deben enfriarse por medios artificiales (con agua o aire frío a presión), sino hasta que su temperatura haya descendido por lo menos a 315 °C.

Tal como se muestra en el ejemplo de la Figura 4.6.1.1, empleando un trozo de cañería o tubo de acero como palanca y grifas, el doblado manual de las barras se hace en bancos diseñados para este efecto, los cuales tienen una serie de perforaciones donde son instalados bulones de acero de diferentes diámetros, o polines distribuidos apropiadamente con el objeto de definir los diámetros de curvatura deseados.



Figura 4.6.1.1: Doblado manual de barras.

En el método industrializado, existen máquinas automáticas direccionales para el doblado de las barras rectas y máquinas para fabricar estribos, como la que se muestra en la Figura 4.6.1.2, que son capaces de doblar varias barras a la vez y, en algunos modelos, barras con resaltes



Figura 4.6.1.2: Dobladora y Estribadora Automática.

de diámetros superiores a 36 milímetros en acero grado A630. Generalmente estos equipos tienen incorporado como accesorio un procesador que permite programar una secuencia de hasta 30 ángulos diferentes con ajuste cada  $1^\circ$ . Estas máquinas tienen una alta productividad y son sumamente precisas.

Para el caso de utilizar el método tradicional de fabricación, es aconsejable que la faena de doblado sea realizada en un lugar lo más cercano posible a la actividad de corte de las barras, y que dicho sitio, sea lo suficientemente amplio, como para permitir el armado de algunos elementos. También, es conveniente contar con un lugar especial en donde se puedan guardar los equipos, herramientas, planos, etc.

#### 4.6.2 Ganchos Normales (o estándar)

En 2.1.2 se entrega una definición del gancho normal. En el Código de Diseño de Hormigón Armado ACI 318 y la NCh211.Of2012, el término gancho normal o estándar se emplea con uno de los significados siguientes:

- a) Doble de  $180^\circ$  más una extensión "K", de 4 veces el diámetro  $d_n$  de la barra, hasta el borde libre o extremo del gancho, pero no menor de 65 mm.
- b) Doble de  $90^\circ$  más una extensión "K", de 12 veces el diámetro  $d_n$  de la barra, hasta el borde libre o extremo del gancho.
- c) Para estribos y ganchos de amarra normales:
  - Barras  $d_n$  16 y menores, doble de  $90^\circ$  más una extensión "K", de 6 veces el diámetro  $d_n$  de la barra, hasta el borde libre o extremo del gancho.
  - Barras  $d_n$  18 a  $d_n$  25, doble de  $90^\circ$  más una extensión "K", de 12 veces el diámetro  $d_n$  de la barra, hasta el borde libre o extremo del gancho.
  - Barras  $d_n$  25 y menores, doble de  $135^\circ$  más una extensión "K", de 6 veces el diámetro  $d_n$  de la barra, hasta el borde libre o extremo del gancho.
- d) Ganchos sísmicos para estribos, cercos o trabas:
  - Doble de  $135^\circ$  más una extensión "K", de 6 veces el diámetro  $d_n$  de la barra, hasta el borde libre o extremo del gancho.
  - Para cercos circulares, doble no menor a  $90^\circ$  más una extensión "K", de 6 veces el diámetro  $d_n$  de la barra, hasta el borde libre o extremo del gancho.

### 4.6.3 Diámetros Mínimos de Doblado

Según el Código ACI 318, los diámetros de doblado para las barras con ganchos normales, estribos normales, ganchos de amarras y amarras cerradas o cercos, no deben ser menores que los valores indicados en la Tabla 4.6.3.1, de otro modo las barras se someterán a esfuerzos excesivos

que pueden llegar a ocasionar quiebres, grietas o fisuras e inutilizarlas, debido a las tensiones a que es sometido el acero.

Todos los dobleces normales de las barras, se describen en términos del diámetro interior de doblado, ya que éste resulta más fácil de medir que el radio de dicho doblado.

**Tabla 4.6.3.1**

**Ángulos de doblado, diámetros mínimos y extensiones para barras y estribos con ganchos (ACI 318)**

Elemento	Ángulo de doblado	$d_n$ Barra mm	D mínimo de doblado mm	Extensión K mm
Gancho normal (estándar)	90°	8	$5d_n$	$12d_n$
		10 a 25	$6d_n$	
		28 a 36	$8d_n$	
		40	$10d_n$	
	180°	8	$5d_n$	$4d_n$ y mínimo 40 mm
		10 a 25	$6d_n$	$4d_n$ y mínimo 65 mm
		28 a 36	$8d_n$	
		40	$10d_n$	
Gancho para estribos, amarras, gancho sísmico y estribos cerrados	90°	8	$4d_n$	$> 6d_n$ y mínimo 50 mm
		10 a 16		$> 6d_n$ y mínimo 75 mm
		18 a 25		$12d_n$
	135°	8	$4d_n$	$> 4d_n$ y mínimo 50 mm
		10 a 16		$> 6d_n$ y mínimo 75 mm
		18 a 25		
	180°	8	$4d_n$	$> 4d_n$ y mínimo 50 mm
		10 a 16		$> 4d_n$ y mínimo 65 mm
		18 a 25		

Aceros AZA dispone de plantillas calibres para el correcto doblado de las barras de refuerzo AZA, según la norma NCh211 y que facilitan el control de calidad de fabricación de las armaduras. Pueden solicitarse al Departamento Técnico de AZA sin costo. En los vínculos <https://www.aza.cl/productos/catalogos-y-manuales/> se pueden descargar estas plantillas y en <https://www.aza.cl/productos/trazabilidad/tutoriales-aza/> se dispone de un tutorial para el uso de las plantillas.



En el sitio [aza.cl](https://www.aza.cl) se dispone de un tutorial para el uso correcto de las plantillas calibre en el doblado de barras de refuerzo AZA.

**4.7 MEDIDAS MINIMAS PARA BARRAS CON GANCHOS**

Conforme a lo señalado en la sección 4.6.2 y en la Tabla 4.6.3 en las secciones siguientes se incluyen las medidas mínimas,

expresadas en milímetros, para las barras de refuerzo para hormigón con ganchos normales (estándar) de 90° y 180°, estribos normales y ganchos de amarra de 90° y 135° y ganchos sísmicos para estribos continuos, cercos o trabas con doblez de 135° y cercos circulares con doblez de 90°.

**4.7.1 Barras con Ganchos Normales (estándar)**

<b>Tabla 4.7.1.1</b>					
<b>Medidas mínimas para barras con Ganchos Normales (estándar) – Doble de 90°</b>					
<b>d<sub>n</sub> Barra</b> mm	<b>D</b> mm	<b>K</b> mm	<b>H</b> mm	<b>L (*)</b> mm	<b>Doble de 90°</b>
10	60	120	160	183	
12	72	144	192	219	
16	96	192	256	293	
18	108	216	288	329	
22	132	264	352	402	
25	150	300	450	457	
28	224	336	476	556	
32	256	384	544	635	
36	288	432	612	715	
40	400	480	720	857	

(\*) La longitud total del gancho (L) está medida por la cara exterior de la barra.

<b>Tabla 4.7.1.2</b>					
<b>Medidas mínimas para barras con Ganchos Normales (estándar) – Doble de 180°</b>					
<b>d<sub>n</sub> Barra</b> mm	<b>D</b> mm	<b>K</b> mm	<b>H</b> mm	<b>L (*)</b> mm	<b>Doble de 180°</b>
10	60	65	80	191	
12	72	65	96	216	
16	96	65	128	266	
18	108	72	144	298	
22	132	88	176	364	
25	150	100	200	414	
28	224	112	280	552	
32	256	128	320	631	
36	288	144	360	709	
40	400	160	480	914	

(\*) La longitud total del gancho (L) está medida por la cara exterior de la barra.

#### 4.7.2 Estribos Normales y Ganchos de Amarra – Doble de 90°

**Tabla 4.7.2.1**

Medidas mínimas para Estribos Normales y Ganchos de Amarra – Doble de 90°

$d_n$ Barra mm	D mm	K mm	H mm	L (*) mm	Doble de 90°
8	32	48	72	86	
10	40	60	90	107	
12	48	72	108	129	
16	64	96	144	171	
18	108	216	288	329	
22	132	264	352	402	
25	150	300	400	457	

(\*) La longitud total del gancho (L) está medida por la cara exterior de la barra.

**Tabla 4.7.2.2**

Medidas mínimas para Estribos Normales y Ganchos de Amarra – Doble de 135°

$d_n$ Barra mm	D mm	K mm	H mm	L (*) mm	Doble de 135°
8	32	48	75	105	
10	40	60	94	131	
12	48	72	112	157	
16	64	96	150	209	
18	108	108	199	278	
22	132	132	244	339	
25	150	150	277	386	

(\*) La longitud total del gancho (L) está medida por la cara exterior de la barra.

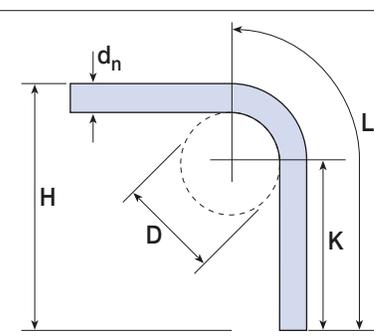
### 4.7.3 Ganchos Sísmicos

De acuerdo con lo establecido por la NCh211.Of2012 y el Código de Diseño de Hormigón Armado ACI 318, se debe considerar que para amarras cerradas y amarras enrolladas en forma continua definidos como cercos, se necesita un

doblez de 135°, excepto que los cercos circulares deben tener un doblez  $\geq$  a 90°. Los ganchos deben tener una extensión "K" de al menos 6 veces el diámetro  $d_n$  de la barra, pero no menor a 75 mm (Ver definiciones de cerco y gancho sísmico en la sección 2.1.2).

**Tabla 4.7.3.1**

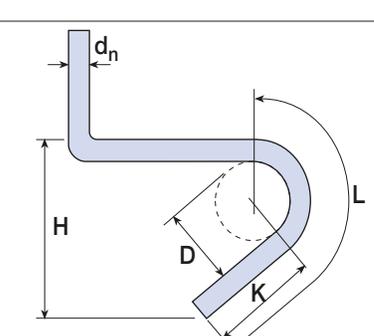
Medidas mínimas para Ganchos Sísmicos en Cercos Circulares y Trabas – Doble de 90°

$d_n$ Barra mm	D mm	K mm	H mm	L (*) mm	Doble de 90°
8	48	75	107	125	
10	60	75	115	138	
12	72	75	123	150	
16	96	96	160	197	
18	108	108	180	221	
22	132	132	220	270	
25	150	150	250	307	

(\*) La longitud total del gancho (L) está medida por la cara exterior de la barra.

**Tabla 4.7.3.2**

Medidas mínimas para Ganchos Sísmicos en Amarras Cerradas Continuas – Doble de 135°

$d_n$ Barra mm	D mm	K mm	H mm	L (*) mm	Doble de 135°
8	48	75	108	150	
10	60	75	121	169	
12	72	75	135	188	
16	96	96	177	247	
18	108	108	199	278	
22	132	132	244	339	
25	150	150	277	386	

(\*) La longitud total del gancho (L) está medida por la cara exterior de la barra.

#### 4.8 TOLERANCIAS DE FABRICACION

Según lo establecido en la norma NCh211 Of.2012, se muestran en las Tablas 4.8.1 y 4.8.2 las tolerancias estándares de fabricación para diferentes tipos o formas de barras de los diámetros 8 a 36 mm y 40 mm respectivamente.

A modo de ejemplo, si tenemos que fabricar una barra de

dn 28 con dobleces y ganchos, tal como la del tipo D de la Figura 4.8.1a y empleamos la codificación de la Tabla 4.8.1, que para este caso corresponde a los códigos asignados con los números 2, 3 y 4, tenemos que las tolerancias de fabricación son de 20 milímetros para el largo total extremo-extremo de la pieza, + 0 ó -15 milímetros para la altura total de ella y 15 milímetros para la altura de los ganchos extremos respectivamente.

**Tabla 4.8.1**

**Simbología y Tolerancias de Fabricación en barras de 8 a 36 mm (Aplican a Figuras 4.8.1a y 4.8.1b) según norma NCh211.Of2012**

Código de la dimensión	d <sub>n</sub> Barra mm	Tolerancias
1	8 a 16	± 10 mm: para un largo Extremo-Extremo de la barra < 1,0 m
1	8 a 16	± 20 mm: para un largo Extremo-Extremo de la barra ≥ 1,0 m
1	18 a 36	± 20 mm
2	8 a 36	± 20 mm
3	8 a 36	+0 ó -15 mm
4	8 a 36	± 15 mm
5	8 a 36	± 15 mm: para diámetros ≤ 1,0 m
5	8 a 36	± 25 mm: para diámetros > 1,0m
6	8 a 36	± 1,5% del largo de la cuerda, con ± 50 mm mínimo

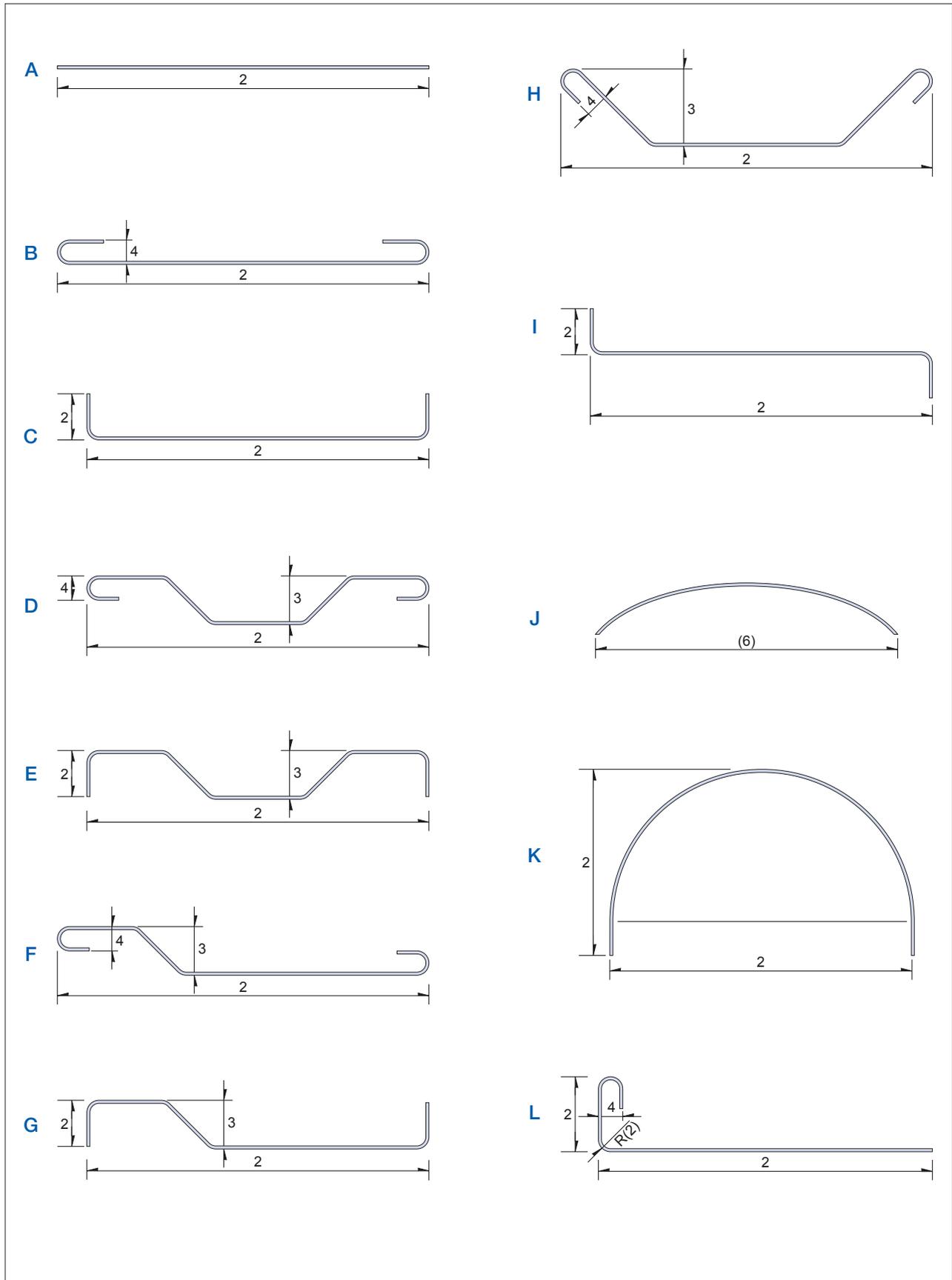


Figura 4.8.1a: Tolerancias Estándar de Fabricación Barras Dobladas de 8 a 36 mm (NCh211.Of2012)

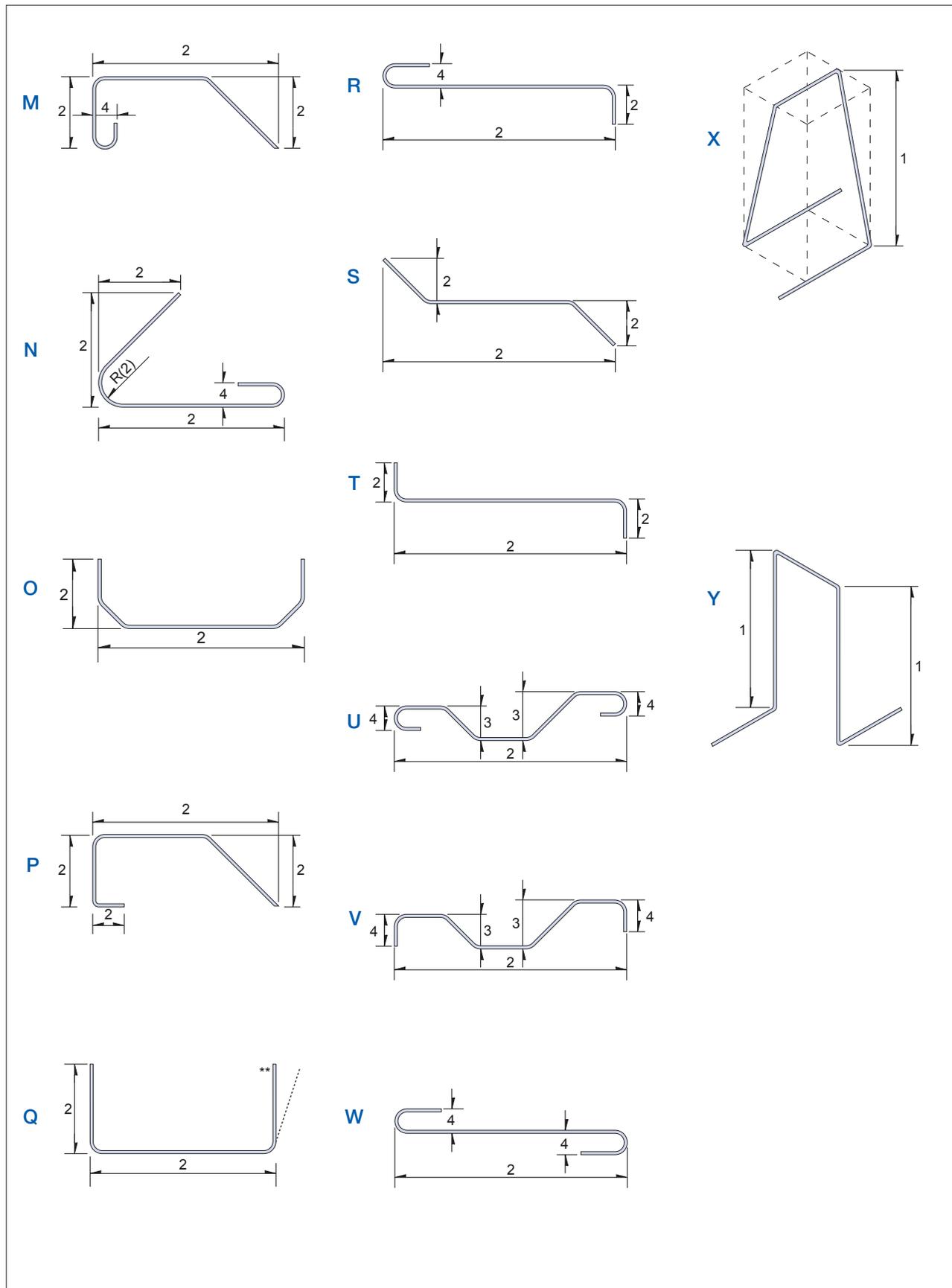


Figura 4.8.1b: Tolerancias Estándar de Fabricación Barras Dobladas de 8 a 36 mm (NCh211.Of2012)

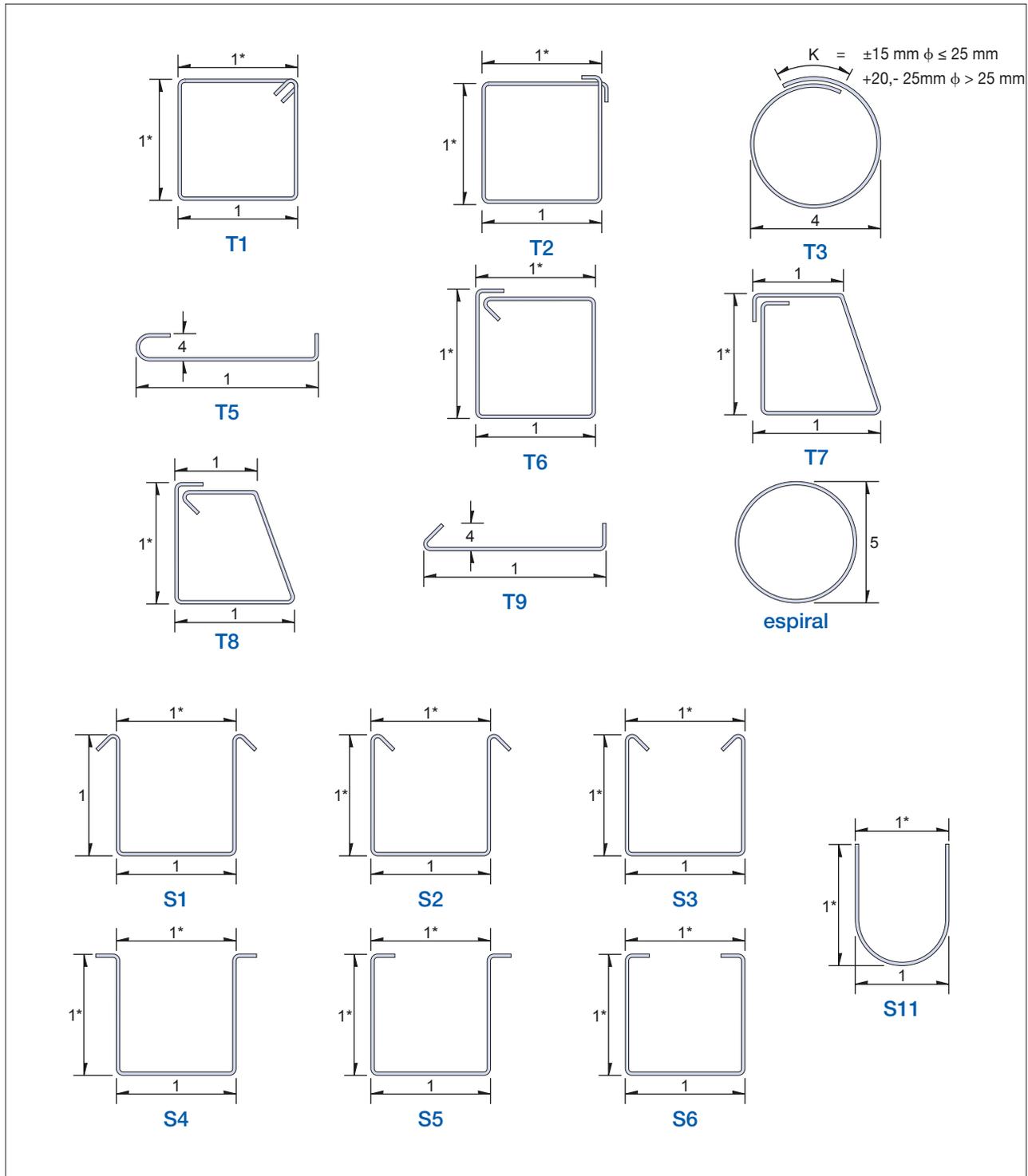


Figura 4.8.2: Tolerancias Estándar de Fabricación Estribos con barras de 8 a 36 mm (NCh211.Of2012)

- \* Las dimensiones en esta línea deberán estar dentro de la tolerancia indicada, pero no deberán diferir de la dimensión paralela opuesta en más de 15 mm.
- \*\* Desviación angular: máximo  $\pm 3^\circ$  ó  $\pm 40 \text{ mm/m}$ , la que resulte más exigente.
- \*\*\* Si la aplicación de la desviación positiva resulta en una longitud de cuerda  $\geq$  al arco o longitud de la barra, ésta última puede ser usada directamente.
- \*\*\*\* El diámetro mínimo para los estribos en espiral es 10 cm.

Las tolerancias para los tipos S1, S6, S11, T1, T3, T5 y T9 se aplican sólo para barras de 8 a 25 mm. de diámetro inclusive.

En la Tabla 4.8.2 se entregan las tolerancias admisibles de fabricación para las armaduras que utilizan barras de 40 mm de diámetro, que aplican a dimensiones nominales y

diversas formas geométricas de la Figura 4.8.3, para la mayoría de las necesidades prácticas.

**Tabla 4.8.2**

**Simbología y Tolerancias de Fabricación en barras de 40 mm (Aplican a la Figura 4.8.3)**

Código de la dimensión	d <sub>n</sub> Barra mm	Tolerancias
7	40	± 65
8	40	± 50
9	40	± 40 mm
10	40	± 2,0% por dimensión O, con ± 65 mm mínimo

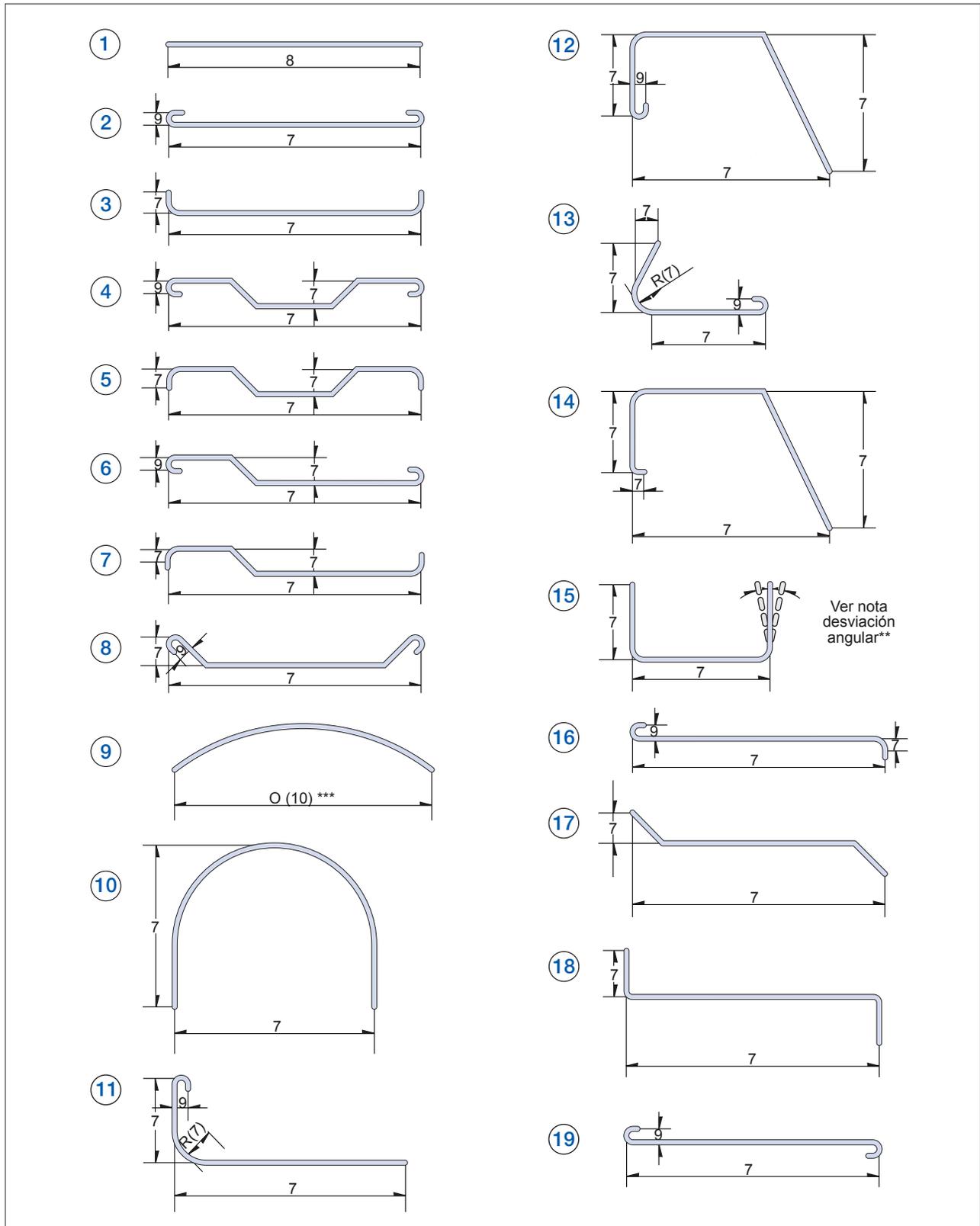


Figura 4.8.3: Tolerancias Estándar de Fabricación Barras Dobladas con barras de 40 mm (NCh211.Of2012)

\*\* Desviación angular: máximo  $\pm 3^\circ$  ó  $\pm 40$  mm/m, la que resulte más exigente.

\*\*\* Si la aplicación de la desviación positiva resulta en una longitud de cuerda  $\geq$  al arco o longitud de la barra, ésta última puede ser usada directamente.

## 4.9 RENDIMIENTOS PARA LA FABRICACION DE ARMADURAS

### 4.9.1 Mano de Obra Método Tradicional

A modo de información, en la Tabla 4.9.1 se incluyen los rendimientos de mano de obra promedio directa para fabricación de las armaduras, obtenidos de la experiencia de varios profesionales consultados y de los resultados y análisis de algunas obras ejecutadas en la Región Metropolitana.

El rendimiento de la mano de obra que se ha considerado para la limpieza del acero, es un valor promedio obtenido de diferentes métodos, tales como el realizado en forma manual con gratas o escobillas de acero y solventes y el que utiliza herramientas mecánicas.

En los rendimientos de preparación y fabricación está incluido el tiempo de transporte del material, a una distancia media de 20 m.

**Tabla 4.9.1**

**Rendimientos Teóricos de Mano de Obra Directa - Método Tradicional de Fabricación**

Item	Descripción Actividad	ton/HD	HH/ton
<b>1.</b>	<b>Preparación del Material:</b>		
1.1	Enderezado con Tirfor Manual Barras en rollos $\phi 6$ a $\phi 12$ mm		
1.1.1	Acero A440	0,70	12,9
1.1.2	Acero A630	0,60	15,0
1.2	Enderezado con Huinche Eléctrico Barras en rollos $\phi 6$ a $\phi 12$ mm	0,78	11,5
1.3	Enderezado de barras rectas $\phi 6$ a 36 mm	0,96	9,38
1.4	Limpieza del acero	1,00	9,00
<b>2.</b>	<b>Corte y Doblado de las barras:</b>		
2.1	$\phi 6$ y 8 mm. Aceros A440 y A630	0,20	45,0
2.2	$\phi 10$ y 12 mm. Acero A440	0,25	36,0
2.3	$\phi 16$ y 18 mm. Acero A440	0,43	20,9
2.4	$\phi 22$ y 25 mm. Acero A440	0,75	12,0
2.5	$\phi 28$ , 32 y $\phi 36$ mm. Acero A440	0,92	9,78
2.6	$\phi 10$ y 12 mm. Acero A630	0,22	40,9
2.7	$\phi 16$ y 18 mm. Acero A630	0,34	26,5
2.8	$\phi 22$ y 25 mm. Acero A630	0,52	17,3
2.9	$\phi 28$ , 32 y 36 mm. Acero A630	0,63	14,3

ton/HD : Toneladas métricas de acero por hombre-día (9,0 horas efectivas de trabajo)

HH/ton : Horas-hombre por tonelada métrica de acero.

#### 4.9.2 Método Industrializado de Corte y Doblado (C&D)

El desarrollo económico de los últimos años y las tasas oficiales de crecimiento, actuales y proyectadas para el sector de la construcción en nuestro país, ha hecho posible la incorporación paulatina de mejores materiales y tecnologías, exigiendo en forma progresiva la aplicación de modernos sistemas constructivos que tiendan cada vez más a estandarizar, industrializar y reemplazar la mano de obra artesanal de este sector, tal como ocurre en los países más avanzados.

Para el caso particular del acero de refuerzo para hormigón, así es como sucede en Europa, en donde cada país a través de sus siderúrgicas provee el mercado local mediante la producción de barras y rollos a plantas o talleres de fabricación de armaduras, que son las que absorben más del 90% del abastecimiento total, siendo solo el saldo inferior al 10% de las barras comercializado por barracas de fierro o distribuidoras de materiales de construcción.

A modo de información, el acero que pasa por las plantas o talleres europeos, en los países que se indican, tiene aproximadamente la distribución señalada en la Tabla 4.9.2.1.

No obstante, aún en Chile podemos verificar que en la

mayoría de las obras los procesos se siguen realizando con métodos tradicionales, que obligan a la empresa constructora disponer de grandes espacios libres, riesgos de mayores costos directos debido a probables errores humanos en la gestión de compra o en la fabricación, pérdidas materiales producidas por mal dimensionamiento o mal aprovechamiento de largos disponibles, necesidad de mano de obra especializada, escasa y onerosa en períodos de auge, y un mayor costo financiero involucrado al tener que comprar el acero en forma anticipada.

De acuerdo con un sondeo realizado en varias obras y empresas constructoras de la Región Metropolitana, se ha podido comprobar que alrededor del 40% de ellas está utilizando el sistema industrializado de fabricación de las armaduras, concentrado este servicio, principalmente, en grandes empresas constructoras y en obras de gran magnitud, lo que viene a ratificar lo expresado anteriormente.

El rendimiento para el corte y doblado de las armaduras, cuando se utiliza el método industrializado de fabricación, está relacionado en forma directa con los equipos y maquinarias disponibles y consecuentemente con la capacidad instalada de producción que tenga la planta o taller industrial, rendimiento que se puede estimar y sintetizar como se presenta en la Tabla 4.9.2.1.

Tabla 4.9.2.1 Absorción del Acero por Plantas Industriales de C&D en Europa					
Distribución del Acero	Alemania	España	Francia	Italia	Promedio
Solo corte y doblado	25%	15%	15%	25%	20%
Corte, doblado y pre-armado	35%	35%	40%	30%	35%
Instalado en obra (servicio completo)	40%	50%	45%	45%	45%

**Tabla 4.9.2.2**
**Fabricación de Armaduras Método Industrializado**

Descripción	Unidad	Producción
Capacidad Instalada (equipos y maquinarias)	ton/hora	3,6 a 5,8
Plantel Promedio de Operarios	HH/ton	3,1
Soporte Técnico Profesionales de Producción	HH/ton	0,9 a 1,2

**4.9.3 Ejemplos de Rendimientos Fabricación de Armaduras**

De acuerdo con los rendimientos señalados en las Tablas 4.9.1 y 4.9.2.2, en los ejemplos prácticos siguientes se analizan 3 edificios reales con un total de 816 toneladas de armaduras, destinados a uso habitacional y caracterizados según la calidad y porcentajes de diámetros de acero utilizado.

Para el caso del método tradicional de fabricación, en todos los ejemplos se postula como hipótesis que:

- Un 2% del total de las barras deberán ser limpiadas, previo a su manipulación.
- Para el acero de 8, 10 y 12 mm de diámetro, se considera que el 50% será suministrado en rollos y el saldo como barras rectas.
- Para el acero que será suministrado en rollos, se contempla que el de grado A440 será enderezado con tirfor manual y el de grado A630 mediante huinche eléctrico.
- Se estima que el 3% del total de las barras rectas requerirán ser corregidas, debido a deformaciones por el transporte y descarga del material o como producto de un deficiente enderezado del acero suministrado en rollos.

**Tabla 4.9.3**
**Características de Edificios para Ejemplos de Rendimiento de Mano de Obra**

Descripción	Unidad	Edificio 1	Edificio 2	Edificio 3
Ubicación		Concepción	Las Condes	Viña del Mar
Pisos/Subterráneo	Nº	8/1	12/2	11/1
Superficie construida	m <sup>2</sup>	5.816	10.076	4.620
Acero A440	ton	267,8	-	121,8
Diámetros especificados A440	mm	8 a 25	-	8 a 16
Acero A630	ton	-	314,1	81,3
Diámetros especificados A630	mm	-	8 a 32	18 a 25
Total armaduras	ton	267,8	345,1	203,1
Referencia	kg/m <sup>2</sup>	46,0	34,2	44,0

**4.9.3.1 Forma de Entrega y Proporción de los Diámetros del Acero**

Tabla 4.9.3.1														
Resumen Forma de Entrega y Proporción del Acero														
φ (mm)		8		10		12		16	18	22	25	28	32	
Forma de Entrega		Rollo	Barra	Rollo	Barra	Rollo	Barra	Barras						Totales
		ton		ton		ton		ton						
Edificio 1	A440	51,8	51,8	14,2	14,2	11,5	11,5	50,9	4,3	52,1	5,6			267,8
		39%		11%		9%		19%	2%	19%	2%			100%
Edificio 2	A630	63,3	63,3	31,9	31,9	12,5	12,5	36,3	13,7	23,5	17,0	15,4	23,8	345,1
		37%		19%		7%		11%	4%	7%	5%	4%	7%	100%
Edificio 3	A440	31,9	31,9	5,3	5,3	7,3	7,3	22,8						111,8
		31%		5%		7%		11%						55%
	A630								12,1	49,7	29,5			91,3
									6%	24%	15%			45%

**4.9.3.2 Resumen de los Rendimientos para la Fabricación**

Tabla 4.9.3.2			
Resumen Rendimientos Mano de Obra Directa Fabricación Armaduras Edificios 1, 2 y 3			
Item	Actividad	Diámetros mm	Rendimiento HH/ton
<b>Mano de Obra Tradicional</b>			
A.	Preparación del Material		
	Enderezado c/tirfor manual (A440)	8, 10 y 12	12,9
	Enderezado c/huinche eléctrico (A630)	8, 10 y 12	11,5
	Enderezado barras rectas =3%	8 a 32	9,4
	Limpieza del acero = 2%	8 a 32	9,0
	Subtotal Preparación del Material	8 a 32	11,8
B.	Subtotal Corte y Doblado (C&D) - A440 + A630	8 a 32	32,1
1.	<b>Total Mano de Obra Fabricación Tradicional</b>	<b>8 a 32</b>	<b>36,0</b>
2.	<b>Total Mano de Obra Fabricación Industrial</b>	<b>8 a 32</b>	<b>3,1</b>

#### 4.9.4 Conclusiones y Comparación de los Métodos de Fabricación

- El rendimiento para la preparación del material, mediante mano de obra tradicional, es un valor que depende fundamentalmente de la forma de entrega y el estado del acero (barras, rollos y eventual oxidación o suciedad).
- El resultado del rendimiento del corte y doblado del método tradicional, es un valor que depende exclusivamente de la calidad del acero y de los porcentajes de diámetros de las barras componentes de las armaduras requeridas.
- Los resultados parciales y totales del rendimiento de la mano de obra tradicional, nos sirven como una ayuda importante para asignar la cantidad de operarios necesarios, y así dar cumplimiento a los plazos establecidos por el programa para esta actividad, o viceversa.
- Dado que todas las obras son diferentes, en cuanto al diseño, condiciones de trabajo y proporción de los diámetros, en especial para el método tradicional se recomienda un análisis previo del rendimiento para cada caso en particular, con el propósito de lograr valores más representativos para dicha obra.
- El resultado del rendimiento del corte y doblado industrial es un valor que depende básicamente de la capacidad instalada de producción de la industria, en cuanto a sus equipos y maquinarias, y de los porcentajes de diámetros de las barras componentes de las armaduras requeridas.
- A diferencia de lo que ocurre con el método tradicional, los rendimientos de fabricación industrial para el acero grados A440 y A630 son claramente equivalentes.
- Al comparar el resultado de los ejemplos de rendimientos de mano de obra directa tradicional, para la fabricación de las armaduras de los tres edificios señalados anteriormente, con los valores teóricos dados para el método industrial, podemos deducir que estos últimos representan una productividad significativamente mayor que el método tradicional o artesanal de corte y doblado, del orden de 12 veces mayor referida a las mismas ton/h producidas.

**Cuadro 4.9.4**

**Comparación Método de Corte y Doblado en Obra versus Sistema Industrializado**

Edificio Habitacional			Acero Refuerzo			
	Nº Pisos	Nº Subterráneos	m2 Construidos	Grado	Peso Teórico ton	
	12	2	10.076	A630	345,10	
Nº	Descripción de los Costos Directos e Indirectos			Comparación kg/Base 100		
				Sistema Industrializado	Corte y Doblado en Obra	
				Tradicional	Con Máquinas	
1	Suministro barras acero de refuerzo para hormigón			89,11	89,11	89,11
2	Gestión de cotizar y comprar el Servicio Industrial de C&D (incluye el acero)			0,07	0	0
3	Servicio de C&D Industrial			9,72	0	0
4	Transporte urbano del acero a la obra (máximo 30 km)			1,11	1,11	1,11
5	Gestión de cotizar y comprar el acero			0	0,09	0,09
6	Gestión de cotizar y contratar el Servicio de Corte y Doblado en Obra			0	0,07	0,07
7	Mano de Obra directa Corte y Doblado en Obra (incluye Isapre y AFP)			0	12,35	8,26
8	Leyes Sociales Método Corte y Doblado en Obra (=28,7%)			0	3,54	2,37
9	Cubicación del acero			0	0,56	0,56
10	Despiece y confección de las planillas			0	0,85	0,85
11	Optimización largos barras 6 y 12 m, menor pérdida			0	0,94	0
12	Optimización largos mix barras 6-7-8-9-10-11 y 12 m, menor pérdida			0	0	1,39
13	Descarga manual del acero en obra			0	0,56	0
14	Descarga del acero mediante grúa (inc: operador)			0	0	0,26
15	Control de avance y gestión de inventarios del acero (Jefe de Obra)			0	0,18	0,18
16	Supervisión de la cubicación y de la calidad de la fabricación (Jefe de Obra)			0	0,12	0,12
17	Equipo y maquinarias para el Corte y Doblado en Obra (Cizalla y Dobladora)			0	0	0,31
18	Centros de trabajo e instalaciones provisionales en obra (5 usos)			0	0,04	0,04
19	Consumo de electricidad equipos y maquinarias			0	0	0,08
20	Uso de espacios de obra para el almacenaje y el C&D (=120 m2)			0	0,09	0,09
21	Pérdidas materiales en barras de 6 y 12 m. de largo (=5,5%)			0	4,90	0
22	Pérdidas materiales en barras de 6-7-8-9-10-11 y 12 m. de largo (=2,5%)			0	0	2,23
23	Costo financiero debido a sobre stock del acero durante 20 días (=2%/mensual)			0	1,19	1,19
<b>Valor Base Suministro del Acero y Fabricación de las Armaduras (kg)</b>				<b>100,00</b>	<b>115,69</b>	<b>108,30</b>
<b>Mayor Costo en %</b>					<b>15,7%</b>	<b>8,3%</b>
Observaciones:						
En el Método de Corte y Doblado en Obra, no se consideran los factores siguientes:						
a) Indemnización y deshaucio del personal por años de servicio.						
b) Gratificaciones legales o voluntarias al personal.						
c) Incertidumbre por errores en el corte y doblado.						
d) Incertidumbre de atrasos por días de lluvia y factores climáticos.						
e) Multas por atrasos en la entrega del producto.						
f) Seguros a terceros por daños o accidentes.						

#### 4.10 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CAPÍTULO 4

- ACI 318 Código de Diseño de Hormigón Armado: American Concrete Institute, 2008
- ACI 315 Detailing Manual: American Concrete Institute, 1995
- Manual de Detallamiento para Elementos de Hormigón Armado: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón (ICH). 2019
- Norma NCh 211.Of2012 - Acero - Enfierradura para uso en hormigón armado – Requisitos. Instituto Nacional de Normalización (INN).
- Detalles Constructivos para Obras de Hormigón Armado: J. Calavera Ruiz, Intemac Ediciones, 2000
- Ferralla: J. Calavera, E. González, J. Fernández, F. Valenciano, Intemac Ediciones, 2003
- Obras de Hormigón Armado: C. Russo, Editorial G. Gili
- Oscan S. p. A.: Italia
- Placing Reinforcing Bars: Concrete Reinforcing Steel Institute, Sexta Edición, 1992
- Schnell srl: Italia
- Stema Engineering A/S: Dinamarca
- Catálogo mbk Strong Connections: Alemania
- Tratado de Construcción: H. Schmitt, Editorial G. Gili
- Tratado de Hormigón Armado: G. Franz, Editorial G. Gili

## Capítulo 5

# Armado e Instalación de las Armaduras

5.1 Generalidades

5.2 Herramientas y Equipos

5.3 Longitud de Desarrollo

5.4 Barras Dobladas por Cambio de Sección de Columnas

5.5 Armadura Transversal para Elementos en Compresión

5.6 Armadura Transversal para Elementos en Flexión

5.7 Empalmes de las Barras

5.8 Fijaciones para las Armaduras

5.9 Espaciamiento Mínimo entre Barras

5.10 Separadores y Soportes

5.11 Rendimiento de Mano de Obra para el Armado e Instalación

5.12 Bibliografía y Referencias



## 5.1 GENERALIDADES

Los antecedentes que se entregan en las secciones de este capítulo, todas basadas en el Código ACI 318-2008, como por ejemplo las longitudes de desarrollo para el anclaje y empalmes de barras, fijaciones y espaciamentos, tienen el propósito de ayudarle a recordar al personal encargado de dirigir y ejecutar la faena de armado e instalación de las armaduras y su inspección, que es de suma importancia respetar y cumplir con rigurosidad los conceptos señalados y las medidas establecidas, a no ser que los planos indiquen otra cosa.

Dada la complejidad e importancia de esta actividad, es recomendable que el armado e instalación de las armaduras, o el montaje de elementos prefabricados como mallas de acero, sea realizado exclusivamente por maestros de primera o de segunda de la especialidad, dirigidos por sus capataces y el jefe de obra, según la complicación o exigencias que la obra imponga, ya que su conocimiento y experiencia en el oficio los califica para interpretar fielmente las especificaciones, simbología e indicaciones de los planos del proyecto de estructuras. Debe quedar en claro que los ayudantes enfierradores, sólo podrán secundar a los maestros en el transporte del material, pasarle las herramientas, colaborar con el armado ayudando a sostener los elementos, instalar las amarras de alambre, ayudar a instalar las conexiones mecánicas si existieran y, si corresponde, colocar los separadores del encofrado para el hormigón.

Las armaduras deberán instalarse lo bastante firmes, niveladas, aplomadas, amarradas y con el declive correcto para el caso de elementos con pendiente, para que se mantengan en su sitio durante el vaciado y vibrado del hormigón, que se encuentra en su estado plástico y por lo tanto ejerce fuerzas verticales y horizontales propias del hormigón fresco y conserven los espesores de recubrimientos

especificados. Para este fin, se instalan separadores de plástico u otro material, conocidas como calugas, espaciados convenientemente entre sí y de los moldajes, y de una dimensión según el espesor del recubrimiento. En los muros de doble malla, éstas se unirán por trabas de acero de diámetro mínimo 8 milímetros, ubicadas en los nudos o intersección de las barras y a distancias no mayores de 50 centímetros.

Los grupos de barras paralelas, adecuadamente amarradas en paquetes para trabajar como una unidad, están limitadas a 4 barras por paquete, y en elementos sujetos a flexión cada una de las barras de un paquete que termina dentro del vano, debe cortarse en puntos distintos y separados a distancias de a lo menos  $40 d_n$  de la barra individual.

Cuando las limitaciones de recubrimientos de hormigón y espaciamiento mínimo entre barras se basan sobre el diámetro  $d_n$ , un paquete de barras debe considerarse como una barra simple, o individual, de un diámetro equivalente al área total de las barras del paquete.

En el caso que esté prevista una ampliación futura, las barras que queden expuestas deberán ser protegidas adecuadamente contra la corrosión o agentes agresivos del medio ambiente.

Finalmente, si existieran dudas de interpretación o falta de antecedentes en los planos, como por ejemplo, determinar qué barras pasan por arriba o por abajo, poca claridad en los nudos de barras, interferencias por paso de ductos o cañerías, falta de detalles constructivos para las longitudes de anclaje o de los empalmes por traslape, los operarios deberán consultar y seguir las instrucciones expresas del profesional o jefe de obra. Como regla general, a falta de antecedentes claros los trabajadores deben evitar cortar o doblar barras o tomar cualquier decisión propia, sin previa autorización de su superior responsable.

## 5.2 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

Las herramientas y equipos necesarios y recomendados para el personal que arma, instala y efectúa las amarras y los implementos de seguridad de uso obligatorio, son los que se indican.

**Tabla 5.2**

### Herramientas y equipos para el armado e instalación

- Tirfor o tecele manual.
- Alicates Crecent o Klein N°10 (10") y destornilladores.
- Tenazas y cortantes para alambre (10")
- Torcedores para amarras de alambre prefabricadas (Twister).
- Barras de acero para usar como palancas.
- Llaves con torque y llaves punta-corona para el caso de conexiones mecánicas.
- Huinchas de medir metálica de 7 m y de lona de 20 m de largo
- Plomada, lienzas y nivel.
- Panes de tiza de diferentes colores.
- Overol de mezclilla y guantes de cuero de descarné o ropa de trabajo adecuada.
- Zapatos de seguridad con punta de acero.
- Protectores faciales y para los ojos.
- Casco de seguridad.
- Cinturón de seguridad tipo arnés, con cola de vida para trabajos en altura.

### 5.3 LONGITUD DE DESARROLLO

#### 5.3.1 Introducción

De acuerdo con el Código ACI 318, el concepto de longitud de desarrollo para el anclaje de la armadura, está basado en el esfuerzo de adherencia logrado a través de la longitud de las barras con resaltes o ganchos embebidos en el hormigón.

El propósito de requerir esta longitud de desarrollo, en gran medida se debe a la tendencia de las barras altamente tensionadas a agrietar longitudinalmente secciones relativamente delgadas de hormigón, por lo que es necesario efectuar el anclaje hacia cada lado de la sección de los elementos sometidos a tracción o compresión, más allá de todos los puntos de esfuerzo máximo de la armadura.

Al respecto, cabe consignar que una sola barra embebida en un volumen de hormigón no requiere una longitud de desarrollo muy grande para su anclaje, pero una hilera de barras embebidas, aún en hormigón masivo, puede crear un plano débil con agrietamiento longitudinal a lo largo del plano de dichas barras.

Las longitudes mínimas de anclaje requeridas para barras con resaltes en tracción o compresión, se determinan a partir de los valores básicos para cada diámetro de barra, definidos según el grado del acero establecidas en la norma NCh204.Of2020 y la calidad del hormigón utilizado, establecidas por la norma chilena NCh170.Of2016, longitudes que están condicionadas ya que dependen de factores que pueden modificarla, según se trate de los casos que se explican en las secciones siguientes.

#### 5.3.2 Desarrollo para Barras Rectas en Tracción

La longitud de desarrollo para el anclaje de las barras con resaltes en tracción ( $\ell_d$ ), debe cumplir las condiciones exigidas en los párrafos a), b), y c) siguientes.

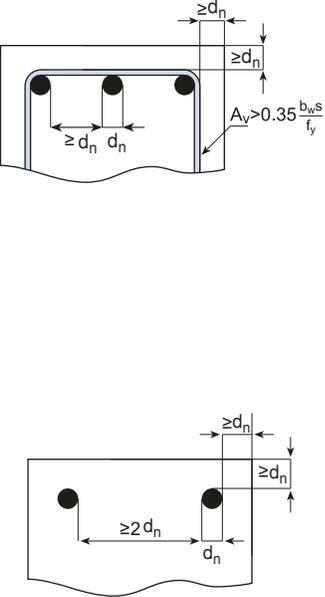
Condiciones:

- a) Las longitudes de desarrollo para barras con resaltes en tracción se dividen en dos casos, A y B, teniendo el Caso A dos condiciones, A.1 y A.2, tal como se presenta en las ilustraciones y fórmulas [5.3.2-1] a la [5.3.2-4], de la Tabla 5.3.2.1.
- b) Las longitudes de desarrollo para barras con resaltes en tracción no debe ser menor que 300 milímetros, aún incluida la aplicación de los factores de modificación de la Tabla 5.3.2.2.
- c) Las longitudes de desarrollo para barras con resaltes en tracción se modificarán según sea necesaria la aplicación de los factores que se presentan en la Tabla 5.3.2.2.
- d) La longitud de desarrollo requerida para cada barra individual dentro de un paquete de barras sometido a tracción, debe ser aquella de la barra individual aumentada en un 20% para un paquete de 3 barras y en un 33% para un paquete de 4 barras.

Los valores de las longitudes de desarrollo calculadas, para barras con resaltes en tracción, expresadas en milímetros, considerando las condiciones básicas de uso, es decir, hormigón de peso normal, barras de refuerzo sin revestimiento epóxido y ubicación de las armaduras, se obtienen los siguientes valores para los factores de modificación  $\lambda=1,0$ ,  $\Psi_t=1,0$  y  $\Psi_e=1,0$  se presentan en las Tablas 5.3.2.3 a la 5.3.2.6 inclusives.

Tabla 5.3.2.1

Longitud de Desarrollo para Barras con Resaltes en Tracción

Espaciamiento y recubrimiento	Esquema de recubrimientos y separaciones mínimas	Barras con resaltes $d_n = \text{Ø}18$ y menores	Barras con resaltes $d_n = \text{Ø}22$ y mayores
<p><b>Caso A</b></p> <p><b>Condición A.1</b></p> <p>Espaciamiento libre entre barras que se están desarrollando o empalmando por traslapo mayor o igual a <math>d_n</math>, recubrimiento libre mayor o igual a <math>d_n</math>. Además, es requisito para esta condición que los estribos o amarras a lo largo de <math>\ell_d</math> no sean inferiores al mínimo señalado.</p> <p><b>Condición A2</b></p> <p>Espaciamiento libre entre barras que están siendo desarrolladas o empalmados por traslapo mayor o igual a <math>2d_n</math> y recubrimiento libre mayor o igual a <math>d_n</math></p>		$\ell_d = \left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2.1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_n$ <p>[5.3.2-1]</p>	$\ell_d = \left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1.7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_n$ <p>[5.3.2-2]</p>
<p><b>B. Otros casos</b> (Diferentes a las condiciones A.1 y A.2)</p>		$\ell_d = \left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1.4 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_n$ <p>[5.3.2-3]</p>	$\ell_d = \left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1.1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_n$ <p>[5.3.2-4]</p>

Notación:

- $\ell_d$  : Longitud de desarrollo en tracción de barras con resaltes, mm
- $d_n$  : Diámetro nominal de la barra, mm
- $A_v$  : Área de la armadura por corte en una distancia  $s$ , mm<sup>2</sup>
- $s$  : Espaciamiento entre estribos, mm
- $b_w$  : Ancho del alma de la viga, mm
- $f_y$  : Resistencia especificada a la fluencia en el acero de refuerzo, MPa
- $f'_c$  : Resistencia especificada a la compresión del hormigón, MPa
- $\Psi_t \Psi_e$  : Factores de modificación de la Tabla N°5.3.2.1, sus valores están en la Tabla N°5.3.2.2
- $\lambda$  : Factores de modificación por agregado del hormigón.

Tabla 5.3.2.2		
Factores de Modificación de la Longitud de Desarrollo para Barras con resaltes en Tracción		
Factor de modificación	Condición	Valor del factor
$\lambda$ Factor por agregado del hormigón	Hormigón de peso liviano	0,75
	Hormigón de peso normal	1,0
$\psi_e$ Factor por revestimiento de la armadura	Barras con revestimiento epóxico, con recubrimiento menores a $3d_n$ , o separación libre menor que $6d_n$	1,5
	Barras con revestimiento epóxico, para todas las otras condiciones de recubrimientos y separación libre.	1,2
	Barras sin revestimiento epóxico	1,0
	Barras con revestimiento de zinc (galvanizado)	1,0
$\psi_t$ Factor por ubicación de la armadura	Armadura horizontal ubicada con más de 300 mm de hormigón fresco colocado debajo de la longitud de desarrollo o un empalme	1,3
	Otras armaduras en tracción	1,0

El producto ( $\psi_t \psi_e$ ) no hay necesidad de que exceda 1.7

**Tabla 5.3.2.3**

 Longitud de desarrollo ACERO CALIDAD A630-420H ( $f_y = 420$  Mpa). Caso A

 Factores de modificación:  $\Psi_t = 1,0$ ;  $\Psi_e = 1,0$ ;  $\lambda = 1,0$ 

Grado del hormigón	Resistencia especificada	Diámetro de la barra (mm)											
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40	
NCh170 Of.2016	$f'_c$ (MPa)												
G17	17	388	485	582	776	873	1318	1498	1678	1917	2157	2397	
G20	20	358	447	537	716	805	1215	1381	1547	1768	1989	2210	
G25	25	320	400	480	640	720	1087	1235	1384	1581	1779	1976	
G30	30	292	365	438	584	657	992	1128	1263	1443	1624	1804	
G35	35	270	338	406	541	609	919	1044	1169	1336	1503	1670	
G40	40	253	316	379	506	569	859	977	1094	1250	1406	1563	
G45	45	239	298	358	477	537	810	921	1031	1179	1326	1473	
G50	50	226	283	339	453	509	769	873	978	1118	1258	1398	
G55	55	216	270	324	431	485	733	833	933	1066	1199	1333	
G60	60	207	258	310	413	465	702	797	893	1021	1148	1276	

**Tabla 5.3.2.4**

 Longitud de desarrollo ACERO CALIDAD A440-280H ( $f_y = 280$  MPa). Caso A

 Factores de modificación:  $\Psi_t = 1,0$ ;  $\Psi_e = 1,0$ ;  $\lambda = 1,0$ 

Grado del hormigón	Resistencia especificada	Diámetro de la barra (mm)											
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40	
NCh170 Of.2016	$f'_c$ (MPa)												
G17	17	259	323	388	517	582	879	999	1119	1278	1438	1598	
G20	20	239	298	358	477	537	810	921	1031	1179	1326	1473	
G25	25	213	267	320	427	480	725	824	922	1054	1186	1318	
G30	30	195	243	292	389	438	662	752	842	962	1083	1203	
G35	35	180	225	270	361	406	612	696	780	891	1002	1114	
G40	40	169	211	253	337	379	573	651	729	833	938	1042	
G45	45	159	199	239	318	358	540	614	687	786	884	982	
G50	50	151	189	226	302	339	512	582	652	745	839	932	
G55	55	144	180	216	288	324	489	555	622	711	800	888	
G60	60	138	172	207	275	310	468	532	595	680	765	851	

**Tabla 5.3.2.5**

 Longitud de desarrollo ACERO CALIDAD A630-420H ( $f_y = 420$  MPa). Caso B

 Factores de modificación:  $\Psi_t = 1,0$ ;  $\Psi_e = 1,0$ ;  $\lambda = 1,0$ 

Grado del hormigón	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)											
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40	
NCh170 Of.2016	$f'_c$ (MPa)												
G17	17	582	728	873	1164	1310	2037	2315	2593	2963	3334	3704	
G20	20	537	671	805	1073	1207	1878	2134	2391	2732	3074	3415	
G25	25	480	600	720	960	1080	1680	1909	2138	2444	2749	3055	
G30	30	438	548	657	876	986	1534	1743	1952	2231	2510	2788	
G35	35	406	507	609	811	913	1420	1613	1807	2065	2323	2582	
G40	40	379	474	569	759	854	1328	1509	1690	1932	2173	2415	
G45	45	358	447	537	716	805	1252	1423	1594	1821	2049	2277	
G50	50	339	424	509	679	764	1188	1350	1512	1728	1944	2160	
G55	55	324	405	485	647	728	1133	1287	1442	1647	1853	2059	
G60	60	310	387	465	620	697	1084	1232	1380	1577	1775	1972	

**Tabla 5.3.2.6**

 Longitud de desarrollo ACERO CALIDAD A440-280H ( $f_y = 280$  MPa). Caso B

 Factores de modificación:  $\Psi_t = 1,0$ ;  $\Psi_e = 1,0$ ;  $\lambda = 1,0$ 

Grado del hormigón	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)											
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40	
NCh170 Of.2016	$f'_c$ (MPa)												
G17	17	388	485	582	776	873	1358	1543	1729	1976	2223	2469	
G20	20	358	447	537	716	805	1252	1423	1594	1821	2049	2277	
G25	25	320	400	480	640	720	1120	1273	1425	1629	1833	2036	
G30	30	292	365	438	584	657	1022	1162	1301	1487	1673	1859	
G35	35	270	338	406	541	609	947	1076	1205	1377	1549	1721	
G40	40	253	316	379	506	569	885	1006	1127	1288	1449	1610	
G45	45	239	298	358	477	537	835	949	1062	1214	1366	1518	
G50	50	226	283	339	453	509	792	900	1008	1152	1296	1440	
G55	55	216	270	324	431	485	755	858	961	1098	1236	1373	
G60	60	207	258	310	413	465	723	822	920	1052	1183	1314	

Alcances:

a) Los valores de las Tablas 5.3.2.3 a la 5.3.2.6 están condicionados a la aplicación de los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\Psi_t$ , y  $\Psi_e$  de la Tabla 5.3.2.2, según sean las especificaciones del caso.

b) Los valores de las Tablas que se presentan en forma destacada, se debe ajustar los valores inferiores a 300 mm a la medida mínima para la longitud de desarrollo, exigidas por el Código ACI 318-2008, incluso esto es necesario si son aplicados los factores de modificación de la Tabla 5.3.2.2.

- c) Cuando se forman paquetes de barras sometidas a tracción, es necesario aumentar la longitud de desarrollo de cada barra individual, en un 20% para un paquete de 3 barras y en un 33% para un paquete de 4 barras. Esta extensión es necesaria debido a que el agrupamiento hace más difícil generar resistencia de adherencia en el núcleo entre barras.
- d) Para aplicar los factores de modificación  $\lambda, \Psi_t, y \Psi_e$ , de la Tabla 5.3.2.2 a un paquete de barras, este debe ser tratado como una sola barra de un diámetro equivalente, derivado del área total de ellas.

### 5.3.3 Desarrollo de Ganchos Estándar en Tracción

En el caso que las barras de refuerzo en tracción terminen en un gancho estándar o normal, definidas en la Sección 4.6 de este Manual, en vez de contemplar una longitud como se indica en la sección anterior, la longitud equivalente se calculará a partir de la fórmula [5.3.3], cuyos valores básicos expresados en milímetros se muestran en las Tablas 5.3.3.2 y 5.3.3.3 y los factores de modificación descritos en la Tabla 5.3.3.1 si corresponde, para los ganchos con doblez de 90° y 180° mostrados en el ejemplo de la Figura 5.3.3.

$$\ell_{dh} = \left( \frac{0,24 f_y \Psi_e}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_n \quad [5.3.3]$$

Notación:

- $\ell_{dh}$  = Longitud de desarrollo en tracción para barras con resalte que terminan con un gancho estándar, mm.
- $d_n$  = Diámetro nominal de la barra, mm.
- $f_y$  = Resistencia especificada a la fluencia en el acero de refuerzo, MPa.
- $f'_c$  = Resistencia especificada a la compresión del hormigón, MPa.
- $\Psi_e$  = Factor de modificación por recubrimiento de las barras de refuerzo.
- $\lambda$  = Factores de modificación por el agregado del hormigón.

Condiciones:

- a) Las longitudes de desarrollo para el anclaje no podrán ser menores a 8 veces el diámetro  $d_n$  de la barra ni menor a 150 milímetros, aún aplicando los factores de modificación, y están referidas sólo para los ganchos con los diámetros mínimos de doblado mostrados en la sección 4.6.3, además se deberá considerar que los ganchos no son efectivos como anclaje de barras en compresión.
- b) Las barras ancladas mediante un gancho normal en extremos discontinuos de elementos de hormigón, tales como extremos de vigas simplemente apoyadas o voladizos, que tengan un recubrimiento menor a 60 milímetros de espesor por ambos lados y en el borde superior o inferior, la barra con gancho requerirá a lo largo de todo su anclaje ser confinada dentro de amarras o estribos espaciados, el primero de ellos no más de  $2 d_n$  y el resto no más de  $3 d_n$  de la barra con gancho, en cuyo caso no se deberá aplicar el valor 0,8 de la Tabla 5.3.3.1 mencionada.

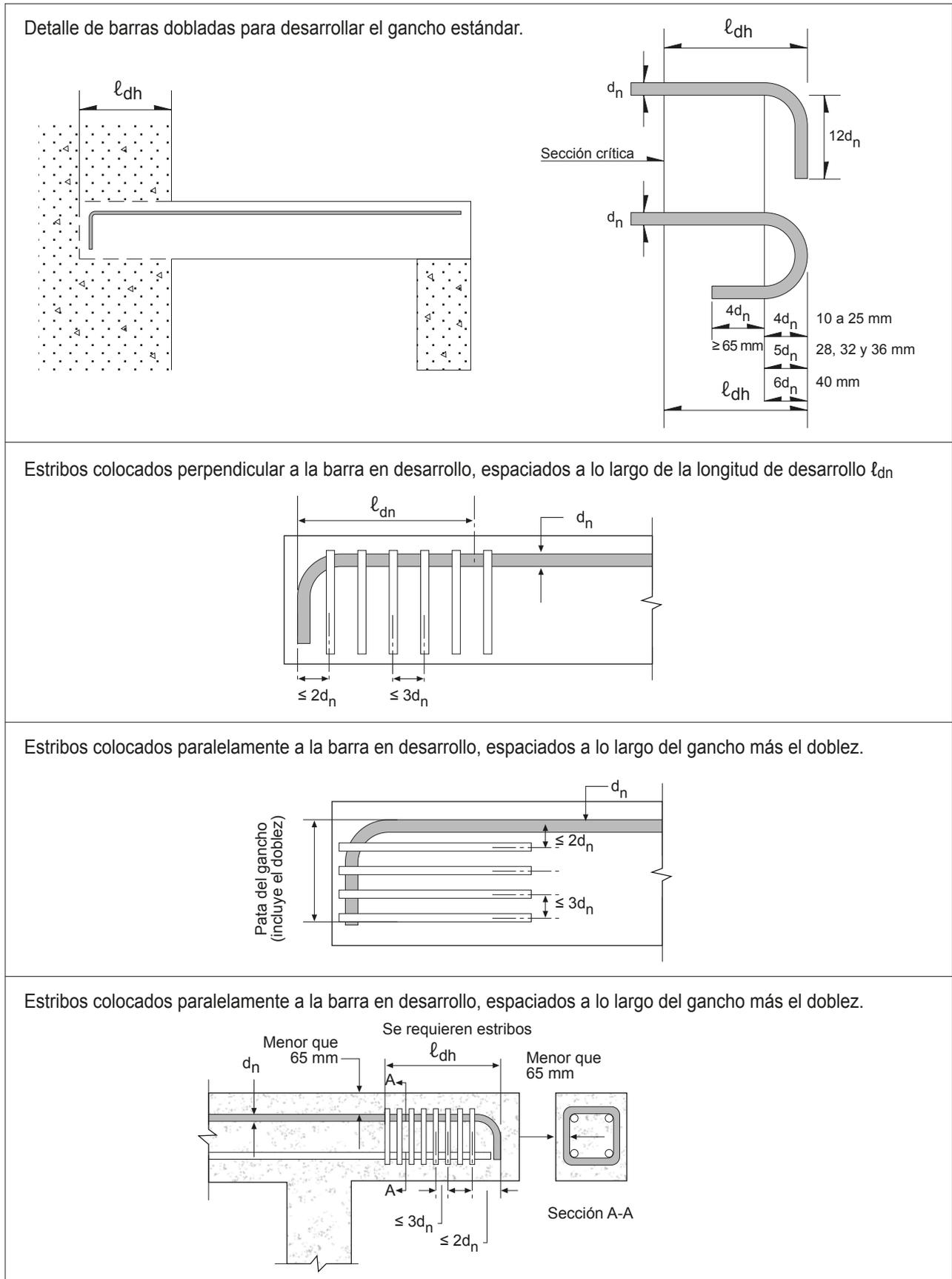


Figura 5.3.3: Ejemplo Longitud de Anclaje para Ganchos Estándar en Tracción.

**Tabla 5.3.3.1**
**Factores que Modifican el Desarrollo de los Ganchos Estándar en Tracción**

Factor de modificación	Condición	Valor del factor
$\lambda$ Factor por agregado del hormigón	Hormigón de peso liviano	0,75
	Hormigón de peso normal	1,0
$\psi_e$ Factor por revestimiento de la armadura	Barras con revestimiento epóxico, con recubrimiento menores a $3d_n$ , o separación libre menor que $6d_n$	1,5
	Barras con revestimiento epóxico, para todas las otras condiciones de recubrimientos y separación libre.	1,2
	Barras sin revestimiento epóxico	1,0
	Barras con revestimiento de zinc (galvanizado)	1,0
Factor por recubrimiento de hormigón	Para barras de $d_n = \emptyset 36$ y menores con recubrimiento lateral normales al plano del gancho, no menor de 65 mm, y para ganchos de $90^\circ$ , con recubrimiento en la extensión de la barra más allá del gancho no menor a 50 mm.	0,7
Factor por estribos o amarras	Para ganchos de $90^\circ$ de barras de $d_n = \emptyset 36$ y menores que se encuentran confinados por estribos perpendiculares a la barra que se está desarrollando, espaciados a lo largo de $\ell_{dh}$ a no más de $3d_n$ ; o bien, rodeado con estribos paralelos a la barra que se está desarrollando y espaciados a no más de $3d_n$ a lo largo de la longitud de desarrollo del extremo del gancho más del doblez	0,8
	Para ganchos de $180^\circ$ de barras de $d_n = \emptyset 36$ y menores que se encuentren confinados con estribos perpendiculares a la barra que se está desarrollando, espaciados a no más de $3d_n$ a lo largo de $\ell_{dh}$	0,8
Armadura en exceso	Cuando no se requiera específicamente anclaje o longitud de desarrollo para $f_y$ , y se dispone de una cuantía de refuerzo mayor a la requerida por análisis	$A_s$ requerida $A_s$ proporcionada

$A_s$ : Área de la armadura  $\text{mm}^2$   
 $d_n$ : Diámetro nominal de la barra, mm

**Tabla 5.3.3.2**

Longitud de desarrollo Ganchos Normales en tracción. Hormigón con agregado normal.

ACERO CALIDAD A630-420H ( $f_y = 420$  MPa). Factores de modificación:  $\Psi_e = 1,0$ ;  $\lambda = 1,0$

Grado del hormigón	Resistencia especificada	Diámetro de la barra (mm)										
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40
NCh170 Of.2016	$f'_c$ (MPa)											
G17	17	196	244	293	391	440	538	611	685	782	880	978
G20	20	180	225	270	361	406	496	563	631	721	811	902
G25	25	161	202	242	323	363	444	504	564	645	726	806
G30	30	147	184	221	294	331	405	460	515	589	663	736
G35	35	136	170	204	273	307	375	426	477	545	613	682
G40	40	128	159	191	255	287	351	398	446	510	574	638
G45	45	120	150	180	240	270	331	376	421	481	541	601
G50	50	114	143	171	228	257	314	356	399	456	513	570
G55	55	109	136	163	217	245	299	340	381	435	489	544
G60	60	104	130	156	208	234	286	325	364	416	468	521

**Tabla 5.3.3.3**

Longitud de desarrollo Ganchos Normales en tracción. Hormigón con agregado normal.

ACERO CALIDAD A440-280H ( $f_y = 280$  MPa). Factores de modificación:  $\Psi_e = 1,0$ ;  $\lambda = 1,0$

Grado del hormigón	Resistencia especificada	Diámetro de la barra (mm)										
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40
NCh170 Of.2016	$f'_c$ (MPa)											
G17	17	130	163	196	261	293	359	407	456	522	587	652
G20	20	120	150	180	240	270	331	376	421	481	541	601
G25	25	108	134	161	215	242	296	336	376	430	484	538
G30	30	98	123	147	196	221	270	307	344	393	442	491
G35	35	91	114	136	182	204	250	284	318	363	409	454
G40	40	85	106	128	170	191	234	266	298	340	383	425
G45	45	80	100	120	160	180	220	250	280	321	361	401
G50	50	76	95	114	152	171	209	238	266	304	342	380
G55	55	72	91	109	145	163	199	227	254	290	326	362
G60	60	69	87	104	139	156	191	217	243	278	312	347

Alcances:

- a) Los valores de estas Tablas están condicionados a la aplicación de los factores de modificación  $\Psi_e$  y  $\lambda$  de la Tabla 5.3.3.1, según lo requieran las especificaciones del caso.
- b) Los valores que se presentan en forma destacada, incluso aquellos que resulten debido a la aplicación de los factores de modificación  $\Psi_e$  y  $\lambda$  de la Tabla 5.3.3.1,

deberán ser ajustados al mínimo de 150 mm exigido por el Código ACI 318-2008.

- c) Cuando se forman paquetes de barras con ganchos sometidos a tracción, es necesario aumentar la longitud de desarrollo de cada gancho individual, en un 20% para un paquete de 3 barras y en un 33% para un paquete de 4 barras.

Esta extensión es necesaria debido a que el agrupamiento hace más difícil generar resistencia de adherencia en el núcleo entre barras con ganchos.

### 5.3.4 Desarrollo para Barras Rectas en Compresión

Condiciones:

a) La longitud de desarrollo  $\ell_{dc}$  para el anclaje de barras con resaltes sometidas a esfuerzos de compresión, expresada en milímetros, debe ser la mayor entre los valores definidos por las fórmulas [5.3.4.1] y [5.3.4.2] que siguen.

$$\ell_{dc} = (0,043 f_y) d_n \quad [5.3.4.1]$$

$$\ell_d = \left( \frac{0,24 f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_n \quad [5.3.4.2]$$

Notación:

$\ell_{dc}$  : Longitud de desarrollo en compresión para barras con resalte, mm

$d_n$  : Diámetro nominal de la barra, mm

$f_y$  : Resistencia especificada a la fluencia en el acero de refuerzo, MPa

$f'_c$  : Resistencia especificada a la compresión del hormigón, MPa.

0,043: Constante,  $\text{mm}^2/\text{N}$

$A_s$  : Área de la armadura a tracción,  $\text{mm}^2$

$\lambda$  : Factores de modificación por peso del hormigón.

b) Las longitudes de desarrollo  $\ell_{dc}$  para barras con resaltes en compresión no debe ser menor que 200 milímetros, aún incluido la aplicación de los factores de modificación del punto c) siguiente.

c) Factores de modificación:

1. Si la armadura excede lo requerido por el análisis, la longitud de desarrollo  $\ell_{dc}$  puede multiplicarse por el cociente  $A_s$  requerido /  $A_s$  proporcionado.
2. Se puede multiplicar la longitud de desarrollo  $\ell_{dc}$  por el factor 0,75. Si la armadura está confinada por:
  - Una espiral o zuncho cuyo diámetro  $d_n$  sea mayor de 6 mm y no más de 100 milímetros de paso,
  - o dentro de estribos de diámetro  $d_n$  mayores a 12 mm, espaciados a distancias no mayores de 100 mm, medidos entre centros.

d) La longitud de desarrollo requerida para cada barra individual dentro de un paquete de barras sometido a compresión, debe ser aquella de la barra individual aumentada en un 20% para un paquete de 3 barras y en un 33% para un paquete de 4 barras.

Las longitudes de desarrollo para las barras con resaltes rectas, sometidas a esfuerzos de compresión, aceros grados A630 y A440, se presentan tanto en la Tabla 5.3.4.1, que no contempla las calidades del hormigón, y en las Tablas 5.3.4.2 y 5.3.4.3 que si los considera.

Es de suma importancia reiterar que el valor adoptado deberá ser aquel que, al comparar las Tablas, corresponda al mayor valor observado.

**Tabla 5.3.4.1**

**Longitud de Desarrollo Mínima Barras en Compresión**

Diámetro de la Barra mm	Grado Acero	
	A630	A440
8	144	96
10	181	120
12	217	144
16	289	193
18	325	217
22	397	265
25	452	301
28	506	337
32	578	385
36	650	433
40	722	482

Alcances:

- a) Los valores que se presentan en forma destacada, deben ser ajustados a las longitudes mínimas de 200 mm, exigidas por el Código ACI 318-2002.
- b) Los valores de esta Tabla deben ser utilizados sólo en caso que sean mayores que los de las Tablas 5.3.4.2 y 5.3.4.3.

**Tabla 5.3.4.2**

Longitud de desarrollo mínima para barras en compresión. Hormigón con agregado normal

 ACERO CALIDAD A630-420H ( $f_y = 420$  MPa). Factores de modificación:  $\lambda = 1,0$ 

Grado del hormigón	Resistencia especificada	Diámetro de la barra (mm)										
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40
<b>NCh170 Of.2016</b>	<b><math>f'_c</math> (MPa)</b>											
G17	17	196	244	293	391	440	538	611	685	782	880	978
G20	20	180	225	270	361	406	496	563	631	721	811	902
G25	25	161	202	242	323	363	444	504	564	645	726	806
G30	30	147	184	221	294	331	405	460	515	589	663	736
G35	35	136	170	204	273	307	375	426	477	545	613	682
G40	40	128	159	191	255	287	351	398	446	510	574	638
G45	45	120	150	180	240	270	331	376	421	481	541	601
G50	50	114	143	171	228	257	314	356	399	456	513	570
G55	55	109	136	163	217	245	299	340	381	435	489	544
G60	60	104	130	156	208	234	286	325	364	416	468	521

**Tabla 5.3.4.3**

Longitud de desarrollo mínima para barras en compresión. Hormigón con agregado normal

 ACERO CALIDAD A440-280H ( $f_y = 420$  MPa). Factores de modificación:  $\lambda = 1,0$ 

Grado del hormigón	Resistencia especificada	Diámetro de la barra (mm)										
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40
<b>NCh170 Of.2016</b>	<b><math>f'_c</math> (MPa)</b>											
G17	17	130	163	196	261	293	359	407	456	522	587	652
G20	20	120	150	180	240	270	331	376	421	481	541	601
G25	25	108	134	161	215	242	296	336	376	430	484	538
G30	30	98	123	147	196	221	270	307	344	393	442	491
G35	35	91	114	136	182	204	250	284	318	363	409	454
G40	40	85	106	128	170	191	234	266	298	340	383	425
G45	45	80	100	120	160	180	220	250	280	321	361	401
G50	50	76	95	114	152	171	209	238	266	304	342	380
G55	55	72	91	109	145	163	199	227	254	290	326	362
G60	60	69	87	104	139	156	191	217	243	278	312	347

Alcances:

- a) Los valores que se presentan destacados con fondo gris, incluso aquellos productos de la aplicación de los factores de modificación, deben ser ajustados a las longitudes mínimas de 200 mm, exigidas por el Código ACI 318-2008.
- b) Los valores básicos que se muestran en fondo azul deben reemplazarse por los valores mínimos dados en la Tabla

5.3.4.1 para los mismos diámetros, por ser mayores estos últimos.

- c) Cuando se forman paquetes de barras en compresión, es necesario aumentar la longitud de desarrollo de cada barra individual, en un 20% para un paquete de 3 barras y en un 33% para un paquete de 4 barras. Esta extensión es necesaria debido a que el agrupamiento hace más difícil generar resistencia de adherencia en el núcleo entre barras.

### 5.3.5 Desarrollo de la Armadura de Flexión

#### Consideraciones generales

Excepto en los apoyos de vigas simplemente apoyadas y en el extremo libre de voladizos, la armadura por tracción se deberá extender más allá del punto en el que teóricamente ya no es necesario resistir la flexión (Puntos de Inflexión), por lo que no se requiere cuantía de acero para resistirla, en una longitud igual al mayor valor dado  $d$  o 12 veces el diámetro  $d_n$  de la barra. Para

una mejor comprensión, en la Figura 5.3.5 se ilustra gráficamente este concepto mediante un ejemplo en una viga continua típica.

Donde  $d$  es la distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción, en milímetros.

Además, el refuerzo continuo debe tener una longitud embebida no menor que  $\ell_d$  más allá del punto en donde no se requiere refuerzo de tracción para resistir la flexión.

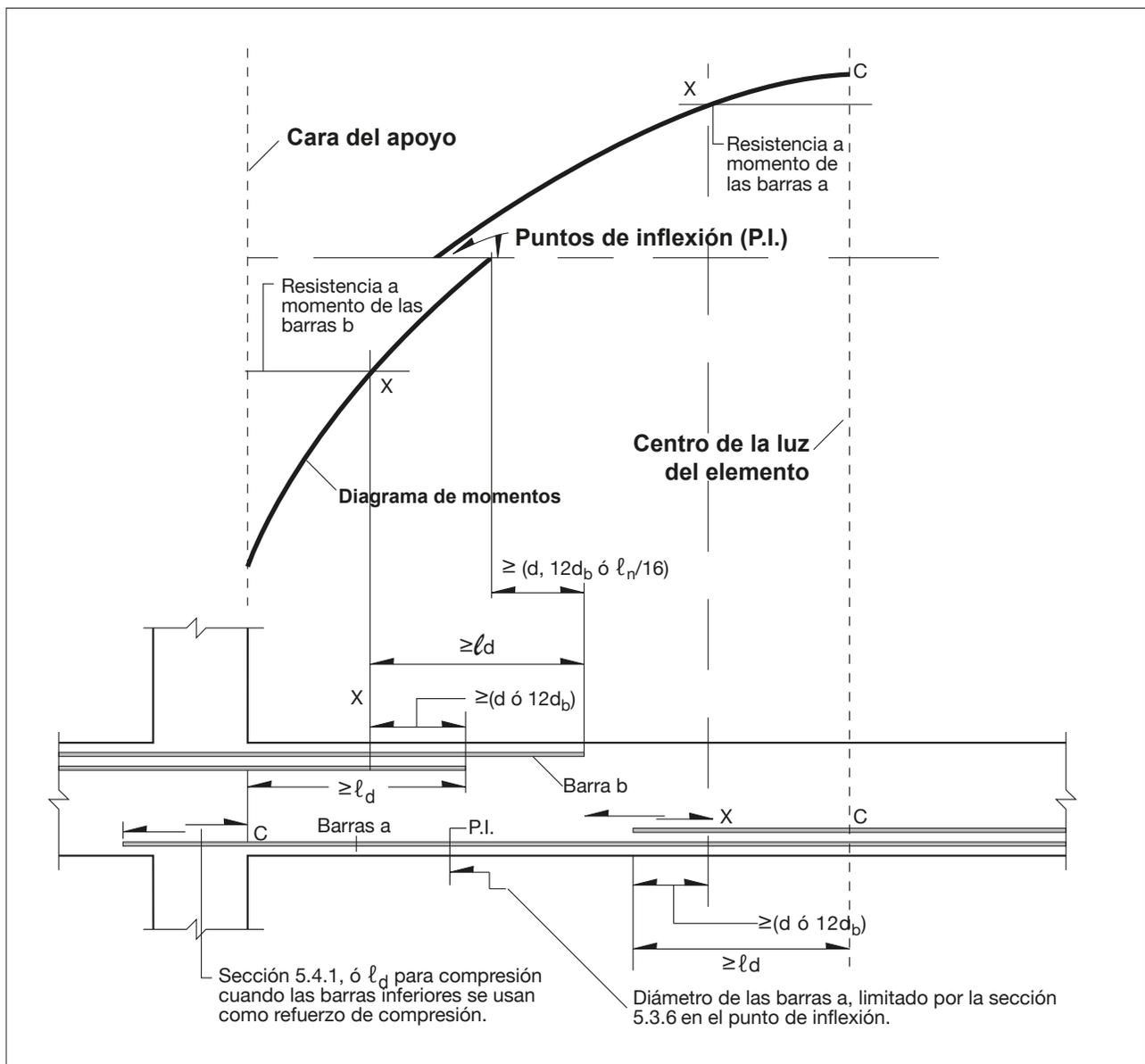


Figura 5.3.5: Ejemplo de Armadura por Flexión en una Viga Típica.

En la Tabla 5.3.5 se entregan los valores en milímetros, redondeados al centímetro superior cuando corresponde, para la longitud del anclaje de barras localizadas en zonas

sin solicitación por flexión, en base al diámetro de la barra e independiente del grado del hormigón utilizado.

Tabla 5.3.5									
Longitud de Anclaje Mínima para Barras de la Armadura en Flexión según el Diámetro									
Diámetro de la Barra (mm)									
8	10	12	16	18	22	25	28	32	36
100	120	150	200	220	270	300	340	390	440

Comentario:

No se deben usar paquetes de barras en elementos en que el acero pueda entrar en rango plástico o donde pueda quedar sometido a esfuerzos alternados de compresión y tracción.

Para la armadura transversal de elementos en flexión, ver los requisitos y condiciones establecidas en la Sección 5.6.

### 5.3.6 Desarrollo de la Armadura para Momento Positivo

En las zonas de momento positivo, se requiere que a lo menos una tercera parte de las armaduras especificadas en elementos simplemente apoyados y una cuarta parte de las armaduras especificadas en elementos continuos, se prolonguen a lo largo de la misma cara del elemento hasta

el apoyo. En vigas, el refuerzo debe prolongarse un mínimo de 150 milímetros más allá del eje del apoyo, tal como se muestra en los ejemplos de la Figura 5.3.6, con el propósito de considerar eventuales cambios en los momentos debido a variaciones de la carga, asentamiento del apoyo, efecto de cargas laterales y otras causas.

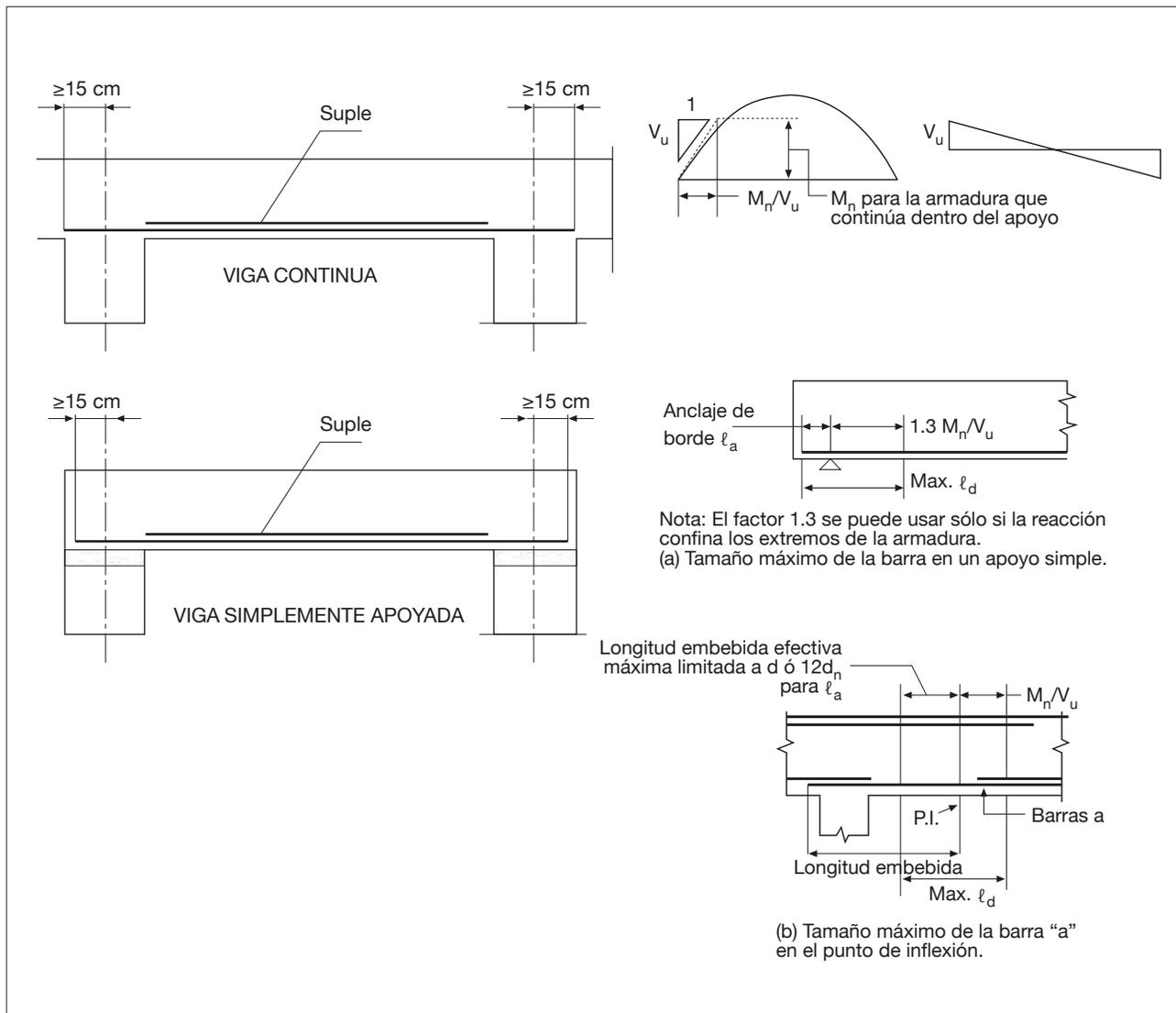


Figura 5.3.6.: Ejemplo de Anclaje en Zonas de Momento Positivo.

Además, se deberá considerar que cuando un elemento sometido a flexión sea parte fundamental de un sistema que resiste cargas laterales, la prolongación de la armadura requerida en el apoyo se deberá anclar adecuadamente, para que sea capaz de desarrollar la tensión

de fluencia especificada por tracción en la cara de apoyo y la flexibilidad de repuesta en caso de tener esfuerzos adicionales, tales como sismos. Por lo tanto, en este caso no se deberá aplicar el factor de reducción *Área acero requerido/Área acero proporcionado*, de la Tabla 5.3.3.1.

### 5.3.7 Desarrollo de la Armadura para Momento Negativo

En las zonas de momento negativo de un elemento continuo, empotrado o en voladizo, o en cualquier elemento de un marco rígido, tal como se muestra en el ejemplo de la Figura 5.3.7, se requiere que por lo menos una tercera parte de la armadura total por tracción proporcionada para resistir el

momento negativo, deba anclarse en o a través de los elementos de apoyo, mediante una longitud embebida más allá del punto de inflexión, igual al mayor valor dado por  $d$  del elemento, 12 veces el diámetro  $d_n$  de la barra ó  $1/16$  de la luz libre  $L$  del tramo, o mediante ganchos normales de longitud de anclaje conforme a los valores dados en las Tablas 5.3.3.2 y 5.3.3.3, incluidos los factores de modificación indicados en la Tabla 5.3.3.1 precedente, si así correspondiera.

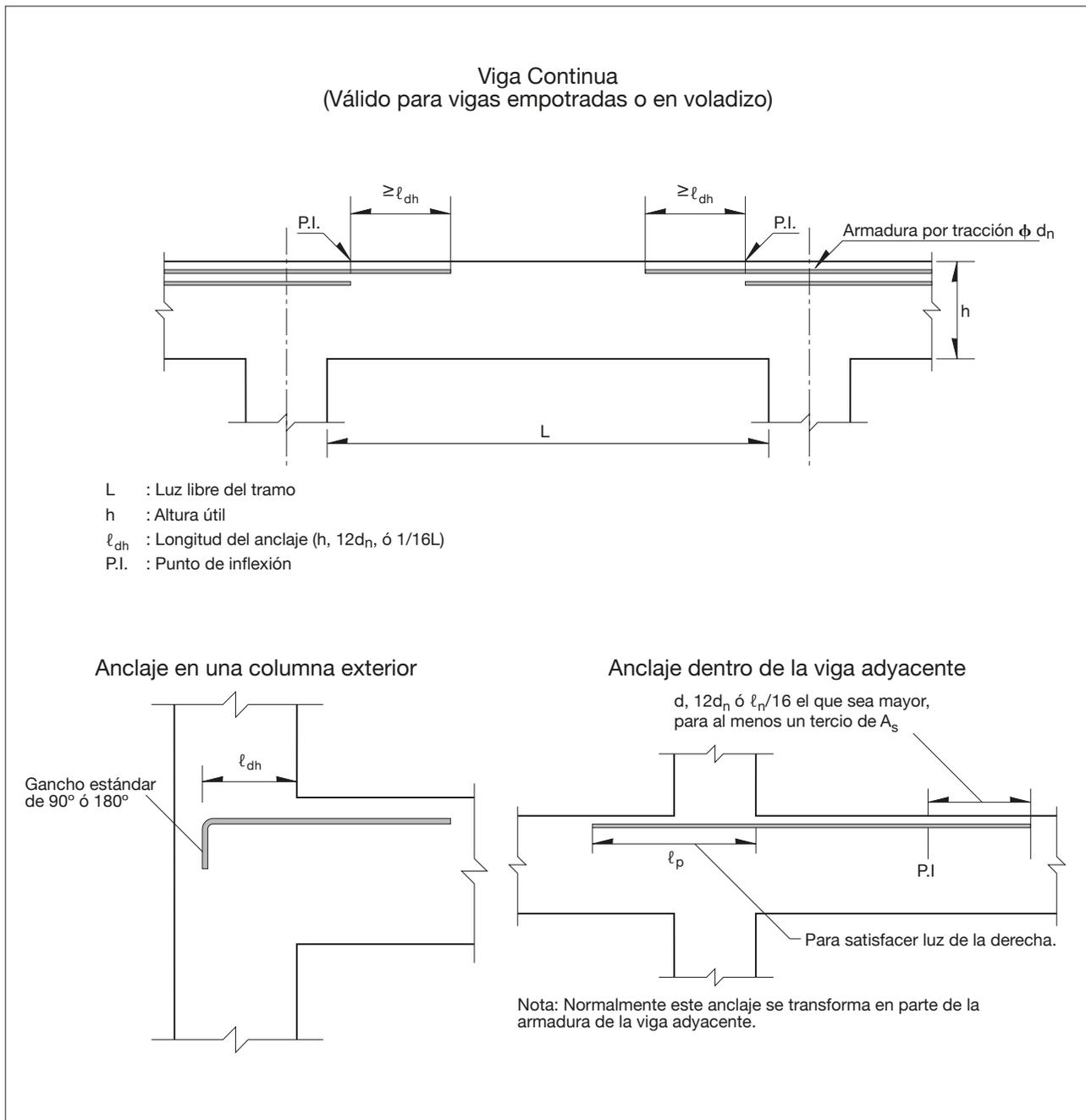


Figura 5.3.7: Ejemplo de Anclaje en Zonas de Momento Negativo

### 5.3.8 Desarrollo de la Armadura del Alma

Conforme a lo dispuesto en la sección 12.13 del Código ACI 318-2008, la armadura del alma debe instalarse lo más cerca posible de las superficies sometidas a tracción y compresión del elemento, tanto como lo posibiliten los requisitos de recubrimiento señalados en el Capítulo 6 del presente Manual y la proximidad de otras armaduras.

Los extremos de las ramas individuales de los estribos en U, simples o múltiples, deben anclarse e instalarse alrededor de la armadura longitudinal, y sus ganchos cumplir con las medidas mínimas señaladas en las Tablas 5.3.8.1 a la 5.3.8.3 siguientes, para acero grado A440.

En el alcance al pie de la Tabla 5.3.8.3, se explican las condiciones explícitas que se deben cumplir para el acero grado A630.

Tabla 5.3.8.1			Acero A440 ( $f_y = 280$ MPa)
Armadura del Alma - Medidas Mínimas Estribos en U con Ganchos			
$d_n$ Barra mm	D Mínimo mm	K Mínima mm	Detalle del Gancho Doblez de 90°
8	32	48	
10	40	60	
12	48	72	
16	64	96	
18	108	216	
22	132	264	
25	150	300	

Tabla 5.3.8.2			Acero A440 ( $f_y = 280$ MPa)
Armadura del Alma - Medidas Mínimas Estribos en U con Ganchos			
$d_n$ Barra mm	D Mínimo mm	K Mínima mm	Detalle del Gancho Doblez de 135°
8	32	48	
10	40	60	
12	48	72	
16	64	96	
18	108	108	
22	132	132	
25	150	150	

Tabla 5.3.8.3 Armadura del Alma - Medidas Mínimas Estribos en U con Ganchos			Acero A440 ( $f_y = 280$ MPa)
$d_n$ Barra mm	D Mínimo mm	K Mínima mm	Detalle del Gancho Dobleces de 180°
8	32	60	
10	40	60	
12	48	60	
16	64	64	
18	108	72	
22	132	88	
25	150	100	

**Condiciones:**

Para barras de acero grado A630 ( $f_y = 420$  MPa).

- a) El ingeniero a cargo del proyecto estructural debe verificar la longitud embebida requerida para el gancho del estribo.
- b) Para los ganchos de los estribos son preferibles dobleces de 135° ó 180°, pero es aceptable el uso de ganchos de 90° siempre y cuando el extremo libre K del gancho tenga una extensión  $\geq 12d_n$  de la barra.
- c) Los estribos con  $d_n$  igual a 18, 22 y 25 mm deben anclarse mediante un gancho estándar alrededor de una barra longitudinal más una longitud embebida, entre el punto medio de la altura del elemento y el extremo exterior del gancho, igual o mayor que  $\left( \frac{0,17 f_{yt}}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_n$

**Donde**

$f_{yt}$ : Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo transversal, MPa.

- d) Para pórticos sometidos a flexión, se deberán usar estribos cerrados de confinamiento donde el extremo libre del gancho no debe ser menor a  $6d_n$  o 75 mm.

#### 5.4 BARRAS DOBLADAS POR CAMBIO DE SECCION DE COLUMNAS

Las barras con dobleces debido a un cambio de sección de la columna (Figura 5.4.1), deben cumplir con las condiciones siguientes.

**Condiciones:**

- a) La pendiente de la parte inclinada de una barra de este tipo, no debe exceder la razón 1:6 respecto al eje de la columna.
- b) Las partes de la barra que estén sobre y bajo la zona doblada, deben ser paralelas al eje de la columna.
- c) Una barra doblada por cambio de sección, debe estar dotada de un apoyo horizontal adecuado, mediante estribos transversales, zunchos (espirales) o partes del sistema de entrepiso o losa.
- d) El apoyo horizontal debe diseñarse para resistir 1,5 veces la componente horizontal de la fuerza calculada en la porción inclinada de dicha barra.
- e) Los estribos transversales o zunchos, en caso de utilizarse, se deben colocar a una distancia no mayor de 150 milímetros de los puntos de doblado.
- f) Las barras en los cambios de sección se deben doblar antes de su armado e instalación y por ningún motivo si ya están embebidas en el hormigón.
- g) Cuando la cara de una columna esté desalineada 75 milímetros o más, por un cambio de sección, las barras longitudinales no se deben doblar para seguir ese cambio de plomo. Se deben proporcionar pasadores traslapados con las barras longitudinales, adyacentes a las caras desalineadas de la columna.
- h) Los traslapes de barras deben cumplir con lo señalado en la Sección 5.7 de este Manual, a no ser que los planos indiquen otra cosa.
- i) Las condiciones y exigencias especiales para núcleos de acero deben ser establecidas por el ingeniero estructural responsable del proyecto.

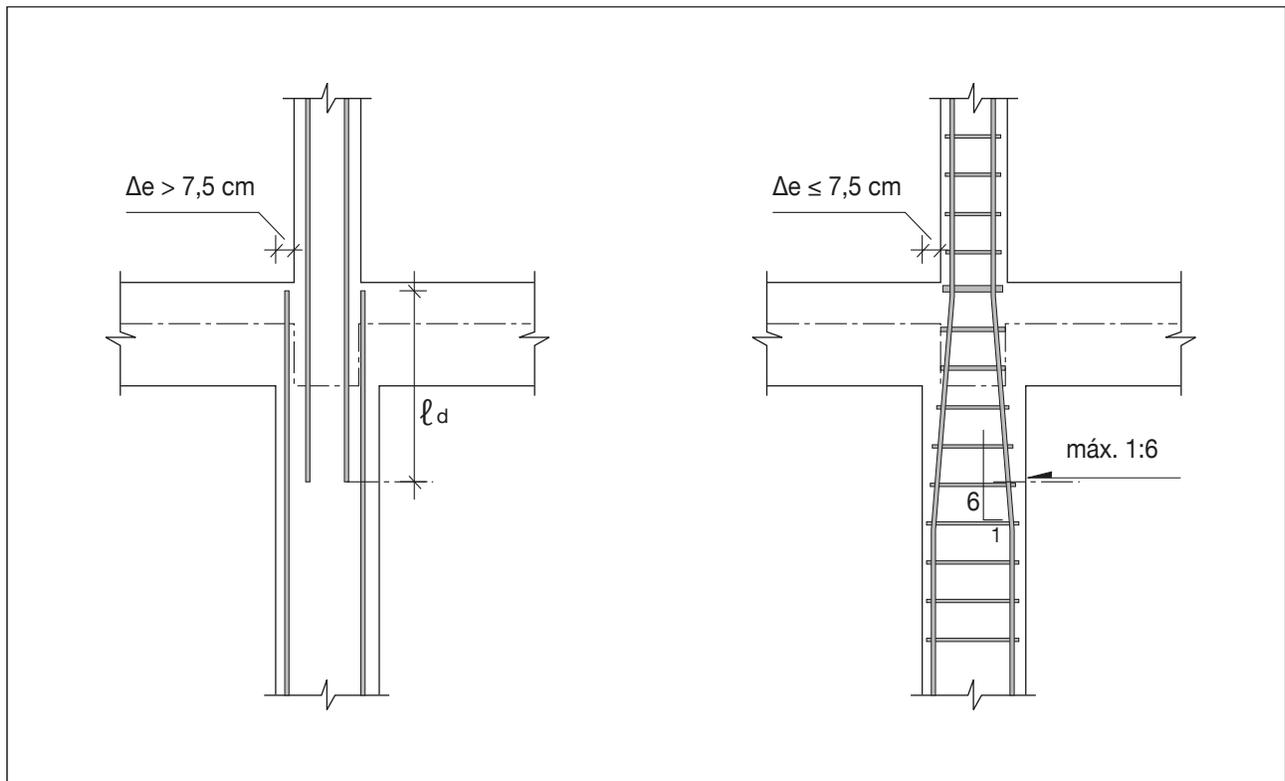


Figura 5.4: Ejemplo de Barras Longitudinales en una columna por cambio de sección.

## 5.5 ARMADURA TRANSVERSAL PARA ELEMENTOS EN COMPRESION

La armadura transversal de elementos en compresión debe cumplir con las disposiciones siguientes, salvo que los planos o el ingeniero estructural responsable del proyecto disponga otra cosa.

Para el caso que se requiera armadura por corte o torsión o armadura para elementos compuestos en compresión, los requisitos y su cumplimiento deben ser establecidos por el proyectista.

### 5.5.1 Zunchos

a) Los zunchos para elementos en compresión deben mantenerse firmemente colocados, bien alineados y cumplir con la fórmula [5.5.1] siguiente:

$$\rho_s \geq 0,45 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \quad [5.5.1]$$

Notación:

$\rho_s$  : Armadura del zuncho, mm<sup>2</sup>

$A_g$  : Área bruta de la sección de hormigón, mm<sup>2</sup>

$A_{ch}$  : Área de la sección transversal de un elemento estructural, medida entre los bordes exteriores del refuerzo transversal, mm<sup>2</sup>

$f'_c$  : Resistencia especificada a la compresión del hormigón, MPa.

$f_{yt}$  : Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo, MPa.

- b) Los zunchos deben consistir en barras o alambres espaciados uniformemente, con un tamaño y posición que permitan su manejo y colocación, sin variar las dimensiones de diseño.
- c) Espaciamiento libre entre espirales de los zunchos no deben exceder de 75 milímetros y no ser menor de 25 milímetros.
- d) El anclaje de los zunchos debe consistir en un aumento de 1,5 vueltas más de la barra o alambre, en cada extremo del zuncho.
- e) La armadura en zuncho se puede empalmar, si se requiere, con un traslapo no menor de 300 milímetros ni menor a los largos señalados en la Tabla 5.5.1, en función de su diámetro nominal  $d_n$ :

**Tabla 5.5.1**

Longitudes de traslapo mínimas en armaduras de zunchos

Condición		Longitud mínima del traslapo mm
1	Barra o alambre con resaltes sin recubrimiento	48 $d_n$
2	Barra o alambre liso sin recubrimiento	72 $d_n$
3	Barra o alambre con resaltes con recubrimiento epóxico	72 $d_n$
4	Barra o alambre liso sin recubrimiento, con gancho estándar de estribo (Sección 4.6.2) en sus extremos empalmados. Los ganchos deben estar embebidos en el núcleo confinado por el zuncho.	48 $d_n$
5	Barra o alambre con resaltes con recubrimiento epóxico, con un gancho estándar de estribo (Sección 4.6.2) en sus extremos empalmados. Los ganchos deben estar embebidos en el núcleo confinado por el zuncho	48 $d_n$

- f) La armadura en zuncho se puede empalmar con un dispositivo mecánico, siempre y cuando se cumplan las condiciones señaladas en la Sección 5.9.
- g) Los zunchos deben extenderse desde la parte superior de la zapata o losa en cualquier nivel, hasta la altura de la armadura horizontal más baja del elemento soportado.
- h) Cuando no existan vigas o ménsulas en todos los lados de una columna, los estribos deben colocarse por encima de la terminación del zuncho, hasta la parte inferior de la losa.
- i) En columnas con capitel, el zuncho debe extenderse hasta un nivel en el cual el diámetro o ancho del capitel sea 2 veces el de la columna.

### 5.5.2 Estribos

Los estribos para elementos en compresión deben mantenerse firmemente colocadas, bien alineadas y cumplir con las condiciones siguientes.

- a) Todas las barras longitudinales deben estar confinadas por medio de estribos transversales construidas a partir de barras con resaltes de por lo menos 10 milímetros de diámetro para barras de  $d_n$  32 mm o menores; y de diámetro mínimo de 12 milímetros para barras longitudinales de  $d_n$  36 y de 40 mm y paquetes de barras.
- b) El espaciamiento vertical de los estribos no debe exceder de  $16 d_n$  de la barra longitudinal, de  $48 d_n$  de la barra de

los estribos, o de la menor dimensión del elemento en compresión.

- c) Los estribos deben disponerse de tal forma que cada barra longitudinal de esquina y barra alternada, tenga apoyo lateral proporcionado por la esquina de un estribo con un ángulo interior de doblado no mayor de  $135^\circ$  y ninguna barra longitudinal debe estar separada a más de 150 milímetros libres, de una barra apoyada transversalmente. (Ver Figura 5.5.2).
- d) Cuando las barras longitudinales estén localizadas alrededor del perímetro de un círculo, se permite el uso de un estribo circular completo.
- e) La distancia vertical entre los estribos de los extremos de los elementos y la parte superior de la zapata o losa de entrepiso, o la armadura horizontal más baja de la losa, debe ser menor a la mitad del espaciamiento entre estribos.
- f) Cuando las vigas o ménsulas concurren a una columna desde cuatro direcciones distintas, se permite colocar el último estribo a no más de 75 milímetros debajo de la armadura más baja de la viga o ménsula de menor altura.
- g) En el lugar de los extremos de las columnas o pedestales, donde se instalen pernos de anclaje, éstos deben ser circundados por armadura lateral que también rodee al menos cuatro barras verticales de la columna o pedestal. La armadura transversal debe distribuirse dentro de 125 milímetros desde el tope de la columna o pedestal y debe consistir en al menos dos barras de  $d_n$  12 mm o tres de  $d_n$  10 mm.

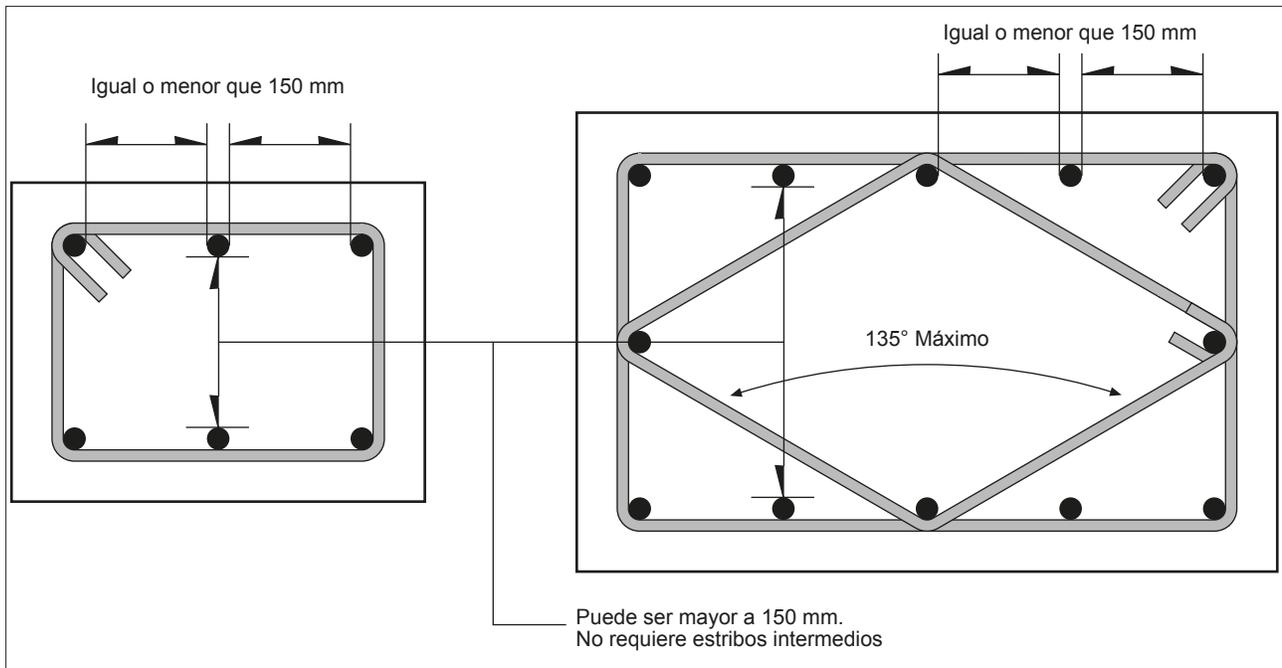


Figura 5.5.2: Croquis aclaratorio de las medidas entre barras de columna apoyadas lateralmente.

### 5.6 ARMADURA TRANSVERSAL PARA ELEMENTOS A FLEXION

- a) La armadura de compresión en vigas debe confinarse con estribos que cumplan las limitaciones de tamaño y espaciamiento establecidas en la Sección 5.5.2 precedente y deben colocarse a lo largo de toda la distancia donde se requiera armadura de compresión.
- b) La armadura transversal para elementos de marcos sometidos a esfuerzos reversibles de flexión o a torsión en los apoyos, debe consistir en estribos cerrados o zunchos, que se extiendan alrededor de la armadura de flexión.
- c) Los estribos cerrados se deben formar de una sola pieza, superponiendo sus ganchos extremos alrededor de la misma barra longitudinal, o se deben formar de una o dos piezas unidas mediante un empalme por traslape Clase B (Sección 5.8) o anclándolas de acuerdo con lo dispuesto en la Sección 5.3.8 precedente.

### 5.7 EMPALMES DE LAS BARRAS

Las longitudes para el empalme entre barras con resaltes, se clasifican según el tipo de sollicitación a la cual estén

sometidas las barras, tracción o compresión, al grado del acero y calidad del hormigón utilizado, se pueden efectuar mediante el traslape de las barras fijándolas con alambre, que es lo más habitual en Chile, o utilizando conexiones mecánicas, si así lo permiten las especificaciones y los planos y lo autoriza el profesional competente responsable del proyecto.

Condiciones generales:

- a) Aun cuando, la sección 12.14 del Código ACI 318-2008 permite el uso de un empalme mecánico para barras en tracción o compresión, este debe ser completo y desarrollar al menos un 125% de la resistencia a la fluencia  $f_y$  especificada para el acero de la barra.
- b) La norma chilena NCh204 Of.2020 no garantiza la soldabilidad de las barras con resaltes para hormigón, por lo que es recomendable que el diseñador considere el empleo de barras de refuerzo soldables Sold-AZA®, de la norma NCh3334:2014. En casos muy especiales puede ser especificado por ingeniería el empalme soldado, siempre y cuando esté considerada la soldabilidad del acero según su índice de carbono equivalente CE y la composición química del acero (Tabla 5.7.1 y consultar la Sección 1.2.4 respecto de la soldabilidad de las barras de refuerzo para hormigón AZA):

**Tabla 5.7.1**

Límites máximos de contenido de elementos químicos y Carbono Equivalente en aceros de refuerzo soldables Sold-AZA®, Grado A630 S

% Carbono (C)	% Manganeso (Mn)	% Fósforo (P)	% Azufre (S)	% Silicio (Si)
0,30	1,50	0,035	0,045	0,50

$$C.E. = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cu}{40} + \frac{\%Ni}{20} + \frac{\%Cr}{10} - \frac{\%Mo}{50} - \frac{\%V}{10} \leq 0,55\%$$

Norma NCh3334:2014

El análisis químico se debe realizar en cada colada. Este análisis y el valor del CE es informado en el Certificado emitido por el Organismo de Certificación.

También el diseñador o profesional competente debe considerar que si mezcla barras de la norma NCh204 Of.2020 con las de la norma NCh3334:2014, aún cuando posean un mismo grado, existen diferencias en las tensiones de fluencia máximas, que pueden afectar el diseño. Por eso es recomendable verificar de los informes oficiales de ensayo, que todas las tensiones de fluencia no superen los 545 MPa (ver Tabla 1.2.2 Nota c). Este Manual no trata en profundidad la soldadura de las barras de refuerzo. En estos casos, las operaciones de soldadura se recomiendan que sean ejecutadas en instalaciones fijas, con equipamiento y personal que permita un proceso controlado en condiciones prefijadas, registradas y estables para asegurar la correcta utilización de las barras Sold-AZA® al momento de soldarlas. Para un correcto procedimiento de soldadura, se debe utilizar el código de la AWS D1.4:2011 Structural Welding Code – Reinforcing Steel.

- c) Dado que sólo se permite hacer empalmes cuando lo permitan los planos de cálculo y sus especificaciones, es importante tomar la precaución de no tener varios empalmes en el mismo punto o proyección, es decir deben estar escalonados. (Ver la Figura 5.7).
- d) La longitud de desarrollo requerida para los empalmes por traslape de paquetes de barras, sometidas a tracción o compresión, debe ser aquella de la barra individual aumentada en un 20% para un paquete de 3 barras y en un 33% para un paquete de 4 barras.
- e) Los traslapes de las barras individuales del paquete no deben sobreponerse y no deben traslaparse paquetes enteros.
- f) En los elementos sometidos a flexión, las barras individuales traslapadas que no queden en contacto entre sí, no deben separarse transversalmente a más de 1/5 de la longitud de traslape requerida, ni más de 150 milímetros.

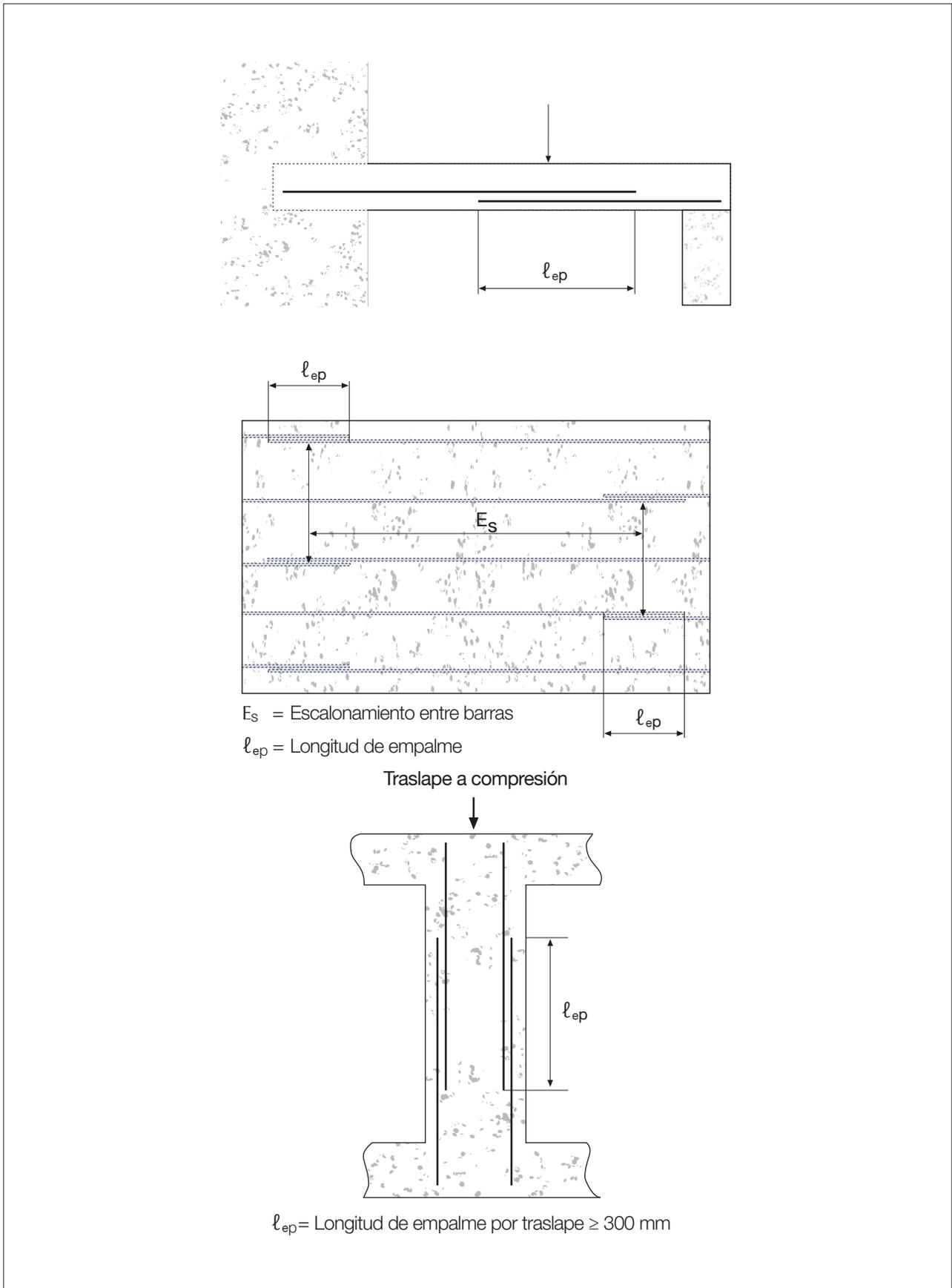


Figura 5.7: Ejemplos de empalmes de barras.

### 5.7.1 Empalme por Traslape de Barras en Tracción

Condiciones:

- a) Los empalmes por traslape de las barras con resaltes sometidas a tracción, se clasifican como Clase A y B, y sus condiciones se señalan en la Tabla 5.7.1.1.
- b) La longitud mínima de empalme por traslape para las barras con resaltes en tracción, requerida para los empalmes Clase A y Clase B, no deberá ser menor que 300 milímetros.
- c) La longitud mínima de empalme por traslape Clase A, para las barras con resaltes rectas en tracción, es igual a lo longitud de desarrollo en tracción  $\ell_d$  para barras con resaltes rectas, se muestran en la Tabla 5.3.2.1, y sus valores calculados para los Casos A y B concernientes, se presentan en las Tablas 5.7.1.2 a la 5.7.1.5 inclusive.
- d) La longitud de empalme por traslape clase A, para las barras con resaltes en tracción, está condicionada a los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\Psi_t$  y  $\Psi_e$ , señalados en la Tabla 5.3.2.2, aplicables según sean las exigencias del caso.
- e) Las longitudes mínimas de empalmes por traslape Clase B, para las barras con resaltes en tracción, son equivalentes a  $1,3 * \ell_d$ , y sus valores calculados para los Casos A y B respectivos, se presentan en las Tablas 5.7.1.6 a la 5.7.1.9 inclusive.
- f) Las longitudes de desarrollo  $\ell_d$  para el anclaje de barras con resaltes en tracción, que se consideran como base de las longitudes mínimas de los empalmes por traslape Clase A y Clase B, Casos A y B, no deben contemplar el factor  $A_s$  de corrección por exceso de armadura de la Tabla 5.3.3.1.
- g) Los empalmes por traslape de barras con resaltes en tracción, deben ser clase B. Solo se admiten empalmes Clase A, cuando:
  1. El área de la armadura proporcionada, es al menos el doble que el requerido por el cálculo, a todo lo largo del traslape, o
  2. Cuando la mitad o menos de la armadura total, está traslapado dentro de la longitud de traslape requerido.
- h) Para barras en tracción, para los empalmes por traslape deben estar escalonados a no menos de 600 milímetros y no menor de 750 milímetros para empalmes con conexiones mecánicas, si están autorizados por el profesional competente (Ver Sección 5.9).

**Tabla 5.7.1.1**

**Condiciones para la Clase de Empalme por Traslape - Barras con Resaltes en Tracción**

$\frac{A_s \text{ requerido}}{A_s \text{ proporcionado}}$	Porcentaje máximo de $A_s$ empalmado en la longitud requerida para dicho empalme	
	50%	100%
Igual o mayor que 2	Clase A	Clase B
Menor que 2	Clase B	Clase B

$A_s$  = Área de la armadura en tracción, mm<sup>2</sup>

**Tabla 5.7.1.2**  
**Longitud mínima de empalme por traslapeo en tracción - Empalme Clase A y Caso A.**  
**ACERO CALIDAD A630-420H ( $f_y = 420$  MPa). Factores de modificación:  $\Psi_t = 1,0$ ;  $\Psi_e = 1,0$ ;  $\lambda = 1,0$**

Grado del hormigón	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)										
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40
NCh170 Of.2016	$f'_c$ (MPa)	8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40
G17	17	388	485	582	776	873	1.318	1.498	1.678	1.917	2.157	2.397
G20	20	358	447	537	716	805	1.215	1.381	1.547	1.768	1.989	2.210
G25	25	320	400	480	640	720	1.087	1.235	1.384	1.581	1.779	1.976
G30	30	292	365	438	584	657	992	1.128	1.263	1.443	1.624	1.804
G35	35	270	338	406	541	609	919	1.044	1.169	1.336	1.503	1.670
G40	40	253	316	379	506	569	859	977	1.094	1.250	1.406	1.563
G45	45	239	298	358	477	537	810	921	1.031	1.179	1.326	1.473
G50	50	226	283	339	453	509	769	873	978	1.118	1.258	1.398
G55	55	216	270	324	431	485	733	833	933	1.066	1.199	1.333
G60	60	207	258	310	413	465	702	797	893	1.021	1.148	1.276

**Tabla 5.7.1.3**  
**Longitud mínima de empalme por traslapeo en tracción - Empalme Clase A y Caso A.**  
**ACERO CALIDAD A440-280H ( $f_y = 280$  MPa). Factores de modificación:  $\Psi_t = 1,0$ ;  $\Psi_e = 1,0$ ;  $\lambda = 1,0$**

Grado del hormigón	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)										
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40
NCh170 Of.2016	$f'_c$ (MPa)	8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40
G17	17	259	323	388	517	582	879	999	1.119	1.278	1.438	1.598
G20	20	239	298	358	477	537	810	921	1.031	1.179	1.326	1.473
G25	25	213	267	320	427	480	725	824	922	1.054	1.186	1.318
G30	30	195	243	292	389	438	662	752	842	962	1.083	1.203
G35	35	180	225	270	361	406	612	696	780	891	1.002	1.114
G40	40	169	211	253	337	379	573	651	729	833	938	1.042
G45	45	159	199	239	318	358	540	614	687	786	884	982
G50	50	151	189	226	302	339	512	582	652	745	839	932
G55	55	144	180	216	288	324	489	555	622	711	800	888
G60	60	138	172	207	275	310	468	532	595	680	765	851

Alcances:

- a) Los valores de las Tablas que se presentan en forma destacada, deberán ser ajustados a las longitudes mínimas de 300 mm de desarrollo, exigidas por el Código ACI 318-2008, incluso esto es necesario si son aplicados los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\Psi_t$  y  $\Psi_e$  de la Tabla 5.3.2.2, pero sin el factor  $A_s$  requerido /  $A_s$  proporcionado.
- b) Los valores de estas Tablas están condicionados a la aplicación de los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\Psi_t$  y  $\Psi_e$

- c) Cuando se forman paquetes de barras sometidas a tracción, es necesario aumentar la longitud de desarrollo de cada barra individual, en un 20% para un paquete de 3 barras y en un 33% para un paquete de 4 barras. Esta extensión es necesaria debido a que el agrupamiento hace más difícil generar resistencia de adherencia en el núcleo entre barras.

**Tabla 5.7.1.4**

Longitud mínima de empalme por traslapeo en tracción - Empalme Clase A y Caso B.

 ACERO CALIDAD A630-420H ( $f_y = 420$  MPa). Factores de modificación:  $\Psi_t = 1,0$ ;  $\Psi_e = 1,0$ ;  $\lambda = 1,0$ 

Grado del hormigón	Resistencia especificada	Diámetro de la barra (mm)										
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40
<b>NCh170 Of.2016</b>	<b>f'<sub>c</sub> (MPa)</b>											
G17	17	582	728	873	1.164	1.310	2.037	2.315	2.593	2.963	3.334	3.704
G20	20	537	671	805	1.073	1.207	1.878	2.134	2.391	2.732	3.074	3.415
G25	25	480	600	720	960	1.080	1.680	1.909	2.138	2.444	2.749	3.055
G30	30	438	548	657	876	986	1.534	1.743	1.952	2.231	2.510	2.788
G35	35	406	507	609	811	913	1.420	1.613	1.807	2.065	2.323	2.582
G40	40	379	474	569	759	854	1.328	1.509	1.690	1.932	2.173	2.415
G45	45	358	447	537	716	805	1.252	1.423	1.594	1.821	2.049	2.277
G50	50	339	424	509	679	764	1.188	1.350	1.512	1.728	1.944	2.160
G55	55	324	405	485	647	728	1.133	1.287	1.442	1.647	1.853	2.059
G60	60	310	387	465	620	697	1.084	1.232	1.380	1.577	1.775	1.972

**Tabla 5.7.1.5**

Longitud mínima de empalme por traslapeo en tracción - Empalme Clase A y Caso B.

 ACERO CALIDAD A440-280H ( $f_y = 280$  MPa). Factores de modificación:  $\Psi_t = 1,0$ ;  $\Psi_e = 1,0$ ;  $\lambda = 1,0$ 

Grado del hormigón	Resistencia especificada	Diámetro de la barra (mm)										
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40
<b>NCh170 Of.2016</b>	<b>f'<sub>c</sub> (MPa)</b>											
G17	17	388	485	582	776	873	1.358	1.543	1.729	1.976	2.223	2.469
G20	20	358	447	537	716	805	1.252	1.423	1.594	1.821	2.049	2.277
G25	25	320	400	480	640	720	1.120	1.273	1.425	1.629	1.833	2.036
G30	30	292	365	438	584	657	1.022	1.162	1.301	1.487	1.673	1.859
G35	35	270	338	406	541	609	947	1.076	1.205	1.377	1.549	1.721
G40	40	253	316	379	506	569	885	1.006	1.127	1.288	1.449	1.610
G45	45	239	298	358	477	537	835	949	1.062	1.214	1.366	1.518
G50	50	226	283	339	453	509	792	900	1.008	1.152	1.296	1.440
G55	55	216	270	324	431	485	755	858	961	1.098	1.236	1.373
G60	60	207	258	310	413	465	723	822	920	1.052	1.183	1.314

Alcances:

- Los valores de las Tablas que se presentan en forma destacada, deberán ser ajustados a las longitudes mínimas de 300 mm de desarrollo, exigidas por el Código ACI 318-2008, incluso esto es necesario si son aplicados los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\Psi_t$  y  $\Psi_e$  de la Tabla 5.3.2.2, pero sin el factor  $A_s$  requerido /  $A_s$  proporcionado.
- Los valores de estas Tablas están condicionados a la aplicación de los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\Psi_t$  y  $\Psi_e$  de

- la Tabla 5.3.2.2, según lo requieran las especificaciones del caso, pero sin el factor  $A_s$  requerido /  $A_s$  proporcionado.
- Cuando se forman paquetes de barras sometidas a tracción, es necesario aumentar la longitud de desarrollo de cada barra individual, en un 20% para un paquete de 3 barras y en un 33% para un paquete de 4 barras. Esta extensión es necesaria debido a que el agrupamiento hace más difícil generar resistencia de adherencia en el núcleo entre barras.

**Tabla 5.7.1.6**  
**Longitud mínima de empalme por traslapeo en tracción - Empalme Clase B y Caso A.**  
**ACERO CALIDAD A630-420H ( $f_y = 420$  MPa). Factores de modificación:  $\Psi_t = 1,0$ ;  $\Psi_e = 1,0$ ;  $\lambda = 1,0$**

Grado del hormigón	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)											
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40	
NCh170 Of.2016	$f'_c$ (MPa)												
G17	17	504	631	757	1.009	1.135	1.714	1.947	2.181	2.493	2.804	3.116	
G20	20	465	581	698	930	1.046	1.580	1.795	2.011	2.298	2.585	2.873	
G25	25	416	520	624	832	936	1.413	1.606	1.799	2.056	2.312	2.569	
G30	30	380	475	570	760	854	1.290	1.466	1.642	1.876	2.111	2.346	
G35	35	352	439	527	703	791	1.194	1.357	1.520	1.737	1.954	2.172	
G40	40	329	411	493	658	740	1.117	1.270	1.422	1.625	1.828	2.031	
G45	45	310	388	465	620	698	1.053	1.197	1.341	1.532	1.724	1.915	
G50	50	294	368	441	588	662	999	1.136	1.272	1.453	1.635	1.817	
G55	55	280	351	421	561	631	953	1.083	1.213	1.386	1.559	1.732	
G60	60	269	336	403	537	604	912	1.037	1.161	1.327	1.493	1.659	

**Tabla 5.7.1.7**  
**Longitud mínima de empalme por traslapeo en tracción - Empalme Clase B y Caso A.**  
**ACERO CALIDAD A440-280H ( $f_y = 280$  MPa). Factores de modificación:  $\Psi_t = 1,0$ ;  $\Psi_e = 1,0$ ;  $\lambda = 1,0$**

Grado del hormigón	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)											
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40	
NCh170 Of.2016	$f'_c$ (MPa)												
G17	17	336	420	504	673	757	1.142	1.298	1.454	1.662	1.870	2.077	
G20	20	310	388	465	620	698	1.053	1.197	1.341	1.532	1.724	1.915	
G25	25	277	347	416	555	624	942	1.071	1.199	1.370	1.542	1.713	
G30	30	253	316	380	506	570	860	977	1.095	1.251	1.407	1.564	
G35	35	234	293	352	469	527	796	905	1.013	1.158	1.303	1.448	
G40	40	219	274	329	439	493	745	846	948	1.083	1.219	1.354	
G45	45	207	258	310	413	465	702	798	894	1.021	1.149	1.277	
G50	50	196	245	294	392	441	666	757	848	969	1.090	1.211	
G55	55	187	234	280	374	421	635	722	808	924	1.039	1.155	
G60	60	179	224	269	358	403	608	691	774	885	995	1.106	

Alcances:

- a) Los valores de la Tabla que se presentan en forma destacada, deberán ser ajustados a las longitudes mínimas de 300 mm de desarrollo, exigidas por el Código ACI 318-2008, incluso esto es necesario si son aplicados los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\Psi_t$  y  $\Psi_e$  de la Tabla 5.3.2.2, pero sin el factor  $A_s$  requerido /  $A_s$  proporcionado.
- b) Los valores de estas Tablas están condicionados a la aplicación de los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\Psi_t$  y  $\Psi_e$  de

- la Tabla 5.3.2.2, según lo requieran las especificaciones del caso, pero sin el factor  $A_s$  requerido /  $A_s$  proporcionado.
- c) Cuando se forman paquetes de barras sometidas a tracción, es necesario aumentar la longitud de desarrollo de cada barra individual, en un 20% para un paquete de 3 barras y en un 33% para un paquete de 4 barras. Esta extensión es necesaria debido a que el agrupamiento hace más difícil generar resistencia de adherencia en el núcleo entre barras.

**Tabla 5.7.1.8**

Longitud mínima de empalme por traslapeo en tracción - Empalme Clase B y Caso B.

 ACERO CALIDAD A630-420H ( $f_y = 420$  MPa). Factores de modificación:  $\Psi_t = 1,0$ ;  $\Psi_e = 1,0$ ;  $\lambda = 1,0$ 

Grado del hormigón	Resistencia especificada	Diámetro de la barra (mm)										
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40
NCh170 Of.2016	$f'_c$ (MPa)											
G17	17	757	946	1.135	1.513	1.703	2.648	3.010	3.371	3.852	4.334	4.815
G20	20	698	872	1.046	1.395	1.570	2.442	2.775	3.108	3.552	3.996	4.440
G25	25	624	780	936	1.248	1.404	2.184	2.482	2.780	3.177	3.574	3.971
G30	30	570	712	854	1.139	1.282	1.994	2.266	2.537	2.900	3.262	3.625
G35	35	527	659	791	1.055	1.187	1.846	2.098	2.349	2.685	3.020	3.356
G40	40	493	617	740	987	1.110	1.727	1.962	2.197	2.511	2.825	3.139
G45	45	465	581	698	930	1.046	1.628	1.850	2.072	2.368	2.664	2.960
G50	50	441	552	662	882	993	1.544	1.755	1.965	2.246	2.527	2.808
G55	55	421	526	631	841	947	1.472	1.673	1.874	2.142	2.409	2.677
G60	60	403	503	604	806	906	1.410	1.602	1.794	2.051	2.307	2.563

**Tabla 5.7.1.9**

Longitud mínima de empalme por traslapeo en tracción - Empalme Clase B y Caso B.

 ACERO CALIDAD A440-280H ( $f_y = 280$  MPa). Factores de modificación:  $\Psi_t = 1,0$ ;  $\Psi_e = 1,0$ ;  $\lambda = 1,0$ 

Grado del hormigón	Resistencia especificada	Diámetro de la barra (mm)										
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40
NCh170 Of.2016	$f'_c$ (MPa)											
G17	17	504	631	757	1.009	1.135	1.766	2.006	2.247	2.568	2.889	3.210
G20	20	465	581	698	930	1.046	1.628	1.850	2.072	2.368	2.664	2.960
G25	25	416	520	624	832	936	1.456	1.655	1.853	2.118	2.383	2.647
G30	30	380	475	570	760	854	1.329	1.510	1.692	1.933	2.175	2.417
G35	35	352	439	527	703	791	1.231	1.398	1.566	1.790	2.014	2.237
G40	40	329	411	493	658	740	1.151	1.308	1.465	1.674	1.884	2.093
G45	45	310	388	465	620	698	1.085	1.233	1.381	1.579	1.776	1.973
G50	50	294	368	441	588	662	1.030	1.170	1.310	1.498	1.685	1.872
G55	55	280	351	421	561	631	982	1.115	1.249	1.428	1.606	1.785
G60	60	269	336	403	537	604	940	1.068	1.196	1.367	1.538	1.709

Alcances:

- Los valores de la Tabla que se presentan en forma destacada, deberán ser ajustados a las longitudes mínimas de 300 mm de desarrollo, exigidas por el Código ACI 318-2008, incluso esto es necesario si son aplicados los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\Psi_t$  y  $\Psi_e$  de la Tabla 5.3.2.2, pero sin el factor  $A_s$  requerido /  $A_s$  proporcionado.
- Los valores de estas Tablas están condicionados a la aplicación de los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\Psi_t$  y  $\Psi_e$  de

la Tabla 5.3.2.2, según requieran las especificaciones del caso, pero sin el factor  $A_s$  requerido /  $A_s$  proporcionado.

- Cuando se forman paquetes de barras sometidas a tracción, es necesario aumentar la longitud de desarrollo de cada barra individual, en un 20% para un paquete de 3 barras y en un 33% para un paquete de 4 barras. Esta extensión es necesaria debido a que el agrupamiento hace más difícil generar resistencia de adherencia en el núcleo entre barras.

**5.7.2 Empalme por Traslape de Barras en Compresión**

Condiciones:

a) La longitud de los empalmes por traslape de las barras con resaltes en compresión, expresada en milímetros, debe ser:

$$0,07 f_y d_n \geq 300 \text{ mm}$$

Para  $f_y \leq 420 \text{ MPa}$  y  $f'_c \geq 21 \text{ MPa}$

$$(0,13 f_y - 24) d_n \geq 300 \text{ mm}$$

Para  $f_y > 420 \text{ MPa}$  y  $f'_c \geq 21 \text{ MPa}$

b) La longitud mínima de empalme por traslape requerida para las barras con resaltes en compresión, no deberá ser menor que 300 milímetros.

c) Cuando se traslapen barras con resaltes en compresión de diferentes diámetros, la longitud del empalme por traslape debe ser la mayor entre:

1. La longitud de desarrollo  $\ell_{dc}$  de la barra en compresión de diámetro mayor, o
2. La longitud del empalme por traslape de la barra en compresión de diámetro menor.

d) Para barras en compresión, se recomienda un escalonamiento no menor a 600 milímetros para el caso de empalmes por traslape y no menor de 750 milímetros para empalmes con conexiones mecánicas.

e) Se permite el uso de dispositivos mecánicos para transmitir la tensión de compresión en barras verticales (Ver Sección 5.9).

**Tabla 5.7.2**

**Longitud Mínima Empalmes por Traslape Barras en Compresión**

d <sub>n</sub> Barra	Resistencia especificada del hormigón a la compresión (NCh170 Of.2016)			
	f' <sub>c</sub> < 21 MPa		f' <sub>c</sub> ≥ 21 MPa	
	(G17, G20)		(G25 a G60)	
mm	A630	A440	A630	A440
8	318	212	239	159
10	398	265	298	199
12	477	318	358	239
16	636	424	477	318
18	716	477	537	358
22	875	583	656	437
25	994	663	746	497
28	1113	742	835	557
32	1272	848	954	636
36	1431	954	1074	716
40	1590	1060	1193	795

Los valores de esta Tabla que se presentan en forma destacada, deberán ser ajustados a la longitud mínima de 300 mm exigida por el Código ACI 318-2008.

## 5.8 AMARRAS PARA LAS ARMADURAS

### 5.8.1 Amarras con Alambre

Para fijar las barras entre sí, los empalmes traslapados y los estribos a las barras, generalmente en las obras de nuestro país, se utiliza alambre negro recocido diámetros entre 1,6 y 2,1 mm, dependiendo su uso del diámetro ó masa lineal de las barras. Este alambre se suministra en rollos de 25 a 30 kg de peso y su necesidad estimada es 20 kilogramos de alambre promedio, por tonelada métrica de armadura, incluidas las pérdidas.

Se podrá transportar el alambre de diferentes formas; siendo las más recomendadas las siguientes: cruzar sobre el hombro un rollo aproximado de 3 a 4 kg, llevar bobinas de 1 a 2 kg sujetas al cinturón o trozos de alambre de 25 centímetros de largo doblados en el cinturón.

Existen 6 tipos básicos de amarras con alambre, tal como se muestran, en la Figura 5.8.1.

1. Amarra rápida: Consiste en hacer pasar el alambre en diagonal alrededor de las dos barras, con las dos puntas hacia arriba, para posteriormente, retorcerlas con el alicate hasta que queden apretadas, cortando las puntas sobrantes o doblándolas hacia adentro. Este tipo de amarra es la más usual en losas y parrillas de fundación.
2. Amarra simple con doble alambre: Es una versión igual

a la anterior, pero, en este caso, el alambre es puesto doble con el objeto de soportar barras más pesadas.

3. Amarra envolvente: Es una clase de amarra muy efectiva, pero relativamente complicada, aunque no ejerce el mismo efecto de torsión en las barras cruzadas; a veces, es usada en vigas con puentes. En este tipo de amarra, el alambre se pasa alrededor de la mitad de una de las barras, haciendo una envoltura de media vuelta por cualquier lado para luego llevar ambos extremos por sobre la otra barra, sacándolos hacia adelante y abrazando la primera barra, donde las puntas son retorcidas y cortados los excedentes.
4. Amarra para muros: Es una amarra en la cual se pasa el alambre alrededor de la barra vertical de la malla, dándole una y media vuelta, pasándolo diagonalmente alrededor de la intersección y retorciendo ambos extremos juntos, hasta que la unión quede firme y cortando los extremos excedentes.
5. Amarra retorcida: Es una variedad de la amarra envolvente, pero más firme y es usada, habitualmente, en parrillas o enrejados pesados que tienen que ser levantadas con grúa o pluma. En este caso, al alambre se le hace dar una vuelta completa alrededor de una de las barras, procediendo en seguida, tal como para la amarra envolvente y pasando sobre la otra barra, ya sea en forma paralela o en diagonal y retorciendo ambos extremos sobre la primera barra.
6. Amarra cruzada: Esta amarra, con forma de 8, tiene la ventaja de causar poca o nada de torsión en las barras.

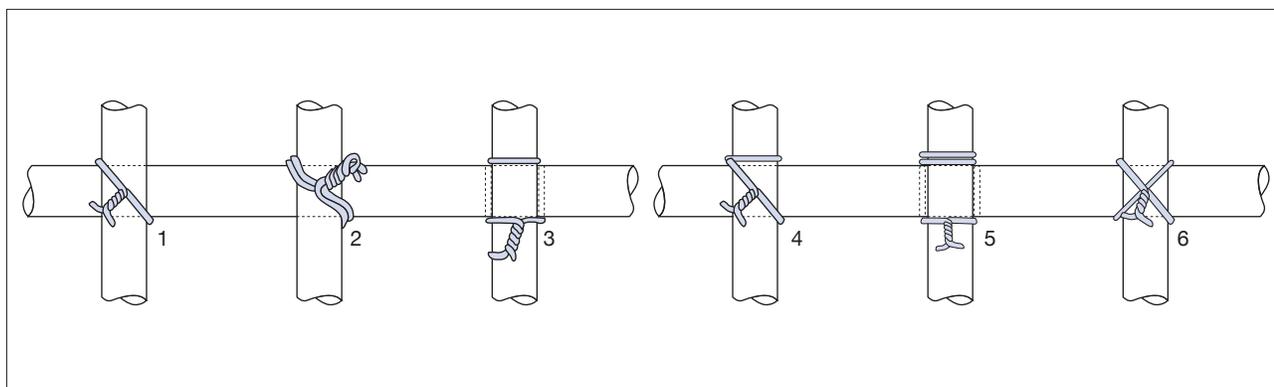


Figura 5.8.1: Amarras con alambre.

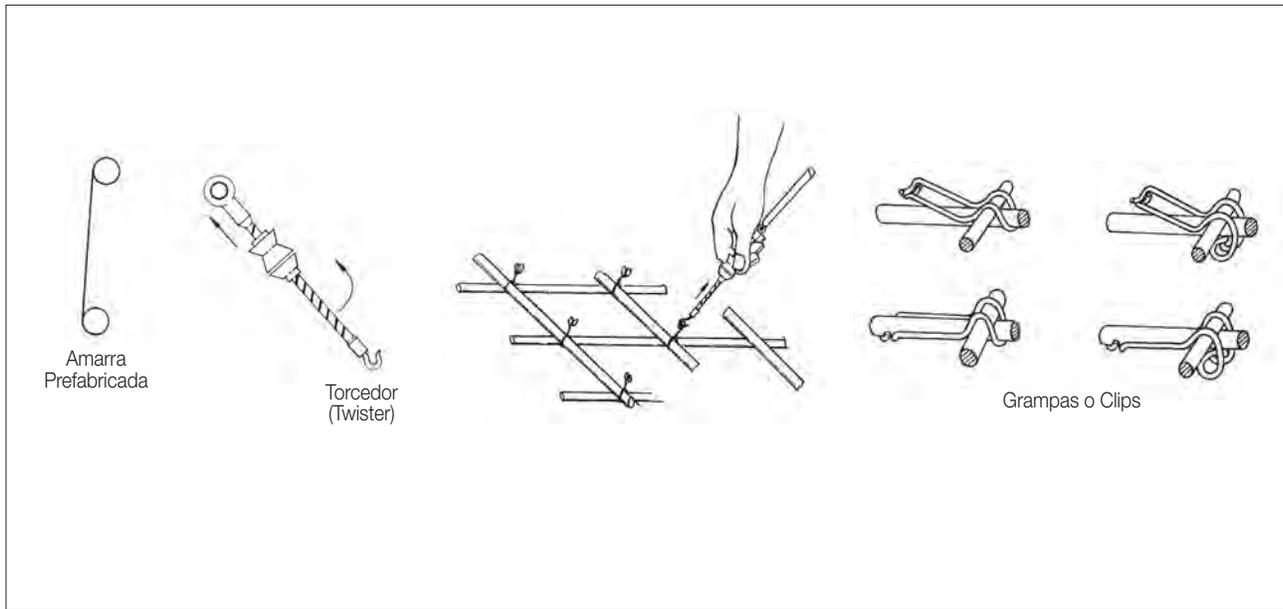


Figura 5.8.2: Amarras prefabricadas

### 5.8.2 Amarras Prefabricadas

En la Figura 5.8.2, se puede apreciar un tipo de amarra que ha sido previamente preparada, en base a un alambre de un largo apropiado para reducir excedentes y al cual se le han cerrado ambas puntas. A esta amarra, se le da una vuelta por una de las dos barras, haciendo pasar, uno de los extremos, por el interior del ojal de la otra punta para que pueda ser enrollada y tirada, alrededor de la intersección, mediante el gancho de un torcedor o Twister, como el del dibujo.

Otra clase de amarras prefabricadas para la unión de intersecciones de barras, pero no tan habituales en nuestro país, son las grampas o clips, como las indicadas en la misma Figura.

### 5.8.3 Cantidad de Amarras

La cantidad recomendada de amarras con alambre, según el tipo de elemento, la podemos sintetizar como sigue.

a) Para armaduras de losas sencillas armadas en obra:

- A lo menos en tres puntos de cada barra.
  - Las suficientes para que las barras no se desplacen con el vibrado del hormigón.
  - En todas las intersecciones del perímetro exterior.
  - A distancias de 1,5 a 1,8 m para barras de diámetro  $\leq$  16 milímetros y de 2,4 a 3,0 m para barras  $\geq$  18 mm.
- b) Para armaduras de muros armadas en obra:
- A lo menos en tres puntos por cada 2,5 m de largo de barra.
  - Las suficientes para que las barras no se desplacen con el vibrado del hormigón.
  - Cada tercera o cuarta intersección.
  - A distancias de 0,9 a 1,2 m para barras de diámetro  $\leq$  16 milímetros y de 1,2 a 1,5 m para barras  $\geq$  18 mm.
- c) En las parrillas de fundaciones, generalmente, las amarras se hacen antes de la instalación en la excavación y lo recomendable es que se hagan cada 2 o 3 intersecciones interiores y en todos los cruces del perímetro exterior.
- d) En vigas y columnas dependerá del número de barras y estribos que formen una sección transversal. En la Figura 5.8.3 se muestra el número de amarras recomendadas para este caso, las que deben instalarse en todos los vértices de los estribos y en forma alterada como máximo, cada 80 cm para barras de diámetros  $\leq$  16 mm y cada 60 cm para barras de diámetros  $\geq$  de 18 mm.

Como regla general, podemos decir que, la cantidad de fijaciones o amarras no ayuda en nada a la rigidez de las estructuras terminadas, pero mejores resultados se obtendrán con una correcta forma de amarrar las barras y el cuidado que se tenga con las armaduras, previo al vaciado del hormigón, sobre todo para el caso de armaduras de

columnas, losas, muros y vigas que estarán sometidas a las fuerzas verticales y horizontales propias del hormigón fresco en su estado plástico antes de endurecer, a la capacidad de resistencia de los encofrados (ver sección en el anexo de este Manual) y a las precauciones que se tomen para que los trabajadores no transiten o trepen por ellas.

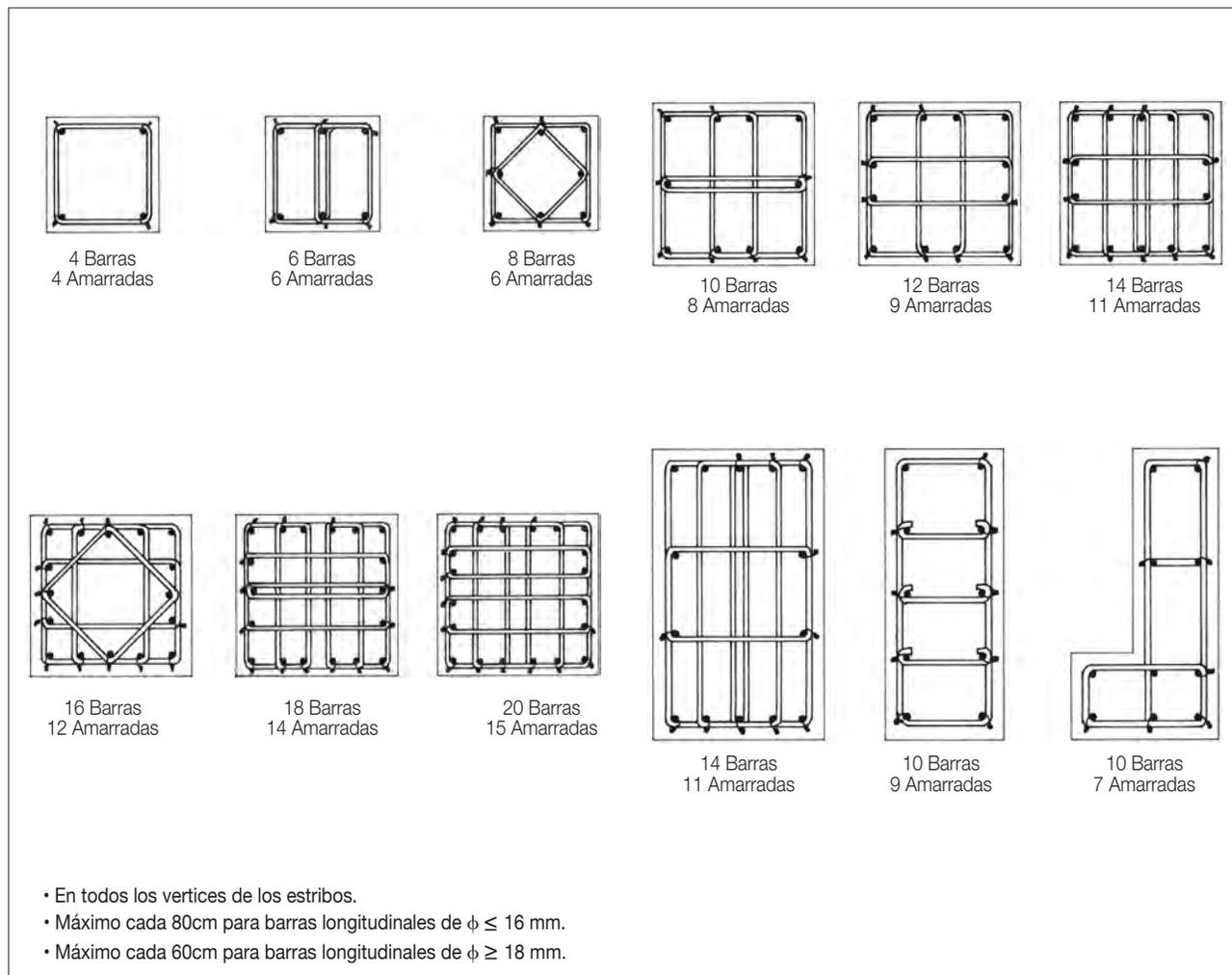


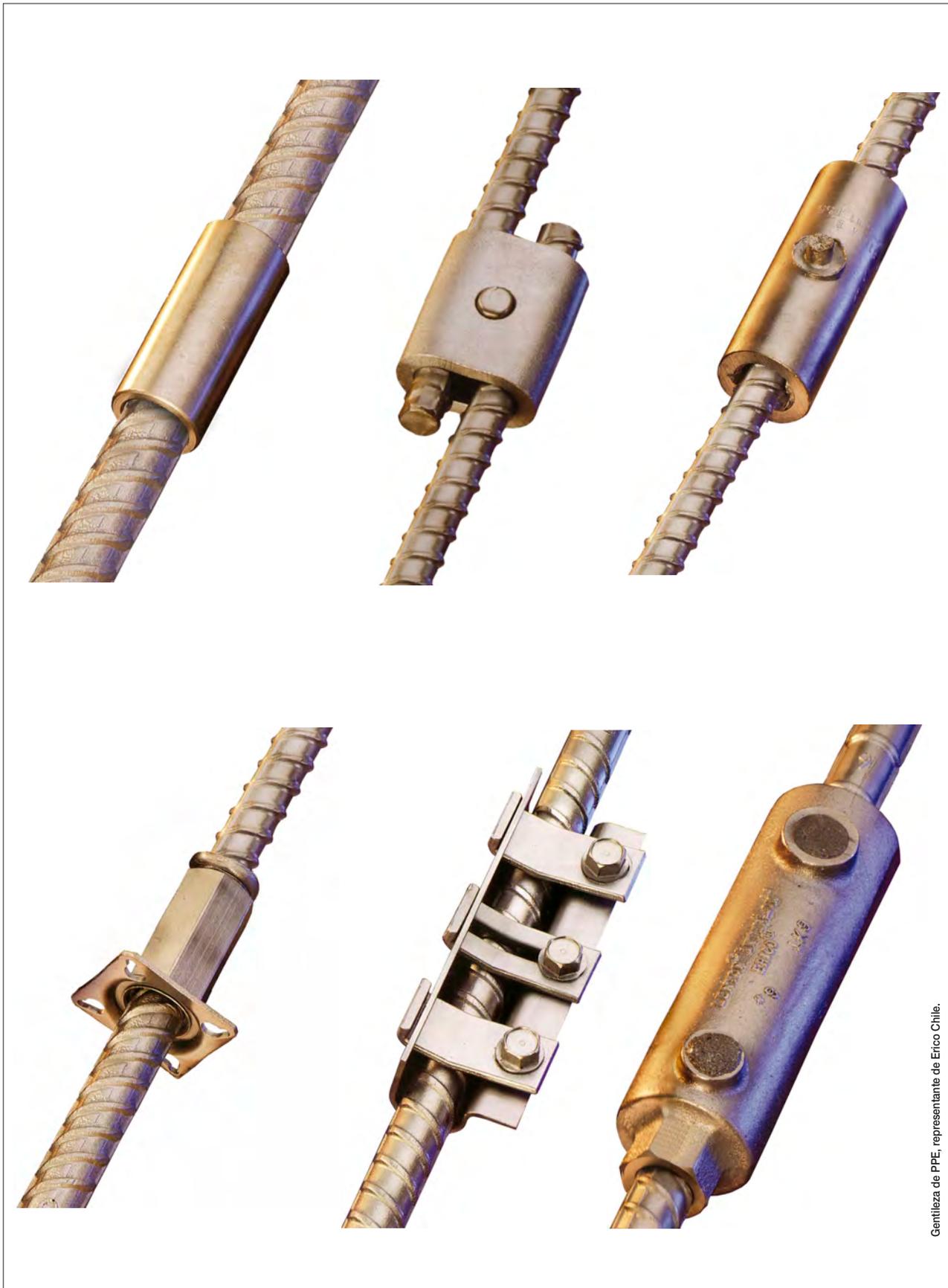
Figura 5.8.3: Cantidad de Amarras en Vigas o Columnas

## 5.9 CONEXIONES MECANICAS

Aun cuando no son ampliamente utilizadas en la práctica chilena, las disposiciones del Código de Diseño de Hormigón Armado, basado en el ACI 318-2008, Sección 12.14.3, permite el uso de conectores mecánicos o dispositivos adecuados (coplas y manguitos) para barras en tracción o compresión, siempre y cuando se cumplan las condiciones siguientes.

Condiciones:

- a) El empalme mecánico completo debe desarrollar, a lo menos, un 125% de la resistencia especificada a la fluencia  $f_y$  de las barras empalmadas.
- b) En el caso que el empalme mecánico completo no cumpla con el requisito de desarrollar, al menos, un 125% de la resistencia especificada a la fluencia  $f_y$  de las barras empalmadas, solo se permitirá su uso para barras de diámetros 16 mm o menores.
- c) Para barras en tracción, se recomienda un escalonamiento no menor a 750 milímetros y ubicarlos lejos de los puntos de máximo esfuerzo por tracción, sobre todo que esto se hace habitualmente en obra por necesidad de largos y no siempre con el conocimiento del ingeniero responsable del proyecto estructural, quién debe autorizar dicha operación
- d) Se permite su uso para transmitir la tensión de compresión en barras verticales, por apoyo directo a través de cortes a escuadra, es decir en superficies planas que formen un ángulo recto con el eje de la barra con una tolerancia de  $1,5^\circ$  y ajustadas con una tolerancia de  $3^\circ$  respecto al apoyo completo después del armado.
- e) Las coplas y manguitos pueden ser utilizadas tanto para empalmes de barras sometidas a tracción como a compresión, siempre y cuando cumplan con los requisitos a), b) y c) anteriores.
- f) El uso de conectores de tope es solo recomendable como un dispositivo para empalmar barras sometidas a esfuerzos de compresión, siempre y cuando cumplan con los requisitos a), b) y d) anteriores y que estos estén escalonados, a lo menos 600 milímetros.
- g) Cuando las barras estén significativamente inclinadas de la vertical, se requiere atención especial para garantizar que se logre y mantenga el contacto adecuado de apoyo en el extremo.
- h) Es recomendable consultar con el ingeniero estructural responsable del proyecto, previo a utilizarlos, quién tomará la debida precaución para autorizar su uso, especialmente en zonas críticas de elementos sísmicos, ya que pueden desarrollar rótulas plásticas.



Gentileza de PPE, representante de Erico Chile.

Figura 5.9.1: Ejemplos de Conectores

### 5.10 ESPACIAMIENTO MINIMO ENTRE BARRAS

El espaciamiento libre mínimo entre barras, o entre un traslapes y los empalmes o barras adyacentes, tiene por objeto permitir un flujo rápido y una buena penetración del hormigón dentro de los espacios comprendidos entre las barras y entre las barras y el encofrado sin crear nidos o huecos, pero en la práctica ocurre que un espaciamiento insuficiente puede impedir la entrada libre de la aguja del vibrador, ya que tiene un diámetro mínimo de 25 milímetros en los eléctricos y de hasta 70 milímetros en los de aire comprimido, lo que puede ocasionar el atascamiento de la aguja, imposibilitando a veces el sacarla, teniendo que cortar la manguera.

Condiciones:

- a) La sección 7.6 del Código ACI 318-2008 establece que, entre barras paralelas de una capa, deberá contemplarse un espacio libre que no sea inferior al diámetro  $d_n$  de las barras ni menor a 25 milímetros.
- b) Cuando la armadura paralela se instale en dos o más capas, las barras de las capas superiores deben colocarse

exactamente sobre las de las capas inferiores, con una distancia libre entre capas no menor a 25 milímetros.

- c) En los elementos en compresión reforzados con zunchos o estribos, la distancia libre entre barras longitudinales no debe ser menor de  $1,5 d_n$  de la barra, ni de 40 milímetros.
- d) En muros y losas, excepto las losas nervadas, la separación de la armadura principal por flexión no debe ser mayor de 3 veces el espesor del muro o de la losa, ni de 450 milímetros.
- e) Para el espaciamiento mínimo entre barras, se debe considerar el tamaño máximo nominal del agregado grueso, el que no debe ser superior a  $1/5$  de la menor separación entre los lados del moldaje o encofrado, ni a  $1/3$  de la altura de la losa, ni a  $3/4$  del espaciamiento mínimo libre entre las barras individuales de la armadura, paquetes de barras, cables individuales y paquetes de cables y ductos.

Por lo tanto, la distancia libre entre barras debe ser la máxima posible, tomando como base los valores mínimos recomendados que se entregan en la Tabla 5.10.1 para barras de acero entre  $d_n$  8 y 40 mm en columnas y vigas.

**Tabla 5.10.1**

Espaciamiento o Separación Mínima entre Barras (mm)

Elemento	Diámetro de la barra (mm)										
	8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	40
Vigas	25	25	25	25	25	25	25	28	32	36	40
Columnas	40	40	40	40	40	40	40	42	48	54	60

Comentario:

Sin embargo, para el espaciamiento entre barras deberá prevalecer siempre lo señalado en los planos por el profesional competente y responsable del proyecto.

## 5.11 SEPARADORES Y SOPORTES

Las barras de las armaduras deben ser amarradas, soportadas, ancladas e inspeccionadas antes de iniciar la faena de hormigonado, por lo que es de mucha importancia que sus separadores y soportes sean capaces de sostener firmemente las barras, que sean lo suficientemente sólidos como para resistir el vaciado del hormigón y eviten la posibilidad que las barras tiendan a moverse, se desplacen o se curven.

Es importante insistir que las barras sean instaladas con sumo cuidado, ya que la resistencia de un elemento estructural depende de la correcta posición de las barras de refuerzo.

Tal cual los esquemas de las Figuras 5.11.1, 5.11.2 y 5.11.3, como separadores de moldajes y soportes de barras se usan, habitualmente, soportes y espaciadores de plástico o metálicos de diferentes medidas según el recubrimiento especificado. Aunque actualmente es menos común, también se usan eventualmente algunos tipos de soportes y espaciadores de concreto, conocidos como calugas, los que están provistos de 2 patas de alambre para ser amarrados al acero.

Para soportar las barras superiores de las losas se usan indistintamente sillas individuales o continuas, instaladas a distancias aproximadas de 1,5 m. Para juntas de hormigonado se recomienda el uso de "sillas de juntas".

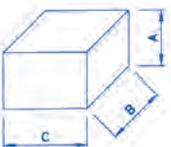
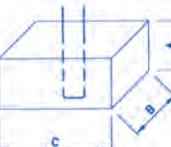
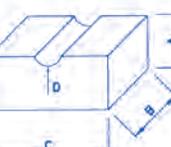
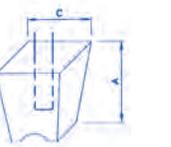
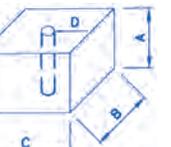
Figura 5.10.1 Separadores y Soportes de Concreto		
	Alto : 1,8 a 15 cm Largo : 2,5 a 15 cm Ancho : 2,5 a 122 cm	Bloque sencillo usado cuando la barra de refuerzo tiene una posición pendiente. Si la dimensión "C" excede 40 cm, una pieza de barra de refuerzo debe ser montada dentro del bloque.
	Alto : 1,8 a 10 cm Largo : 2,5 a 7,5 cm Ancho : 2,5 a 7,5 cm	Bloque alambrado con un trozo de alambre N° 16 montado dentro de él. Usado en moldajes verticales, o en posición para asegurar la barra de refuerzo mediante la amarra con el alambre.
	Alto : 1,8 a 7,5 cm Largo : 2,5 a 6,5 cm Ancho : 3,2 a 7,5 cm	Bloque aguzado y alambrado con un trozo de alambre N° 16, montado dentro de él. Usado en donde se requiere de un mínimo de contacto con el moldaje.
	Alto : 5 a 10 cm Largo : 5 a 10 cm Ancho : 5 a 10 cm	Bloque combinado, generalmente usado en enfierraduras horizontales.
	Alto : 7,5 cm Largo : 7,5 a 12,5 cm Ancho : 7,5 a 12,5 cm	Bloque con chaveta, generalmente para ser usado en trabajos horizontales como soporte de parrillas de fundación o mallas superiores a través de una barra inserta en la perforación.

Figura 5.11.1: Separadores y Soportes de Concreto

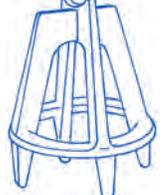
	<p>Alto : 1,8 a 15 cm</p>	<p>Espaciador de barras superiores para ser usado en enfierraduras horizontales. No es recomendable su uso en losas o pavimentos expuestos a la intemperie.</p>
	<p>Alto : 1,8 a 5 cm</p>	<p>Espaciador de barras superiores con sujetador de abrazadera para ser usado en trabajos horizontales. No es recomendable su uso en losas o pavimentos expuestos a la intemperie.</p>
	<p>Alto : 1,8 a 12,5 cm</p>	<p>Silla alta para ser usada en losas y paneles de muro.</p>
	<p>Alto : 6,5 a 16 cm</p>	<p>Silla alta variable para trabajos verticales y horizontales.</p>
	<p>Para recubrimientos de hormigón de 2 a 8 cm con incremento cada 1 cm</p>	<p>Rueda espaciadora, generalmente para ser usada en trabajos verticales. La abrazadera del espaciador permite un mínimo contacto con los moldajes. Aplicable para barras de refuerzo de muros, pilares y columnas.</p>

Figura 5.11.2: Separadores y Soportes Plásticos

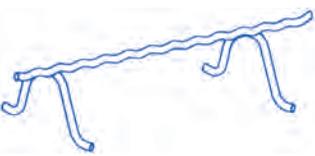
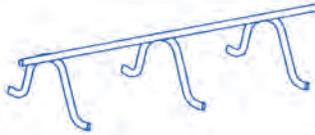
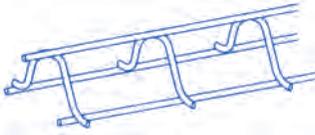
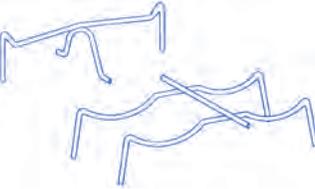
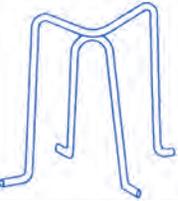
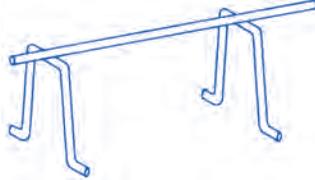
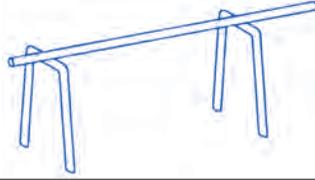
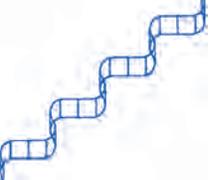
	<p>Alto : 1,8 - 2,5 - 4 y 5 cm Largo : 1,5 y 3 m</p>	<p>Soporte de barras con un travesaño corrugado superior y piernas para ser usado en barras superiores de losas.</p>
	<p>Alto : 2,5 - 4 y 5 cm De 5 a 14 cm con incrementado cada 1 cm Largo : 1,5 m</p>	<p>Soporte de barras con un travesaño superior y piernas para ser usado en barras superiores de vigas.</p>
	<p>Alto : 2,5 - 4 y 5 cm De 5 a 14 cm con incrementado cada 1 cm Largo : 1,5 m</p>	<p>Equivalente al ejemplo anterior.</p>
	<p>Alto : 1,8 + 2,5 - 4 y 4,5 cm</p>	<p>Silla para barra individual, para ser usada e barras superiores de losas, viguetas o vigas.</p>
	<p>Alto : 1,8 - 2,5 - 4 y 5 cm Largo : 10 - 12,5 y 15 cm</p>	<p>Silla para soportar y espaciar dos barras superiores en viguetas.</p>
	<p>Alto : 2,5 a 40 cm con incremento cada 1 cm</p>	<p>Silla alta para barra individual, para ser usada en barras superiores de losas, viguetas o vigas.</p>
	<p>Alto : 2,5 a 40 cm con incremento cada 1 cm Largo : 1,5 y 3 m</p>	<p>Silla alta continua similar al ejemplo anterior.</p>
	<p>Alto : 2,5 a 40 cm con incremento cada 1 cm Largo : 1,5 y 3 m</p>	<p>Silla alta continua para soportar barras o mallas de retracción en placas metálicas colaborantes de losas.</p>
	<p>Alto : de 4 a 30 cm con incremento cada 1 cm Largo : 2 m</p>	<p>Soporte continuo de barras para usos diversos.</p>

Figura 5.11.3: Separadores y Soportes de Acero

**5.12 RENDIMIENTOS DE MANO DE OBRA PARA EL ARMADO E INSTALACION**

Tabla 5.12.1 Rendimientos Teóricos de Mano de Obra - Armado e Instalación			Aceros A630 y A440
Item	Díámetros de las Barras	ton/HD	HH/ton
1.1	φ6 y φ8 mm	0,13	69,2
1.2	φ10 y φ12 mm	0,20	45,0
1.3	φ16 y φ18 mm	0,31	29,0
1.4	φ22 y φ25 mm	0,54	16,7
1.5	φ28, φ32 y φ36 mm	0,65	13,8

ton/HD: Toneladas métricas de acero por hombre-día (9,0 horas efectivas de trabajo).  
HH/ton: Horas-hombre por tonelada métrica de acero.

A modo de información, en las Tablas 5.12.2 se incluyen los rendimientos de mano de obra promedio para el armado e instalación de las armaduras, para los 3 edificios de los ejemplos de la Sección 4.9.3.

En el armado e instalación de las armaduras está incluida la colocación de las amarras, separadores y soportes y el transporte del material a una distancia máxima de 40 m y no considera el uso de grúa para el movimiento de las barras o armaduras previamente armadas.

**Tabla 5.12.2a**
**Rendimientos Mano de Obra - Armado e Instalación Edificio 1**

Item	Actividad	Diámetros mm	Peso ton	Rendimientos		Total	
				ton/HD	HH/ton	HD	HH
	Armado e Instalación	8	103,64	0,13	69,2	797	7.175
		10 y 12	51,40	0,20	45,0	257	2.313
		16 y 18	55,10	0,31	29,0	178	1.600
		22 y 25	57,66	0,54	16,7	107	961
	<b>Total Armado e Instalación</b>	<b>8 a 25</b>	<b>267,80</b>	<b>0,20</b>	<b>45,0</b>	<b>1.339</b>	<b>12.049</b>

**Tabla 5.12.2b**
**Rendimientos Mano de Obra - Armado e Instalación Edificio 2**

Item	Actividad	Diámetros mm	Peso ton	Rendimientos		Total	
				ton/HD	HH/ton	HD	HH
	Armado e Instalación	8	126,5	0,13	69,2	973	8.758
		10 y 12	88,86	0,20	45,0	444	3.999
		16 y 18	50,01	0,31	29,0	161	1.452
		22 y 25	40,55	0,54	16,7	75	676
		28 y 32	39,18	0,65	13,8	60	542
	<b>Total Armado e Instalación</b>	<b>8 a 32</b>	<b>345,10</b>	<b>0,20</b>	<b>44,7</b>	<b>1.714</b>	<b>15.427</b>

**Tabla 5.12.2c**
**Rendimientos Mano de Obra - Armado e Instalación Edificio 3**

Item	Actividad	Diámetros mm	Peso ton	Rendimientos		Total	
				ton/HD	HH/ton	HD	HH
	Armado e Instalación	8	63,88	0,13	69,2	491	4.422
		10 y 12	25,08	0,20	45,0	125	1.129
		16 y 18	34,91	0,31	29,0	113	1.014
		22 y 25	79	0,54	16,7	147	1.321
	<b>Total Armado e Instalación</b>		<b>203,10</b>	<b>0,23</b>	<b>38,8</b>	<b>876</b>	<b>7.885</b>

**Conclusiones**

- El resultado del rendimiento total promedio para el armado e instalación, es un valor que depende exclusivamente de la mezcla y proporciones de diámetros de las barras componentes de las armaduras que se van a ejecutar.
- Dado que todas las obras son distintas entre sí, en cuanto a las condiciones de trabajo y distribución de las barras,

se recomienda un análisis previo del rendimiento de mano de obra para cada caso en particular, con el propósito de lograr valores reales y representativos de dicha obra.

- Los resultados del rendimiento de la mano de obra, nos sirve como una ayuda importante para asignar la cantidad de operarios necesarios, y así dar cumplimiento a los plazos establecidos para esta actividad, o viceversa.

### 5.13 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CAPÍTULO 5

- ACI 318 Código de Diseño de Hormigón Armado: American Concrete Institute, 2008
- ACI 315 Detailing Manual: American Concrete Institute, 1995
- AWS D1.4/D1.4M: 2011 Structural Welding Code – Reinforcing Steel
- Detalles Constructivos para Obras de Hormigón Armado: J. Calavera Ruiz, Ediciones Intemac, 2000
- Ferralla: J. Calavera, E. González, J. Fernández, F. Valenciano, Ediciones Intemac, 2003
- Hormigón Armado: P. Jiménez Montoya, Editorial G. Gili
- Manual de Cálculo de Hormigón Armado: Gerdau AZA, Primera Edición, 2001
- Norma Chilena NCh170.Of2016: Hormigón - Requisitos generales. Instituto Nacional de Normalización (INN)
- Norma Chilena NCh204.Of2020: Acero - Barras laminadas en caliente para hormigón armado. Instituto Nacional de Normalización (INN)
- Norma Chilena NCh3334:2014: Acero - Barras laminadas en caliente soldables para hormigón armado – Requisitos. Instituto Nacional de Normalización (INN)
- Obras de Hormigón Armado: C. Russo, Editorial G. Gili
- Placing Reinforcing Bars: Concrete Reinforcing Steel Institute, Sexta Edición, 1992
- Tratado de Construcción: H. Schmitt, Editorial G. Gili



## Capítulo 6

# Protección de las Armaduras

6.1 Introducción

6.2 Corrosión de las Barras de Refuerzo

6.3 Agentes Agresivos

6.4 Requisitos Básicos de Durabilidad para el Hormigón Armado

6.5 Recubrimiento de las Armaduras

6.6 Protección Contra el Fuego

6.7 Bibliografía y Referencias



## 6.1 INTRODUCCION

Para todos los efectos relacionados con las recomendaciones, requisitos y exigencias que se presentan en las secciones siguientes, es importante destacar que siempre el lector deberá considerar que primará lo que establezcan las normas chilenas oficiales vigentes, o lo que disponga el ingeniero estructural responsable del proyecto respecto a la forma de mantener las barras libres del ataque de agentes agresivos que provocan corrosión del acero, tanto en forma directa por los que están presentes en la atmósfera que las rodea antes de ser utilizadas, como a través de los poros capilares del hormigón en la fase acuosa o por efectos de la humedad relativa contenida, una vez que ellas están embebidas. También deben considerarse las calidades de los suelos, en particular si se construyen fundaciones en zonas desérticas entre la XV y II Regiones, donde pueden existir terrenos ricos en sales minerales como el sulfato que lixivian y atacan la armadura de acero en forma generalizada.

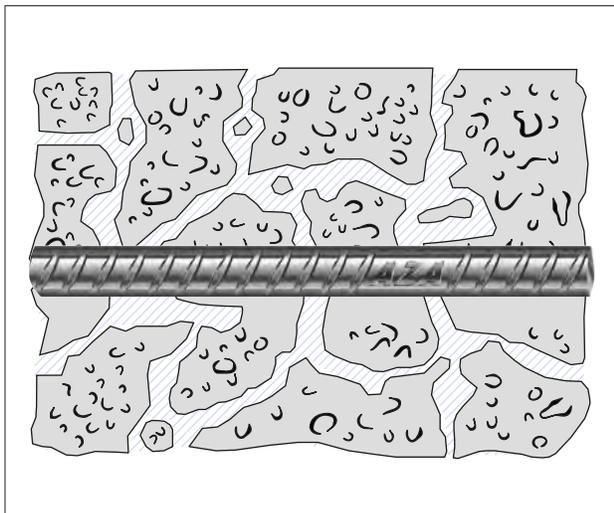


Figura 6.1.1: Red Poros Capilares en la Fase Acuosa del Hormigón

Además de los requisitos establecidos para las condiciones de congelación y deshielo, en general poco habituales en Chile, salvo en construcciones en la alta cordillera o en el extremo sur del país, incluida la zona Antártica, las causas que le producen mayor perjuicio a las estructuras de

hormigón armado son la carbonatación, que actúa directamente sobre el hormigón y que llega con el tiempo a través de él hasta las armaduras ocasionando una corrosión generalizada, y los iones cloruro que lo hacen directamente sobre el acero, produciendo una corrosión localizada en las barras, tal como se muestra en la Figura 6.1.2.

El hormigón por su naturaleza, si es convenientemente dosificado y fabricado, colocado con una correcta compactación y un adecuado espesor de recubrimiento, proporciona una protección innata a las barras embebidas para evitar la acción de los iones despasivantes y aminorar el efecto que generan las altas temperaturas sobre el acero en caso de incendio, factores que pueden ocasionar daños severos e irreversibles a la capacidad de resistencia que debe tener el hormigón armado, reducir su vida en servicio o producir la destrucción de las estructuras.

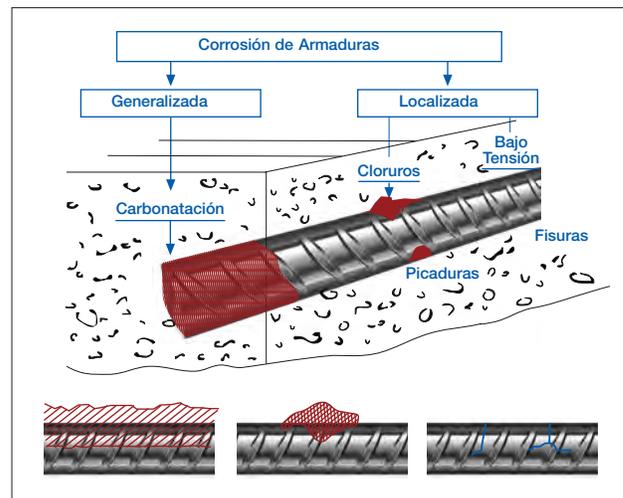


Figura 6.1.2: Tipología de la Corrosión en la Armadura

Los recubrimientos mínimos de hormigón, especificados como protección de las armaduras contra la acción del clima, contaminación atmosférica, corrosión y al fuego deben medirse, según el Código ACI 318, desde la superficie vista del hormigón hasta el borde exterior de los estribos, amarras o zunchos, si la armadura transversal confina las barras principales, o hasta la capa exterior de barras, si se emplea más de una capa sin estribos o amarras.

En el caso eventual que se utilicen o autoricen conectores mecánicos para el empalme de barras, como son por ejemplo las coplas y manguitos de acero, que pueden llegar a tener un diámetro o espesor significativamente mayor en los puntos que se están empalmado, se recomienda que el espesor mínimo del recubrimiento sea medido a partir del plano externo de esa conexión.

No obstante, hay que tener en cuenta que el Código Europeo BS-476 estima algo diferente, ya que el espesor de recubrimiento mínimo lo considera como la medida que existe desde el eje de las barras longitudinales principales embebidas más próximas al borde, hasta la cara exterior del hormigón sin hacer mención a la existencia de conectores mecánicos.

Estos mínimos deberán respetarse aún para los elementos ornamentales en obra gruesa. Por ejemplo, si se especifica algún roturado o labrado relativamente importante, posterior a la obra gruesa terminada los recubrimientos deberán aumentarse previamente en dicho espesor, además

que no es recomendable considerar a los revestimientos y estucos como parte de estos recubrimientos mínimos.

Otros revestimientos protectores, recomendados para condiciones severas de corrosión que pueden aplicarse directamente a las armaduras, como protección adicional a la que da el hormigón, son la protección catódica, el galvanizado en caliente (ver Sección 6.5.2), el más usual y el que ha dado mejores resultados para hormigones carbonatados, y los revestimientos plásticos, tales como las resinas epóxicas.

También están presentes en el mercado protecciones complementarias para adicionar a la mezcla del concreto, como son los inhibidores de corrosión orgánicos é inorgánicos, compuestos básicamente por aminoalcoholes, y algunos imprimantes que se aplican directamente sobre la superficie del hormigón endurecido, que son líquidos que penetran por difusión hasta varios centímetros de profundidad, a una velocidad de 2 a 20 milímetros por día, alcanzando las armaduras y protegiéndolas con una capa pasivante.

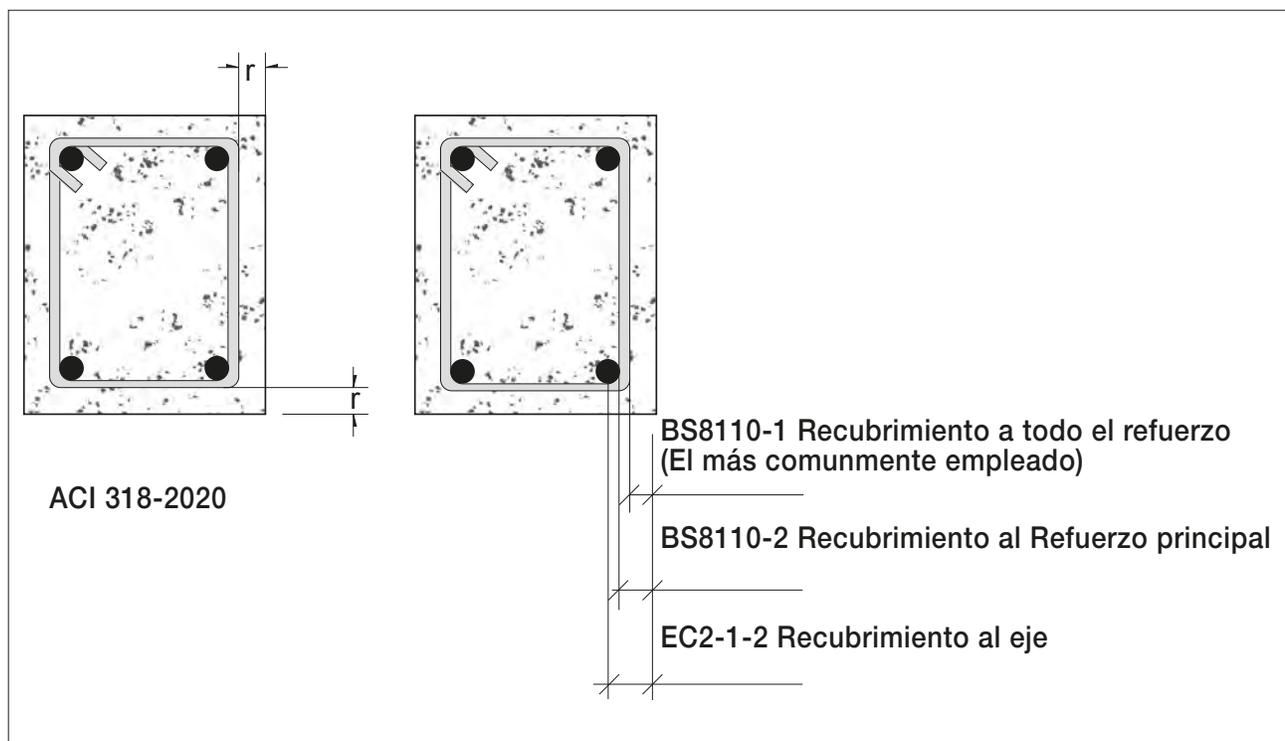


Figura 6.1.3: Definición del espesor de recubrimiento.

Tabla 6.1 Métodos de Protección de las Armaduras							
	Protección Directa			Protección Indirecta (a través del Hormigón) (Ver Sección 6.3)			
Conceptos	Protección Catódica	Galvanizado (Ver Sección 6.5.2)	Recubrimientos Epóxicos	Revestimientos Recubrimientos (Ver Sección 6.5.1)	Inhibidores	Realcalinización Electroquímica	Extracción Electroquímica de Cloruros
Aplicación	Cualquier Estructura	Especialmente a estructuras expuestas a Carbonatación	Cualquier Estructura	Cualquier Estructura	Cualquier Estructura	Estructuras en ambiente húmedo y carbonatados	Estructuras en ambiente húmedo y con cloruros
Ventajas	Única y eficaz en corrosión ya iniciada	Facilidad de aplicación Costo relativo No requiere mantenimiento	No requiere mantenimiento	Facilidad de aplicación	Facilidad de aplicación No requiere mantenimiento Reparación en zonas con alta contaminación por cloruros	No requiere ninguna remoción del hormigón carbonatado	No requiere ninguna remoción del hormigón contaminado
Desventajas	Personal calificado Mantenimiento para el caso de corriente impresa	Posible deterioro local por manejo y mantenimiento	Costo elevado en la puesta en obra Necesidad de mayor longitud de desarrollo requerida Deterioro local por manejo	Puede acelerar la corrosión si no se elimina el cloruro o el hormigón carbonatado	Garantía de Difusión Garantía de Efectividad	Costo elevado Dificultad de aplicación en terreno	Costo elevado Dificultad de aplicación en terreno

Respecto a la protección contra el fuego, comúnmente se considera suficiente al hormigón como un elemento de protección para las armaduras, debido a que no es combustible y a que su conductividad térmica es menor que la del acero, del orden de 50 veces menor, con coeficientes de conductividad térmica promedio de 1,1 y 52 kcal/m<sup>2</sup>/m/°C, para el concreto y el acero respectivamente; pero para que ello ocurra es necesario considerar otros múltiples y complejos factores que intervienen en un incendio, algunos de los de mayor

importancia explicamos de manera extractada en la Sección 6.6 de este Capítulo.

Para el fuego también existen elementos y productos que permiten entregarle al hormigón y a la armadura una protección pasiva adicional, como son algunos tipos especiales de agregados para la mezcla del concreto y morteros especiales que se aplican de un espesor predeterminado sobre la superficie endurecida, generalmente con equipos rociadores de baja presión.

## 6.2 CORROSION DE LAS BARRAS DE REFUERZO

### 6.2.1 Introducción

El propósito que tiene el contenido de esta Sección, es explicar de manera general el fenómeno que produce la corrosión, presentar una guía para la limpieza del acero oxidado, abordar los aspectos más relevantes de las técnicas cuantitativas más usuales para medir la disminución de masa que se producen en las armaduras debido a la corrosión y servir como ayuda práctica para dirimir, mediante un método cualitativo- perceptivo, las discrepancias que existen entre los usuarios del sector, respecto a la conveniencia de utilizar barras de refuerzo individuales que se presentan aparentemente oxidadas antes de ser manipuladas.

Las influencias y efectos de la corrosión en la adherencia acero-hormigón, la alteración que sufren las características de los resaltes, las implicancias relacionadas con el deslizamiento y las consecuencias sobre la resistencia a la tracción de las barras embebidas corroídas, no son abordados en esta oportunidad, pero esperamos poder incluirlos en una publicación próxima, ya que actualmente estamos en una etapa de investigación preliminar multidisciplinaria.

Los métodos cuantitativos de medición que se describen están basados, por una parte en el cálculo de la velocidad de corrosión representativa de las armaduras embebidas en el hormigón, y por otra parte en la pérdida de masa de la superficie adherente de las barras aún no utilizadas, para lo cual se emplea el concepto de tasa de oxidación en función de la disminución del diámetro nominal. El método cualitativo-perceptivo que se propone, es mediante ilustraciones que muestran los diferentes estados de corrosión en que habitualmente se pueden encontrar las barras individuales al estar expuestas al medio ambiente que las rodea durante su almacenaje, distribución, transporte o comercialización.

### 6.2.2 Definiciones Básicas

La oxidación y la corrosión propiamente tal, son algunas de las causales principales que pueden afectar a las barras de refuerzo en cuanto a la variación de sus características dimensionales y propiedades mecánicas. A continuación se presentan las definiciones más relevantes para comprender estos importantes conceptos.

#### a) Oxidación

Se entiende por oxidación al ataque producido por una reacción gas-metal que forma una película de óxido que se desarrolla lenta y progresivamente con el acero expuesto a la intemperie, sin protección, a temperatura ambiente y entornos medianamente corrosivos, y que en la práctica no ocasiona un deterioro significativo a la superficie de las barras antes de dos años aproximadamente, excepto que existan en la atmósfera concentraciones de agentes muy agresivos.

Este hecho es el que prevalece, fundamentalmente, durante la fabricación de las barras, ya que a la salida del tren de laminación con temperaturas del acero cercanas a los 1.200 °C, estas sufren una fuerte reacción de oxidación con el aire del ambiente, dando origen a la formación sobre su superficie a una delgada, compacta, poco permeable y firmemente adherida película o escamas de oxidación de color gris acero o gris oscuro, denominada laminilla, que tiene un espesor promedio de 50 micras aproximadamente (0,05 milímetros), que actúa como capa pasivante que puede servir de protección relativa de las barras contra la corrosión húmeda posterior, que es de condición electroquímica.

#### b) Corrosión electroquímica

Se entiende por corrosión de naturaleza electroquímica del acero, al ataque que se produce en un medio acuoso que ocurre cuando se forma una película de electrolito sobre la superficie de las barras, la cual es causada por la presencia de humedad. Este tipo es el que permite la agresión que

experimentan las barras expuestas al medio que las rodea durante un tiempo relativamente largo antes de ser utilizadas o a través del hormigón si están embebidas, dando lugar a la formación de una gama de óxidos/hidróxidos de hierro, que son elementos de color pardo rojizos, o rojizos, pulverulentos, grumosos y porosos, denominados herrumbre. Esta corrosión solo es posible que se produzca si se presentan las condiciones que se indican, la cual aparece graficada en la Figura 6.2.2.1 siguiente:

1. Existencia de un electrolito (agua lluvia, humedad, etc.)
2. Existencia de una diferencia de potencial eléctrico
3. Existencia de oxígeno disuelto en el electrolito
4. Existencia de elementos agresivos en el hormigón o ambiente atmosférico, como por ejemplo iones cloruro, bióxido de carbono, iones sulfuro, etc.

Además, la presencia de hollín, polvo y otro tipo de suciedad sobre la superficie de las barras no protegidas, favorecerá la condensación y conservación del agua lluvia (comúnmente de naturaleza ácida), aportando con ello el electrolito necesario para la formación de celdas de corrosión o pilas.

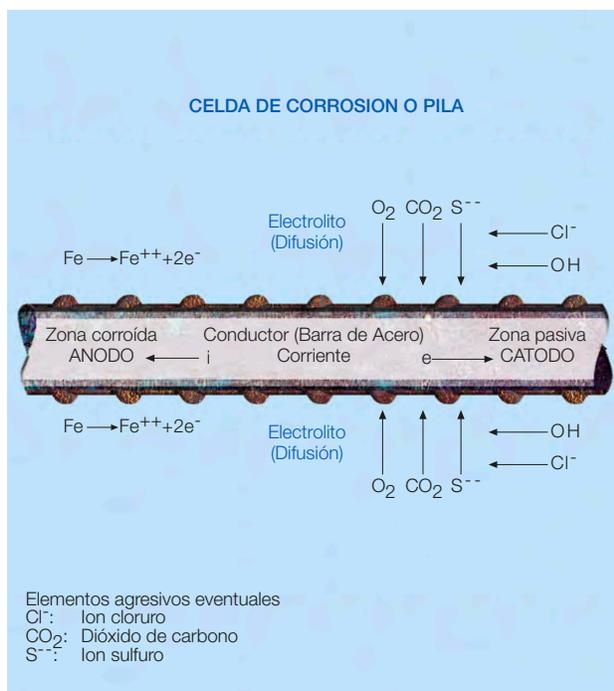


Figura 6.2.2.1: Esquema de Celda de Corrosión o Pila.

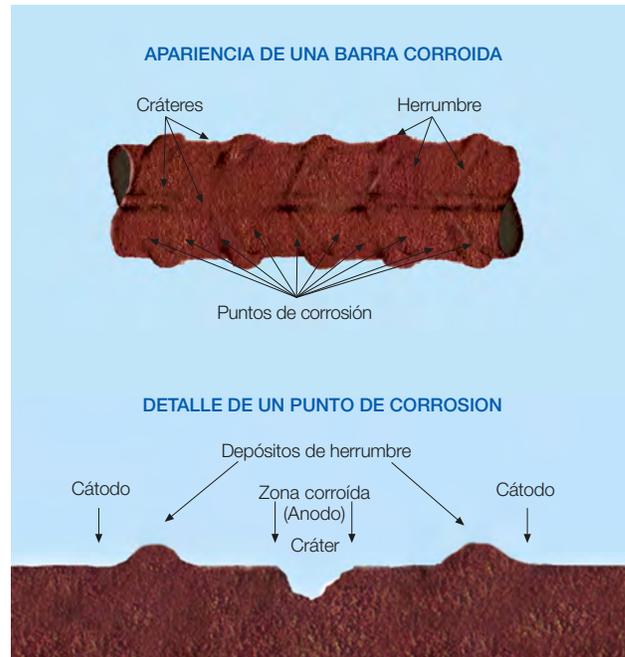


Figura 6.2.2.2: Apariencia de una barra corroída y detalle de un punto de corrosión

Según la intensidad de cada caso, en la zona ocupada por cada gota de agua (electrolito) se da lugar a la formación de un cráter de corrosión y a un depósito de herrumbre, tal como se muestra en la Figura 6.2.2.2.

Los elementos que constituyen la herrumbre son muy voluminosos, dado que su cantidad es mayor que la suma de las sustancias a partir de las cuales se originan. Su formación es de carácter expansivo y no es un recubrimiento impermeable a los iones, muy por el contrario, estos se propagan a través de la herrumbre fácilmente, por lo que persiste el fenómeno corrosivo.

### c) Corrosión bajo tensión

La corrosión bajo tensión es un caso particular de corrosión localizada, ocurre solamente en cables de acero que son sometidos a una elevada tensión, en general cercana al 60% del límite elástico del acero, y al medio ambiente agresivo que los rodea.

En el desarrollo de este fenómeno son primordiales la

naturaleza metalúrgica del acero y su tratamiento superficial, ya que por ejemplo aceros templados y revenidos muestran un comportamiento muy diferente del que tienen los aceros clásicos enderezados en frío. Como antecedente particular, cabe destacar que el uso de aceros templados para cables tesados está prohibido en la mayoría de los países de comunidad europea, desde hace ya un buen tiempo a esta parte.

El proceso de corrosión bajo tensión se inicia con la nucleación de fisuras microscópicas en la superficie del acero, pudiendo una de ellas propagarse hasta una magnitud determinada a partir de la cual la velocidad de propagación es muy elevada, fallando finalmente el cable pre o postensado de una manera frágil.

El mecanismo de la nucleación y esencialmente su propagación, es un fenómeno que aún está sujeto a controversia, dado que la nucleación se puede iniciar por un defecto superficial del acero, restos de óxido o una pequeña picadura o punto de corrosión y la propagación de una fisura se puede acelerar por la generación de hidrógeno atómico en el fondo de la fisura.

Al respecto, existen variadas proposiciones teóricas que explican este fenómeno, entre las cuales están las fundamentadas en la movilidad superficial, que parecen ser las que mejor pueden explicar los resultados experimentales pues suponen que la propagación de la fisura no es de naturaleza electroquímica y que puede deberse a la movilidad de los espacios atómicos vacíos en la interfaz metal/electrolito. La única manera de predecir fielmente la existencia de fenómenos de corrosión bajo tensión, es utilizando la microscopia para examinar las superficies de fractura del acero para comprobar si se ha producido un fallo dúctil o una rotura frágil en un cable pre o postensado.

#### **d) Corrosión por corrientes de interferencia**

Las corrientes de interferencia, también conocidas como erráticas, de fuga o vagabundas, pueden ser definidas como aquellas que emanan en una estructura y que no

forman parte del circuito eléctrico/celda electroquímica específica, y para que ocurran debe existir un intercambio de corriente entre una estructura metálica y un medio electrolítico.

La corriente continua es la que tiene el efecto más pronunciado sobre la corrosión, ya que ésta fluye constantemente en un sentido, por el contrario que la corriente alterna que invierte su dirección alrededor de una centena de veces por segundo, pudiendo causar un efecto mucho menos acentuado.

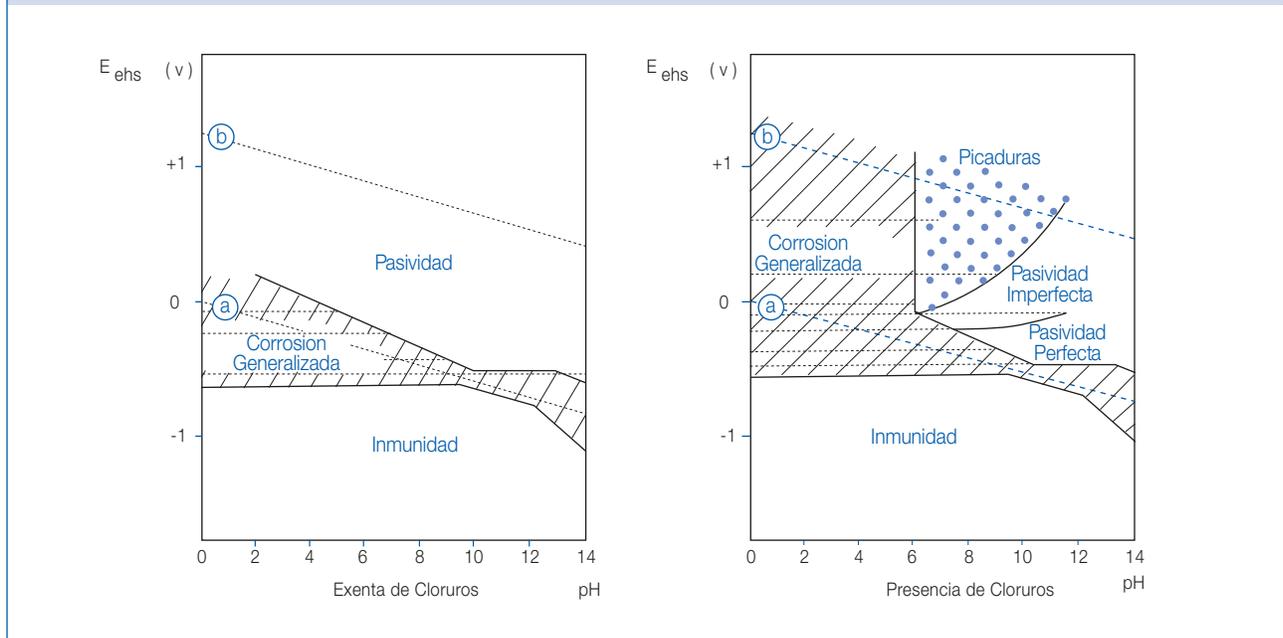
Las fuentes más habituales de este tipo de corrientes son; los sistemas de protección catódica operando en las proximidades de hormigón armado, especialmente en medios de muy baja resistividad como es el agua salobre, los sistemas con potencia eléctrica como los trenes eléctricos, las máquinas de soldar donde el cable a tierra se encuentra a cierta distancia de los electrodos de soldar, y las corrientes telúricas asociadas a la actividad solar y al campo magnético de la tierra.

Independiente de la fuente, las corrientes que se irradian en un medio electrolítico son manifestaciones de diferencias de voltaje, por lo que si en el entorno de estos gradientes de voltaje se encuentra situada una estructura de hormigón reforzada con acero, puede existir un intercambio de corriente con el mismo donde el punto de entrada se comportaría como cátodo, pero la salida sería la zona anódica que podría causar la disolución del metal, produciendo su corrosión.

Es importante indicar que si el acero se encuentra con su capa de pasivación sana, en un hormigón que no esté contaminado con cloruros, esta corriente de interferencia no produciría la corrosión de la armadura ya que lo podría mantener pasivo o llevarlo a la zona de inmunidad, muy por lo contrario si el hormigón que contiene cloruros, donde la corrosión del acero de refuerzo se vería acelerada drásticamente por el efecto de estas corrientes, tal como se ilustran ambos casos en el Gráfico 6.2.2.

Gráfico 6.2.2

Comportamiento del Acero de Refuerzo en Soluciones exentas y en presencia de Cloruros



e) Corrosión galvánica

Básicamente este tipo de corrosión se puede dar cuando existen dos metales diferentes en el medio electrolítico, sin embargo el contacto del acero con inoxidable o acero-cobre, en general, no produce la corrosión. Por otra parte, el contacto del acero con zinc o aluminio puede ser incluso favorable, ya que induce una cierta protección catódica a la armadura.

En el caso del acero de refuerzo embebido en el hormigón, esta circunstancia se dará cada vez que en alguna zona de las barras se dañe o no se forme la capa pasiva característica, actuando esta zona como un ánodo frente al resto del material donde permanece la pasivación, la cual se comportará como cátodo.

Este mecanismo también se podría presentar cuando la armadura se encuentre en contacto con otros conductores más nobles y, en general, se asocia al funcionamiento de una macrocelda que como ejemplo típico ocurre en el caso de barras exteriores que se corroen al ingresar los cloruros, mientras que las interiores permanecen pasivas.

6.2.3 Limpieza Superficial del Acero

El tipo de limpieza para el acero, de acuerdo a las especificaciones normales para la preparación de la superficie del acero utilizado en edificaciones, establece requerimientos generales y está fuertemente ligado a diversas interpretaciones, pudiendo conducir a malos entendidos debido a la falta de una definición específica, por lo que esta carencia de un estándar o patrón común para la preparación de la superficie normal se puede complicar aún más por otras variables, tales como saber la condición del acero antes de la limpieza y el método utilizado para la remoción del aceite, grasa, otras materias extrañas, la laminilla y el óxido.

La designación de los grados o condiciones del acero previas al tratamiento superficial y los tipos de limpieza de la suciedad y óxido que se ha adoptado como guía en este Manual, corresponden a las especificaciones del Steel Structure Painting Council (SSPC) que son equivalentes a las ISO 8501-1, SIS 055900, BS 4232 y DIN 55928 Teil 4 (Cuadro 6.2.3.1). Dichos organismos que si bien es cierto

las han definido para el tratamiento superficial de planchas y perfiles de acero estructural laminados en caliente, podrían llevar algún recubrimiento como pintura, galvanizado u otros

tipos de recubrimientos, son en gran parte homologables con nuestros propósitos de tipificación para preparar y evaluar barras de acero con resaltes para hormigón corroídas.

**Cuadro 6.2.3.1**

**Condiciones de la Superficie del Acero Previa a la Limpieza (SSPC)**

Grado de Corrosión del Acero		Descripción
A		Superficie de acero completamente recubierta con las costras de fábrica o laminilla, firmemente adheridas, y en la mayoría de los casos con poco o nada de oxidación. Este grado es el que normalmente presenta el acero recién manufacturado o poco tiempo después de su salida del tren de laminación en caliente.
B		Superficie de acero que ha iniciado su corrosión y de la que ha comenzado a desprenderse poco a poco la laminilla. Este grado es el que normalmente presenta la superficie del acero después de haber permanecido expuesta a la intemperie, sin protección, en una atmósfera medianamente corrosiva durante 2 ó 3 meses.
C		Superficies de acero en la que la corrosión ha hecho desprender casi la totalidad de la laminilla, pero que todavía no presenta picaduras detectables a simple vista, pero sí se aprecia claramente corrosión por oxidación. Este grado es el que normalmente presenta la superficie del acero que ha sido expuesta a la intemperie, sin protección, en una atmósfera medianamente corrosiva durante 1 año aproximadamente.
D		Superficies de acero de la que se ha desprendido la totalidad de la laminilla y en la que se observa a simple vista bastante óxido y picaduras (puntos de corrosión). Este grado corresponde al estado de una superficie de acero después de una exposición a la intemperie, sin protección, en una atmósfera medianamente corrosiva durante unos 3 años aproximadamente.

<b>Cuadro 6.2.3.2</b>		
<b>Extracto de las Especificaciones para la Preparación de la Superficie del Acero (SSPC)</b>		
<b>Especificación</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Denominación ICHA</b>
<b>SSPC-SP1</b> <b>Limpieza con Solvente</b>	Remoción de aceite, grasa, polvo, tierra, sales y contaminantes, mediante limpieza por solvente, detergente soluble en agua, vapor, álcalis o emulsión.	Limpieza con Solventes
<b>SSPC-SP2</b> <b>Limpieza con Herramienta Manual</b>	Remoción cuidadosa del óxido suelto y de la laminilla, mediante raspado, descamado, lijado y cepillado con cepillo de alambre. Debe realizarse en una dirección y después en sentido perpendicular para luego de eliminado el polvo, la superficie muestre un aspecto metálico.	Limpieza Manual
<b>SSPC-SP3</b> <b>Limpieza con Herramienta Mecánica</b>	Remoción del óxido suelto y laminilla, mediante desincrustado, raspado, descamado, lijado y cepillado con cepillo rotatorio de alambre o esmerilado mecánico. Debe realizarse en una dirección y después en sentido perpendicular para luego de eliminado el polvo, la superficie muestre un pronunciado aspecto metálico.	Limpieza Motriz
<b>SSPC-SP5 (*)</b> <b>Limpieza al Metal Blanco por medio de Chorro</b>	Remoción de la totalidad del óxido visible, laminilla y materias extrañas por medio de chorro de arena por rueda o tobera (seco o húmedo) usando arena, arenisca o granalla. Luego de esto la superficie debe ser limpiada con un aspirador, aire comprimido limpio y seco o con un cepillo limpio para eliminar los residuos de polvo abrasivo, para que muestre un marcado color gris metálico y uniforme.	Arenado Grado 1
<b>SSPC-SP6 (*)</b> <b>Limpieza Comercial por Chorro</b>	Limpieza por chorro de arena por rueda o tobera (seco o húmedo) usando arena, arenisca o granalla hasta que por lo menos un 66% del área superficial del acero esté libre de óxido visible, laminilla y otras materias extrañas.	Arenado Grado 2
<b>SSPC-SP10 (*)</b> <b>Limpieza Cerca al Metal Blanco por medio de Chorro</b>	Limpieza por chorro de arena por rueda o tobera (seco o húmedo) usando arena, arenisca o granalla hasta que por lo menos un 95% del área superficial del acero esté libre de cualquier residuo visible.	Arenado Grado 4
<b>SSPC-SP8 (*)</b> <b>Decapado</b>	Remoción completa del óxido y laminilla, mediante decapado duplex o electrolítico usando una solución química diluida, generalmente de ácido clorhídrico (HCl)	Decapado

(\*) Poco prácticos y habituales para la limpieza en terreno de las armaduras y de costos relativamente onerosos, salvo su uso en algunas condiciones que exigen un tratamiento previo a la aplicación de revestimientos epóxicos o galvanizado de las barras o para ensayos comparativos de adherencia y tracción de probetas en laboratorio.

Además de lo anterior, el American Institute of Steel Construction (AISC) entrega algunas recomendaciones complementarias a las especificaciones SSPC para la limpieza con herramientas y mediante arenado, con el objetivo de ayudar a interpretar las condiciones del acero anteriores a la limpieza y un criterio final de aceptación.

En este caso, la condición del acero previa a la limpieza y el criterio final de aceptación de la superficie se determina por comparación visual con los estándares de color señalados como referencia en las vistas del Cuadro 6.2.3.3.

**Cuadro 6.2.3.3**

**Recomendaciones Complementarias para la Limpieza (AISC)**

Tipo de Limpieza	Condición Previa a la Limpieza	Criterio Visual Final de Aceptación	
		Grado de Corrosión	Estándar Gráfico
SP-2 Herramienta Manual	A o B	B St 2	
	C	C St 2	
	D	D St 2	
SP-3 Herramienta Mecánica	A o B	B St 3	
	C	C St 3	
	D	D St 3	
SP-5 Arenado Metal Blanco o Grado 1	A	A Sa 3	
	B	B Sa 3	
	C	C Sa 3	
	D	D Sa 3	

Como los diferentes estados de los aceros y herramientas empleados para la limpieza producirán tonos y matices levemente diferentes, los estándares visuales deben ser vistos con este criterio, sobretodo para el caso de las barras de

refuerzo para hormigón que no requieren lograr una superficie pulida, sino que es suficiente con eliminar la suciedad, las costras, herrumbre y laminilla suelta, antes que ellas sean manipuladas o utilizadas para fabricar las armaduras.

#### 6.2.4 Medición de la Corrosión

El procedimiento óptimo para medir el grado de corrosión de las armaduras de refuerzo que estén embebidas en el hormigón o para barras sin utilizar, debe ser en lo posible cuantitativo, debe poder utilizarse en barras ya corroídas y debe ser simple y fácil de instaurar en terreno.

Como ejemplo de esta medición cuantitativa, podemos citar los procedimientos descritos en la revista "Informes de la Construcción N° 353" (E. Barberá y J. Calavera - España, 1986) que definió dos estados de oxidación independientes del diámetro tratado; ligeramente oxidado cuando la disminución en el diámetro es de 0,01 milímetros y fuertemente oxidado cuando la disminución en el diámetro es de 0,04 milímetros. Fue realizada con barras con resaltes de diámetros 10 y 20 milímetros y conceptuó los dos grados de corrosión sobre la base de la reducción del diámetro respecto al estado inicial después de su limpieza con escobillado manual, calculado este diámetro nominal a partir del peso de la barra.

Pero es evidente que estas limitaciones carecen de equivalencia porcentual para diferentes diámetros ya que, por ejemplo, una barra con resaltes fuertemente oxidada de  $d_n$  8 tendría una disminución del diámetro de 0,5% mientras que una de  $d_n$  25 de 0,16%. Usando el mismo criterio, una barra ligeramente oxidada de  $d_n$  10 disminuiría su diámetro en 0,1% mientras que una de  $d_n$  25 milímetros un 0,04%.

Como podemos concluir de lo anterior, este método crea una serie de dificultades para poder ser aplicado de manera práctica en terreno, a la vez que presenta limitaciones para cumplir con lo establecido en la norma oficial NCh204 Of.2020, entre las cuales podemos destacar las siguientes:

1. Se requiere conocer las características y tolerancias dimensionales reales de cada barra individual, como son el diámetro real y los requisitos para los resaltes, información que se precisa en las Tablas 6.2.4.1 y 6.2.4.2 al final de esta Sección.

##### a) Se debe conocer el diámetro real.

El diámetro de una barra con resaltes, es un valor nominal que se determina a partir de la expresión  $d_n = 12,73 \sqrt{m_n}$ ; donde  $d_n$  es el diámetro nominal de la barra (milímetros) y  $m_n$  la masa lineal nominal de la barra (kilogramos/metro).

Además de lo anterior, hay que considerar que está permitida una tolerancia de la masa nominal para una barra individual de  $\pm 3,5\%$ , lo que implica que el diámetro podría variar hasta en un  $\pm 1,7\%$ . Para determinar la masa de una barra individual, se debe pesar un trozo de longitud igual o mayor a 500 milímetros en una balanza con una sensibilidad de 0,01 gramos.

##### b) Se debe cumplir con los requisitos de los resaltes.

En primer lugar, entre sus características podemos destacar el espaciamiento uniforme que debe existir entre ellos a lo largo de la barra, y su valor medio máximo, que debe ser igual o menor a 0,7 veces el diámetro nominal. El valor medio máximo, se determina dividiendo la distancia entre un punto de un resalte y el punto correspondiente de otro resalte del mismo lado de la barra, por el número de resaltes completos comprendidos en esa distancia más uno.

En segundo lugar, debemos considerar que la altura media mínima de los resaltes debe ser mayor o igual a 0,04 veces el diámetro nominal para las barras comprendidas entre  $c_p 8$  y  $c_p 18$  milímetros inclusive, y mayor o igual a 0,05 veces el diámetro nominal para barras mayores a  $c_p 18$  milímetros. La altura media de los resaltes se determina midiendo un número de resaltes igual o mayor a dos y las mediciones se deben hacer en tres puntos de cada resalte; en el medio y en los puntos cuartos de su desarrollo, mediante un calibrador con una precisión de 0,01 milímetros.

En tercer lugar se debe considerar que el ancho de la base en el punto medio de un resalte debe ser menor o igual a 0,25 veces el diámetro nominal de la barra y debe tener un ángulo de inclinación igual o mayor de  $45^\circ$  respecto al eje longitudinal de la barra. Si este ángulo estuviera



Figura 6.2.4: Esquema de Resaltes en una Barra de Refuerzo para Hormigón AZA

comprendido entre 45° y 70° inclusive, los resaltes deben tener inclinación contraria en los dos lados de la barra.

2. No entregan un estándar que permita calificar barras ya oxidadas, debido a lo expresado en el punto anterior, al desconocimiento del tipo de oxidación que experimentó la barra y debido a no saber sus características reales iniciales.

3. En la mayoría de los casos los procedimientos empleados no son repetibles, ya que se calificó el tipo de oxidación como a la intemperie durante un determinado período de tiempo, pero son muchos los factores del medio ambiente que no solo influyen en la corrosión, sino que además pueden actuar como impulsores o aceleradores

de la misma. Por ejemplo, dependiendo de la humedad, salinidad, temperatura, hollín o polvo en suspensión u otros agentes agresivos en el medio ambiente, la corrosión presente en las barras expuestas durante un espacio igual de tiempo, puede resultar totalmente diferente, incluso para aquellas que se encuentran ubicadas al interior de los paquetes o atados de barras respecto a las que están en la periferia de ellos.

4. Otro factor a considerar es que barras de distintos diámetros, sobre todo aquellas de grandes diámetros comparadas con otras más delgadas, expuestas al mismo ambiente agresivo atmosférico, durante igual tiempo, normalmente presentan grados de corrosión diferentes debido a las distintas superficies que desarrollan.

Tabla 6.2.4

Dimensiones de los Resaltes de las Barras de Refuerzo para Hormigón AZA (NCh204 Of.2020)

Diámetro $d_n$	Masa $m_n$	Espaciamiento	Altura	Ancho
		Medio Máximo $C_s$	Media Mínima $h_{media}$	de la Base Máxima $A$
mm	kg/m	mm	mm	mm
8	0,395	5,6	0,32	2,0
10	0,617	7,0	0,40	2,5
12	0,888	8,4	0,48	3,0
16	1,58	11,2	0,64	4,0
18	2,00	12,6	0,72	4,5
22	2,98	15,4	1,10	5,5
25	3,85	17,5	1,25	6,25
28	4,83	19,6	1,40	7,0
32	6,31	22,4	1,60	8,0
36	7,99	25,2	1,80	9,0
40	9,87	28,0	2,00	10,0

### 6.2.5 Medición Cuantitativa de la Corrosión

La medición cuantitativa de la corrosión de las armaduras está vinculada directamente con la velocidad de corrosión, la cual se define básicamente como la pérdida de masa del metal por unidad de superficie y tiempo.

$$VC = \frac{\text{Pérdida de masa del metal}}{\text{Superficie} \cdot \text{Tiempo}}$$

Las unidades se pueden expresar de diversas maneras, una de ellas deducida de la expresión anterior es:

$$\left[ \frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{Año}} \right]$$

pero las más usuales son las dos siguientes:

- a) Según lo que representa la Figura 6.2.5.1 para la penetración del ataque, bien sea para corrosión uniforme o localizada ( $P_{UL}$ ) como para la máxima profundidad de ataque ( $P_{MAX}$ ), expresada en  $\mu\text{m/año}$  o  $\text{mm/año}$ , que se calcula a partir de la pérdida de masa y la densidad del metal, para obtener la profundidad del ataque  $P_X$  en  $\mu\text{m}$  ( $10^{-6} \text{ m}$ ) ó  $\text{mm}$ .

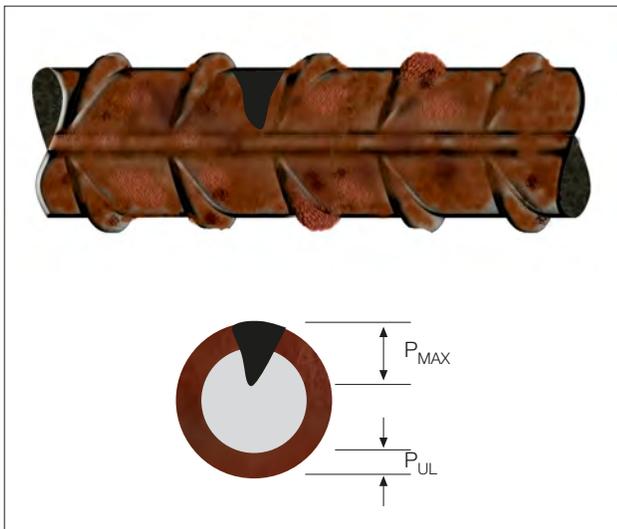


Figura 6.2.5.1: Esquema de Corrosión Uniforme y Máxima Profundidad de Ataque

- b) Medición en  $\mu\text{A/cm}^2$  a partir del uso de la Ley de Faraday, que convierte las unidades de masa en unidades eléctricas y cuya expresión es la siguiente:

$$\frac{It}{F} = \frac{\Delta w}{Wm/Z} \quad [6.2.5.1]$$

Donde:

- I = Corriente eléctrica en amperios
- t = Tiempo en segundos
- F = Constante de Faraday (96.500 coulumbios)
- $\Delta w$  = Pérdida de masa en gramos
- Wm = Peso molecular del metal
- Z = Valencia intercambiada.

La equivalencia de unidades resulta ser  $1 \mu\text{A/cm}^2 \equiv 11,6 \mu\text{m/año}$  y por convención se denomina  $I_{corr}$  a la velocidad cuando se expresa en  $\mu\text{A/cm}^2$  y  $V_{corr}$  cuando se expresa en  $\mu\text{m/año}$ .

En consecuencia, la determinación de la velocidad de corrosión de las barras, se puede realizar a través de medidas gravimétricas o de pérdida de peso, lo que en estructuras reales solo es posible si se corta un pequeño trozo de la armadura corroída, que previa limpieza se pesa y este peso se resta del peso inicial calculado a partir de las dimensiones del trozo cortado y la densidad del metal.

Otras maneras de medición es a partir de la disminución del diámetro de la barra, medida con un calibre previa limpieza de los óxidos existentes hasta obtener una superficie limpia, o medida por parámetros electroquímicos, entre los cuales podemos destacar el método de Resistencia de Polarización ( $R_p$ ), el más utilizado para medir la velocidad de corrosión, que se basa en aplicar una pequeña señal eléctrica al metal, como corriente  $\Delta I$  o voltaje  $\Delta E$ , y medir la correspondiente respuesta en voltaje o corriente:

$$R_p = \frac{\Delta E_{(\Delta E \geq 0)}}{\Delta I} \Rightarrow I_{corr} = \frac{B}{R_p} \quad (\text{velocidad instantánea de corrosión}).$$

Donde:

$B$  = Constante que para medidas en terreno se toma habitualmente un valor de 26 mV.

Esta medida se puede repetir indefinidamente, debido al carácter no-destructivo hacia el metal y al hecho de que solo tarda unos pocos minutos en su realización. La medida periódica de la  $R_p$  permite el seguimiento continuo de todo tipo de procesos de corrosión y se ha aplicado en multitud de sistemas metal/electrolito.

No obstante lo anterior, en estructuras de gran tamaño no se puede medir directamente  $R_p$ , debido a que el contraelectrodo es necesariamente mucho más pequeño que la armadura y la señal eléctrica aplicada tiende a dispersarse con la distancia (campo eléctrico no confinado), en lugar de distribuirse homogéneamente en una longitud fija, tal y como lo muestra la Figura 6.2.5.2, en la que la acción de la señal eléctrica no se puede referir a ningún área determinada y en consecuencia no se puede cuantificar la velocidad de corrosión.

Por lo tanto, en grandes estructuras, las medidas de la relación  $\Delta E/\Delta I$  no da valores exactos de la  $R_p$  sino que solo aporta valores que se denominan de Resistencia de Polarización Aparente ( $R_{pAP}$ ) que difieren incluso dos

órdenes de magnitud de la  $R_p$  verdadera, es decir si el metal se corroe activamente la corriente aplicada desde el pequeño contraelectrodo es fuertemente canalizada por las zonas activas.

Contrariamente, si el metal está pasivo y la  $R_p$  es alta, la corriente aplicada se dispersa mucho más lejos, por ejemplo unos 40 a 60 centímetros a partir del punto de aplicación, en consecuencia el valor de la  $R_p$  Aparente se aproxima a la  $R_p$  Verdadera solo en el caso de armaduras que se corroen activamente. Cuando la armadura está pasiva, ambos valores difieren mucho por la relativamente elevada área polarizada, en relación con la del contraelectrodo.

Para medir la  $R_p$  Verdadera existen varios métodos entre los que predomina, por ser el más exacto y que más se utiliza, el uso de un anillo de guarda para confinar la señal eléctrica en un área predeterminada, como lo muestra la Figura 6.2.5.3. Sin embargo no todos los anillos de guarda son eficientes, ya que solo es capaz de confinar el campo eléctrico eficazmente el que usa un confinamiento modulado, es decir controlado por dos pequeños electrodos o sensores, ubicados entre el contraelectrodo central y el anillo, vale decir que el anillo que no es modulado no es capaz de confinar correctamente el campo eléctrico en el área predeterminada.

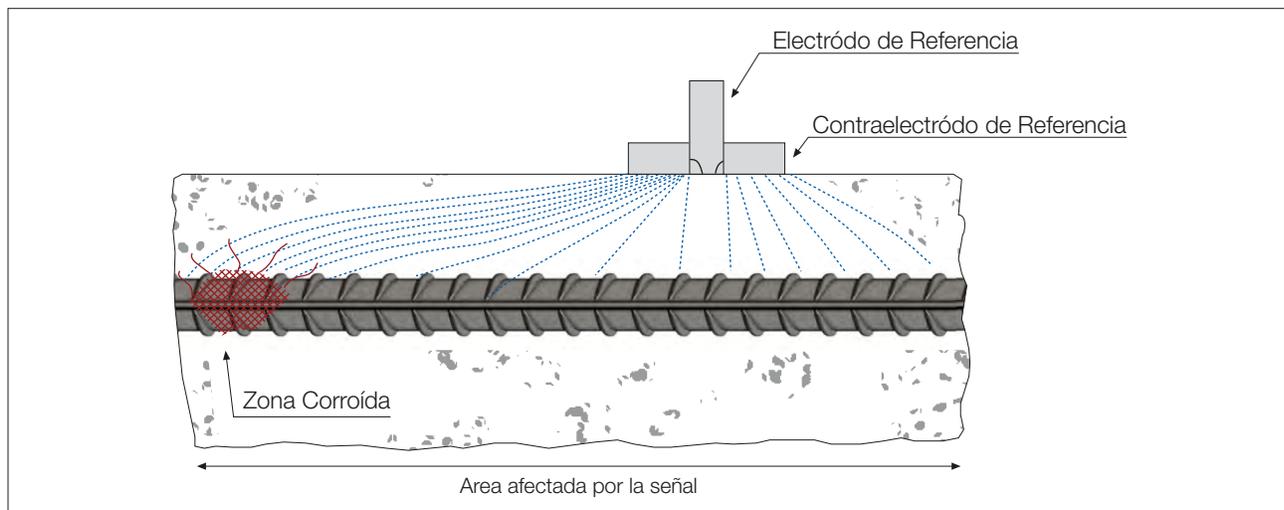


Figura 6.2.5.2: Esquema de un Campo Eléctrico no Confinado

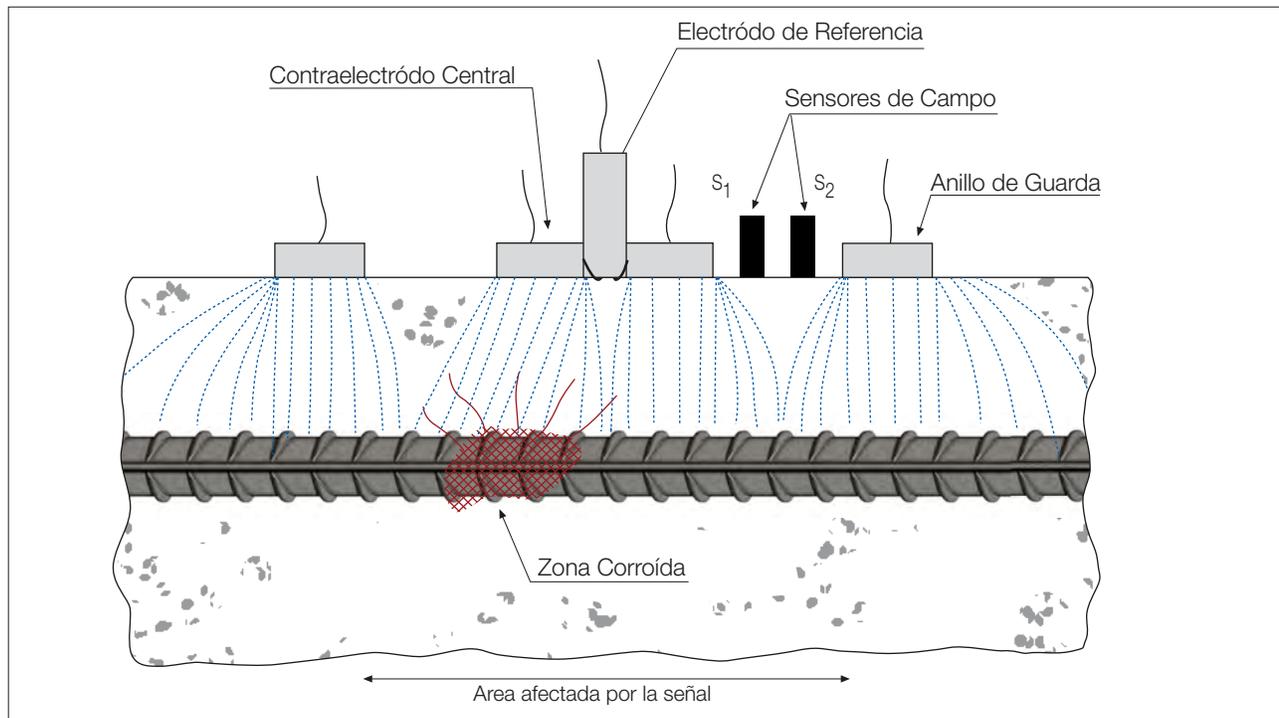


Figura 6.2.5.3: Esquema de un Campo Eléctrico Confinado

### 6.2.5.1 Velocidades de Corrosión Medidas en Terreno

Los valores de corriente de corrosión  $I_{corr}$  que se miden en estructuras reales, son del mismo orden de las que se obtienen en ensayos de laboratorio, vale decir que raramente se miden valores de  $I_{corr}$  superiores a  $1 \mu A/cm^2$  que valores

entre  $0,1$  y  $1 \mu A/cm^2$  que son los más frecuentes en las estructuras que se corroen activamente. Cuando el acero de las armaduras está pasivo los valores que se registran son muy pequeños (menores a  $0,05-0,1 \mu A/cm^2$ ) y se han clasificado en los rangos que se presentan en la Tabla 6.2.5.1.1.

Tabla 6.2.5.1.1

Unidades de medida de la Velocidad según el nivel de Corrosión

Velocidad de Corrosión		Nivel de Corrosión
$\mu A/cm^2$	$\mu m/año$	
< 0,1	< 1,0	Despreciable
0,1 - 0,5	1,0 - 5,0	Bajo
0,5 - 1,0	5,0 - 10,0	Moderado
> 1,0	> 10,0	Alto

Además, la comparación de los valores de la  $I_{corr}$  con los de resistividad eléctrica ( $\rho$ ) ha permitido clasificar también los valores de esta última y relacionarlos con el riesgo

de corrosión como lo indica la Tabla 6.2.5.1.2, válidos tanto para hormigones de cemento Pórtland normal como con adiciones.

Tabla 6.2.5.1.2 Riesgos de Corrosión en función de la Resistividad Eléctrica	
Resistividad $\rho$ ( $k\Omega \cdot cm$ )	Riesgo de Corrosión
> 100 - 200	• Despreciable - Hormigón muy seco
50 - 100	• Bajo
10 - 50	• Moderado a alto cuando el acero se corroe
< 10	• Muy alto
	(No es el parámetro que controla la velocidad de corrosión)

El hecho que más se destaca en las medidas de la velocidad de corrosión detectadas en terreno, radica en que este parámetro es función de diversos factores climáticos, y por lo tanto del medio ambiente que actúa sobre la estructura. Cuando se realiza una única medida en terreno, puede suceder que el hormigón esté seco y en consecuencia la velocidad obtenida sea muy baja, lo que puede llevar a una interpretación errónea sobre el estado de corrosión de la estructura. Por tal motivo, a continuación se presenta una metodología para obtener un valor representativo de la  $I_{corr}$  que se pueda utilizar para la predicción de la evolución futura del fenómeno.

Para ello existen dos alternativas, la primera es realizar medidas periódicas o en momentos precisos a lo menos durante un año y promediar estos valores, y la segunda es realizar una medida única y complementaria con otras medidas en el laboratorio, para obtener un valor promedio conservador.

**a) Medidas Discretas**

Lo óptimo y recomendable es realizar a lo menos cuatro mediciones durante un período de doce meses, teniendo en cuenta las estaciones anuales y considerando los eventos extremos siguientes, para obtener un valor más representativo

de la velocidad de corrosión.

- Período seco con bajas temperaturas.
- Período de bajas temperaturas, después de lluvia continua o intermitente durante dos o tres días.
- Período seco con altas temperaturas.
- Período de altas temperaturas, después de lluvia continua o intermitente durante dos o tres días.

Medidas efectuadas durante estos períodos permitirán detectar los valores máximos y mínimos y calcular los valores medios, la desviación estándar S y el coeficiente de variación V (%) de la velocidad de corrosión, a partir de la expresión siguiente:

$$I_{corr}^{rep} = \sum_0^n \frac{I_{corr}(t)}{n} \quad [6.2.5.1.1]$$

Donde:

- $I_{corr}^{rep}$  = Velocidad representativa de corrosión
- $I_{corr}(t)$  = Velocidad de corrosión medida en el tiempo t
- n = Número de mediciones realizadas

**b) Medidas Aisladas**

Cuando la única posibilidad es la realización de medidas aisladas, la incertidumbre de obtener un valor representativo

para la  $I_{corr}$  es mucho mayor. Para interpretar las medidas de la forma más precisa posible, el método que se recomienda está basado en la relación existente entre la  $I_{corr}$  y la resistividad y en complementar los valores de la  $I_{corr}$  obtenidos en terreno con los valores de resistividad medidos en testigos extraídos de la propia estructura y acondicionados en el laboratorio a distintas humedades.

En el Gráfico doble logarítmico 6.2.5.1.1 se muestra la relación general teórica entre la  $I_{corr}$  y  $\rho$ , siendo el procedimiento propuesto el siguiente:

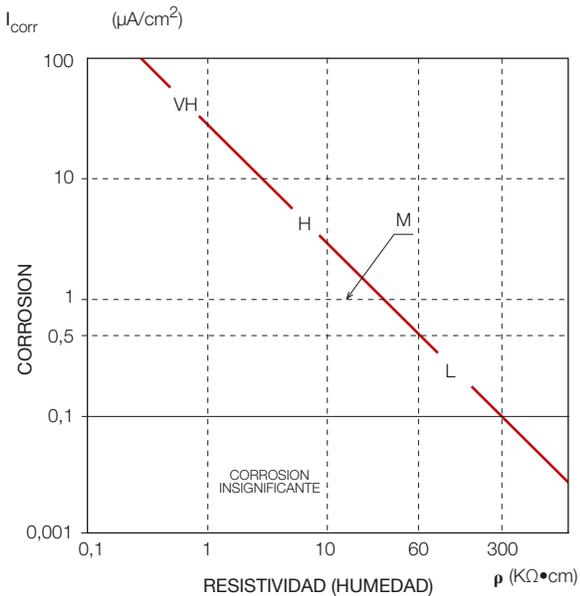
- Luego de efectuadas las mediciones de velocidad de corrosión se deben extraer probetas de estas zonas medidas, que bien protegidas y selladas se deben llevar al laboratorio para medir la resistividad de ellas y comprobar

su equivalencia con las medidas realizadas en obra.

- Después se deben introducir en una cámara acondicionada al 85% de humedad relativa (HR) para simular las condiciones de un hormigón protegido de la lluvia o saturarlas de agua completamente bajo vacío, para la equivalencia de hormigones expuestos a la lluvia. Cuando el peso varía menos del 0,1% se mide en estos testigos su resistividad mínima ( $\rho_{MIN}$ ).
- La etapa final consiste en situar los valores de la  $I_{corr}$  y de  $\rho$  medidos en terreno en los puntos A del Gráfico 6.2.5.1.2 y trazar la recta real paralela a la teórica. En seguida se sitúan los valores de  $\rho_{MIN}$  medidos en los testigos llevados al laboratorio (punto B) para luego obtener los valores de corriente de corrosión máxima (punto C), correspondientes al hormigón saturado o acondicionado al 85% de HR.

Gráfico 6.2.5.1.1

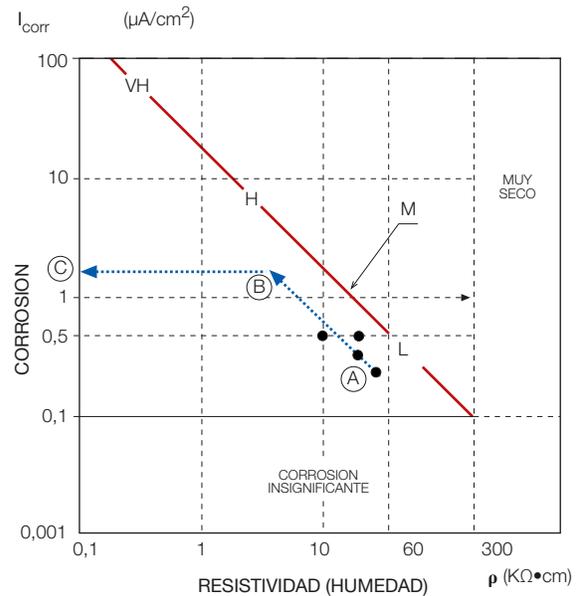
Relación General Teórica entre  $I_{corr}$  y  $\rho$



Donde:  
 VH = Muy alta  
 H = Alta  
 M = Moderada  
 L = Baja

Gráfico 6.2.5.1.2

Relación Real y Teórica entre los valores de  $I_{corr}$  y  $\rho$



Donde:  
 VH = Muy alta  
 H = Alta  
 M = Moderada  
 L = Baja  
 (A) = Mediciones en terreno  
 (B) = Valores mínimos de aire medidos en laboratorio  
 (C) = Corrientes de corrosión máxima

Finalmente la velocidad de corrosión representativa se obtiene promediando ambos grupos de valores, los obtenidos en terreno con los obtenidos en el laboratorio, conforme a la expresión siguiente cuyo procedimiento de cálculo se muestra en el diagrama de flujo 6.2.5 que sigue.

$$I_{corr}^{Rep} = \frac{I_{corr}^{sing} + I_{corr}^{max}}{2} \quad [6.2.5.1.2]$$

Donde:

$I_{corr}^{sing}$  = Velocidad de corrosión medida en terreno

$I_{corr}^{max}$  = Velocidad de corrosión medida en laboratorio

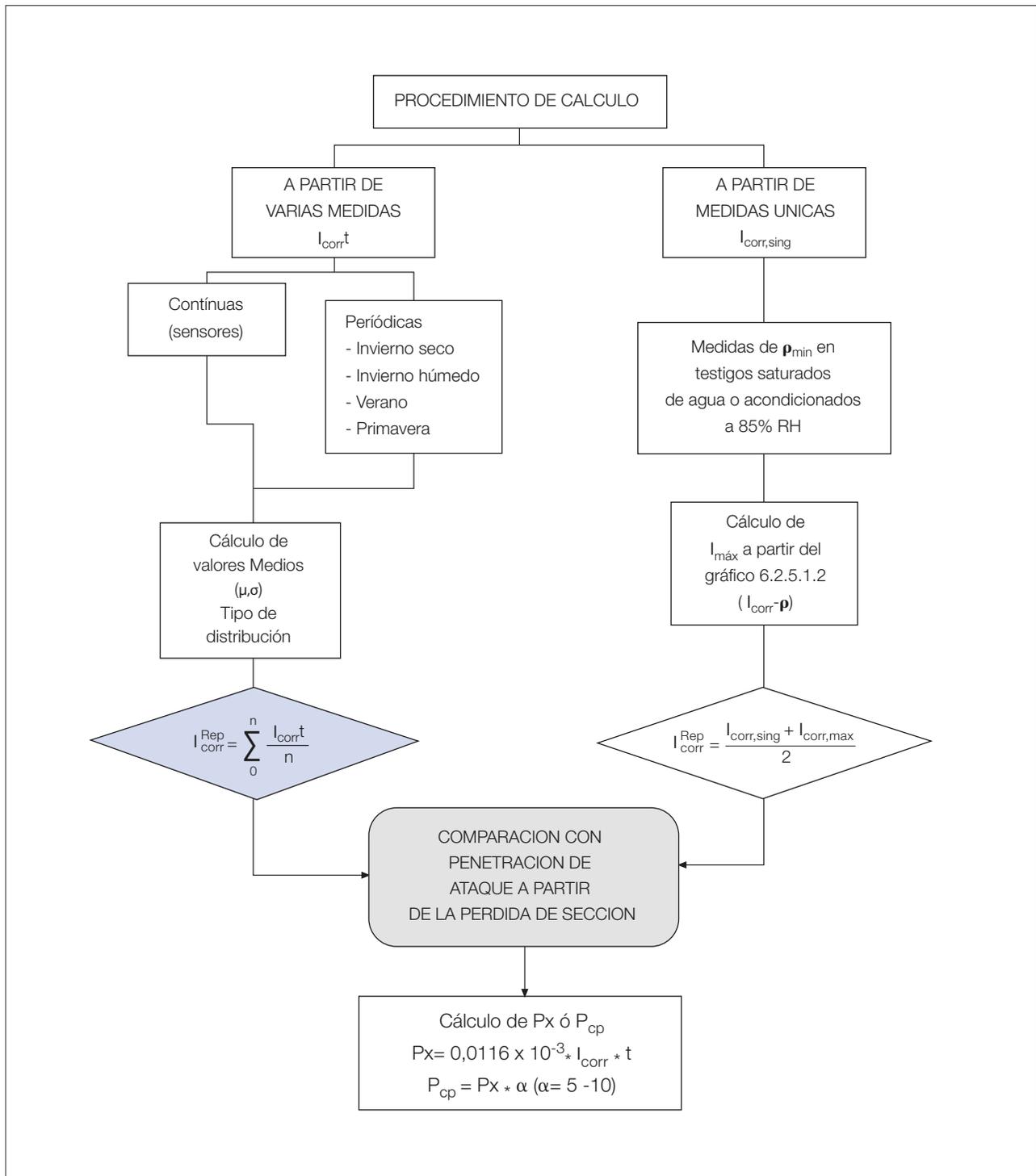


Figura 6.2.5: Procedimiento de Cálculo de  $I_{corr}^{Rep}$  para Mediciones en Terreno

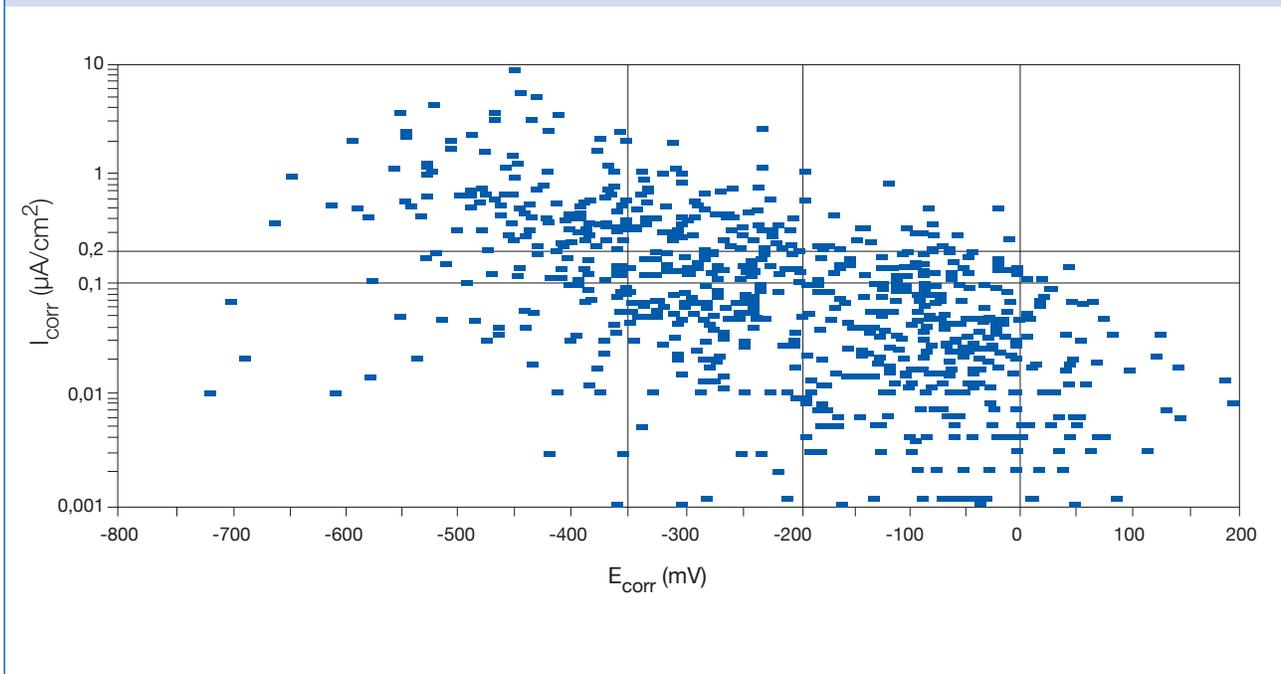
### 6.2.5.2 Relación entre la Intensidad y el Potencial

No existe una relación general entre la intensidad  $I_{corr}$  y el potencial  $E_{corr}$ , aunque en la misma estructura a veces pueden encontrarse relaciones relativamente directas entre

estos parámetros. En el Gráfico 6.2.5.2 se muestran los resultados de múltiples mediciones realizadas en estructuras reales, en donde se aprecia una clara relación entre ellas pero una dispersión muy grande, la que por sí misma no le da una validez practicable a esta relación.

Gráfico 6.2.5.2

Relación entre  $I_{corr}$  y  $E_{corr}$  medidas en Estructuras Reales



### 6.2.5.3 Pérdida de Sección de las Barras

La pérdida de radio, y por lo tanto de sección de la armadura, puede ser obtenida a partir de las medidas electroquímicas de  $I_{corr}$  o de la medida de directa sobre las barras una vez que estén limpias de óxido o herrumbre. La penetración de ataque  $P_X$ , para una corrosión uniforme y para aquella localizada, es el parámetro que define la pérdida de radio como se muestra en la Figura 6.2.5.3.

#### a) Medidas Electroquímicas

Para el caso de medidas electroquímicas la penetración de ataque  $P_X$  se obtiene a partir de la expresión siguiente:

$$P_X \text{ (mm/año)} = F \cdot I_{corr}^{rep} \cdot t_p \quad [6.2.5.3.1]$$

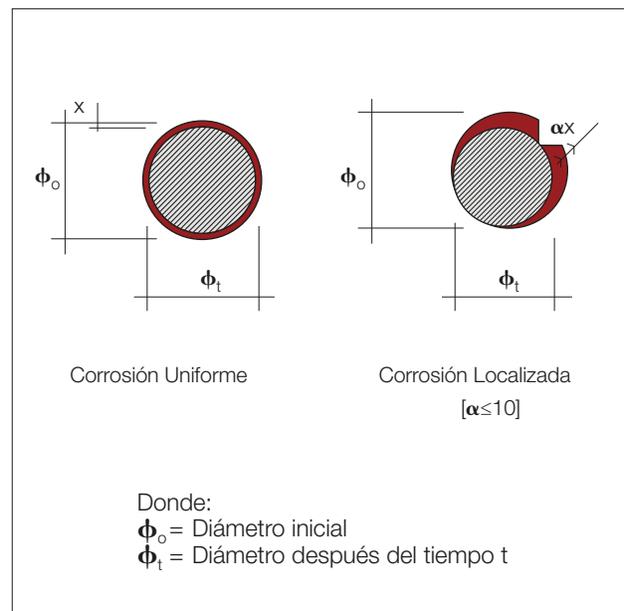


Figura 6.2.5.3: Diámetro Residual en el caso de Corrosión

Donde:

$t_p$  = Tiempo en años después de la despasivación de la armadura (se debe conocer cuando se inició)

$F = 0,0116$  (factor de conversión de mA/cm<sup>2</sup> en mm/año para el acero)

**b) Medida Localizada**

Cuando la corrosión es localizada, la profundidad máxima de la picadura (punto de corrosión) se calcula multiplicando la expresión anterior por un factor denominado  $a$ , que normalmente se considera con valor de 10, quedando la expresión de la manera más general siguiente:

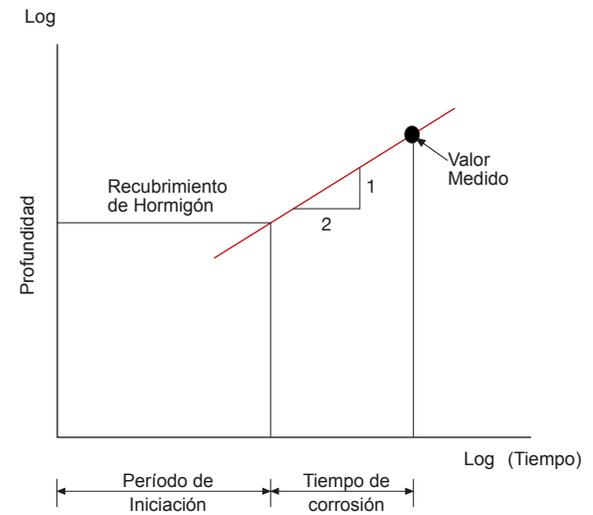
$$P_{CP} \text{ (mm/año)} = F * I_{corr}^{rep} * t_p * \alpha \quad [6.2.5.3.2]$$

El cálculo del tiempo  $t_p$  se puede realizar a partir de la profundidad del frente carbonatado o del perfil de cloruros para establecer el límite de despasivación. Conocida la situación de este límite se puede extrapolar hacia atrás, tal como lo muestra el Gráfico 6.2.5.3 doble logarítmico del tiempo y la profundidad (espesor del recubrimiento),

siguiendo la línea de pendiente 0,5 hasta que se alcanza el nivel de la armadura.

**Gráfico 6.2.5.3**

**Retro-extrapolación del límite de Despasivación para el Cálculo del tiempo  $t_p$**



#### 6.2.5.4 Velocidades de Corrosión en Ausencia de Medidas en Terreno

Cuando no se pueda realizar ninguna medida en terreno, ni la obtención de la  $I_{corr}$  ni la medida de la

pérdida de sección, por carbonatación o cloruros, se sugiere y es factible utilizar los valores promedio de la velocidad de corrosión representativa  $I_{corr}^{rep}$  en función de las clases de exposición que se indican en la Tabla 6.2.5.4:

Tabla 6.2.5.4			
Rangos de Valores de $I_{corr}$ sugeridos según la Clase de Exposición			
Descripción del Ambiente	Ejemplos	$I_{corr}$ ( $\mu A/cm^2$ )	
A. Sin riesgo de corrosión	Hormigón en el interior de edificios con niveles de humedad muy bajos.	~ 0,01	
B. Corrosión por Carbonatación		Parcialmente Carbonatado	Totalmente Carbonatado
B.1 Seco o permanentemente húmedo	Hormigón armado en el interior de edificios con humedad relativa baja (HR). Hormigón permanentemente sumergido.	~ 0,01	~ 0,01
B.2 Húmedo raramente seco	Superficies de hormigón sometidas al contacto con el agua durante largos períodos de tiempo. Fundaciones.	0,1 - 0,5	0,2 - 0,5
B.3 Humedad moderada	Hormigón armado en el interior de edificios con humedad relativa moderada. Hormigón en exteriores protegidos de la lluvia.	0,05 - 0,1	0,1 - 0,2
B.4 Ciclos húmedos y secos	Superficies de hormigón en contacto con el agua. No incluidas como húmedo o raramente seco.	0,01 - 0,2	0,2 - 0,5
C. Corrosión inducida por Cloruros de origen distinto del marino			
C.1 Moderadamente húmedo	Superficies de hormigón expuestas a los cloruros contenidos en el aire.	0,1 - 0,2	
C.2 Húmedo raramente seco	Piscinas. Estanques. Hormigón expuesto a la acción de aguas industriales que contienen cloruros.	0,1 - 0,5	
C.3 Ciclos húmedos y secos	Partes de puentes de hormigón armado expuestos a salpicaduras de agua que contienen cloruros.	0,5 - 5,0	
D. Corrosión inducida por Cloruros de origen marino			
D.1 Sal contenida en la niebla marina, sin contacto con el agua de mar.	Estructuras de hormigón armado cerca del mar o en el borde costero.	0,5 - 5,0	
D.2 Permanentemente sumergidas en agua de mar.	Partes de estructuras marítimas de hormigón armado.	0,1 - 1,0	
D.3 Zonas expuestas a la acción de las mareas o a salpicaduras.	Partes de estructuras marítimas de hormigón armado.	1,0 - 10,0	

### 6.2.5.5 Tasa de Oxidación

Un método simple para medir la corrosión y las variaciones dimensionales que se producen en las barras con resaltes individuales, recién laminadas o ya corroídas pero aún no utilizadas, es la aplicación del concepto de tasa de oxidación que mide la pérdida de masa en función del diámetro nominal y de su superficie adherente, lo que permite poder aplicarla a cualquier diámetro de barra, tal como lo explican los resultados de los ejemplos referenciales que se presentan a continuación.

$$T_{OX} = \frac{\text{Masa inicial} - \text{Masa final}}{\text{Superficie adherente}} = \frac{M_i - M_f}{\pi d_n \ell_d} \quad [6.2.5.5]$$

Donde:

$T_{OX}$  = Tasa de oxidación, g/mm<sup>2</sup>

$d_n$  = Diámetro nominal de la barra

$\ell_d$  = Longitud adherente de la barra con resaltes

#### Ejemplos de Medición de la Tasa de Oxidación

Como primer paso, se decidió que los procedimientos de limpieza superficial a que serían sometidas las barras serían cuatro, en primer lugar un decapado con HCl en

frío como referencia y luego un arenado a metal blanco, una limpieza con escobillado manual y la otra motriz, con el objetivo de calcular y comparar la tasa de oxidación y su dispersión para cada caso. Para esto se consideró la masa inicial de la barra como aquella en su estado original antes de ser limpiada, y la masa final como aquella barra ya tratada superficialmente, todas pesadas en una balanza con una sensibilidad de 0,01 gramos.

Enseguida, para la medición teórica de la corrosión, se cortaron como muestras trozos de una misma barra con resaltes de aproximadamente 200 milímetros de largo en los diámetros  $d_n$  12,  $d_n$  18 y  $d_n$  25, cada una de ellas seleccionadas y agrupadas en lotes según los cuatro grados de corrosión señalados en la Tabla 6.2.3.1 de la Sección 6.2.3 anterior, y sus vistas referenciales correspondientes.

#### a) Limpieza por Decapado

Se procede a efectuar un decapado en frío con HCl a seis muestras del diámetro 18, numeradas desde 1 al 24, basado en las recomendaciones que entrega la norma ASTM G1-72 y asociadas a los cuatro grados de oxidación A, B, C y D señalados. Los resultados se muestran en las Tablas 6.2.5.5.1 y 6.2.5.5.2.

**Tabla 6.2.5.5.1**
**Masa Unitaria de las Muestras y Grados de Oxidación - Limpieza por Decapado Barras  $d_n$  18**

Grado de Oxidación			Masa por Unidad de Longitud		
	Nº	Largo mm	Inicial g/cm	Final g/cm	Diferencia g/cm
A(*)	1	198	20,18	20,01	0,17
	2	200	20,19	20,03	0,16
	3	200	20,18	20,06	0,12
	4	200	20,25	20,10	0,15
	5	198	20,34	20,23	0,11
	6	202	20,23	20,10	0,13
B	7	202	20,54	20,31	0,23
	8	200	20,30	20,04	0,26
	9	199	20,48	20,32	0,16
	10	201	20,42	20,21	0,21
	11	200	20,61	20,28	0,33
	12	203	20,38	20,01	0,37
C	13	200	20,01	19,45	0,56
	14	200	20,42	20,21	0,21
	15	201	20,15	19,57	0,58
	16	203	20,05	19,59	0,46
	17	199	20,59	20,01	0,58
	18	200	20,02	19,79	0,23
D	19	199	20,05	19,63	0,42
	20	201	20,31	19,61	0,70
	21	203	20,12	19,56	0,56
	22	198	20,34	19,81	0,53
	23	200	20,02	19,71	0,31
	24	202	20,64	19,95	0,69

(\*) No es necesario la limpieza de barras de refuerzo para hormigón con grado de oxidación grado A, salvo que se requiera como condición previa para aplicar algún revestimiento especial posterior o algún ensaye de laboratorio.

Los valores que se presentan con fondo en color gris, no cumplen con la masa mínima de 20,0 g/cm exigida por la norma oficial chilena NCh204 Of.2020, para barras con resaltes de diámetro  $d_n$  18.

Tabla 6.2.5.5.2

Tasas de Oxidación - Limpieza por Decapado Barras  $d_n$  18

Diámetro barra $d_n$ mm	Recién Laminada Gr A mg/mm <sup>2</sup>	Poco Oxidada Gr B mg/mm <sup>2</sup>	Oxidada Gr C mg/mm <sup>2</sup>	Muy Oxidada Gr D mg/mm <sup>2</sup>
18	0,301	0,407	0,990	0,743
	0,283	0,460	0,371	1,238
	0,212	0,283	1,026	0,990
	0,265	0,371	0,813	0,937
	0,195	0,584	1,026	0,548
	0,230	0,654	0,407	1,220
<b>Resumen Tasas de Oxidación por Decapado</b>				
Mínima mg/mm <sup>2</sup>	0,195	0,283	0,371	0,548
Máxima mg/mm <sup>2</sup>	0,301	0,654	1,026	1,238
Media mg/mm <sup>2</sup>	0,248	0,460	0,772	0,946
Desviación Estándar mg/mm <sup>2</sup>	0,042	0,138	0,307	0,269
Coefficiente de Variación %	16,9	30,0	39,8	28,4

Como se puede apreciar, las tasas de oxidación por decapado con HCl en frío tienen una dispersión significativa y por lo tanto no permiten clasificar las barras de acuerdo con su estado de oxidación, además que estos valores se traslapan impidiendo establecer categorías con las que se pueda determinar claramente cada grado de oxidación.

La dispersión en los resultados se debe en parte a la pérdida de óxido por manipulación, pero es muy factible que la causa principal de ello se deba a la pérdida de masa en la limpieza por el ataque del ácido al metal base de las barras.

Por lo tanto, y aún cuando el decapado es considerado como uno de los mejores métodos de limpieza de superficies

metálicas, debido a las razones señaladas no usaremos este tipo de limpieza como criterio válido de medición en nuestros ejemplos, por ser poco usual.

#### b) Limpieza con Arenado

Para determinar la pérdida de masa, la tasa de oxidación y las variaciones dimensionales de las barras luego de limpiadas mediante arenado, se procede a seleccionar muestras para los diámetros  $d_n$  12 y  $d_n$  25, numeradas desde el 25 al 48 y agrupadas según los cuatro grados de corrosión dispuestos, con el objetivo de verificar el cumplimiento de los requisitos mínimos establecidos por la norma oficial chilena NCh204 Of.2020, excepto las variaciones de las características de los resaltes.

**Tabla 6.2.5.5.3**
**Masa Unitaria de las Muestras y Grados de Oxidación - Limpieza por Arenado Barras  $d_n$  12 y  $d_n$  25**

Grado de Oxidación	Identificación Muestras			Masa por Unidad de Longitud		
	< f Barra mm	Nº	Largo mm	Inicial g/cm	Final g/cm	Diferencia g/cm
A(*)	12	25	203	8,96	8,89	0,07
		26	201	8,98	8,91	0,07
		27	199	9,18	9,11	0,07
	25	28	200	39,85	39,69	0,16
		29	200	38,74	38,59	0,15
		30	199	39,96	39,82	0,14
B	12	31	201	9,01	8,92	0,09
		32	200	8,99	8,91	0,08
		33	200	9,07	8,99	0,08
	25	34	200	38,72	38,52	0,20
		35	203	39,16	38,98	0,18
		36	200	38,68	38,51	0,17
C	12	37	197	9,09	8,93	0,16
		38	200	8,91	8,71	0,20
		39	202	9,10	8,92	0,18
	25	40	200	38,98	38,61	0,37
		41	198	39,15	38,74	0,41
		42	201	38,70	38,30	0,40
D	12	43	200	9,05	8,77	0,28
		44	198	9,01	8,71	0,30
		45	202	8,88	8,59	0,29
	25	46	200	38,73	38,07	0,66
		47	201	39,04	38,35	0,69
		48	200	39,10	38,38	0,72

(\*) No es necesario la limpieza de barras de refuerzo para hormigón con grado A de oxidación, salvo que se requiera como condición previa para aplicar algún revestimiento especial posterior o algún ensaye de laboratorio.

Los valores que se presentan destacados con fondo en color gris, no cumplen con la masa mínima exigida por la norma oficial chilena NCh204 Of.2020, para barras con resaltes de diámetros  $d_n$  12 (0,888 kg/m) y  $d_n$  25 (3,85 kg/m).

Tabla 6.2.5.5.4

Tasas de Oxidación - Limpieza por Arenado Grado 1 Barras  $d_n$  12 y  $d_n$  25

Diámetro barra $d_n$ mm	Recién Laminada Gr A mg/mm <sup>2</sup>	Poco Oxidada Gr B mg/mm <sup>2</sup>	Oxidada Gr C mg/mm <sup>2</sup>	Muy Oxidada Gr D mg/mm <sup>2</sup>
12	0,186	0,239	0,424	0,743
	0,186	0,212	0,531	0,796
	0,186	0,212	0,477	0,769
25	0,204	0,255	0,471	0,840
	0,191	0,229	0,522	0,879
	0,178	0,216	0,509	0,917
<b>Resumen Tasas de Oxidación por Arenado</b>				
Mínima mg/mm <sup>2</sup>	0,178	0,212	0,424	0,743
Máxima mg/mm <sup>2</sup>	0,204	0,255	0,531	0,917
Media mg/mm <sup>2</sup>	0,189	0,227	0,489	0,824
Desviación Estándar mg/mm <sup>2</sup>	0,009	0,017	0,040	0,067
Coeficiente de Variación %	4,8	7,5	8,2	8,1

### c) Limpieza con Herramientas

En este caso, se procede a numerar las muestras desde el 49 al 96 para los diámetros 12 y 25 milímetros, agrupándolas de acuerdo con los cuatro grados de corrosión dispuestos y apartadas tanto para la limpieza

con herramienta manual como motriz, con el objetivo de verificar la tasa de oxidación y el cumplimiento de los requisitos mínimos establecidos por la norma oficial chilena NCh204 Of.2020, excepto las variaciones de las características de los resaltes.

**Tabla 6.2.5.5.5**
**Masa Unitaria de las Muestras y Grados de Oxidación - Limpieza con Herramientas Barras  $d_n$  12 y  $d_n$  25**

Grado de Oxidación	Tipo de Limpieza	Identificación Muestras			Masa por Unidad de Longitud		
		Diámetro $d_n$ mm	Nº	Largo mm	Inicial g/cm	Final g/cm	Diferencia g/cm
A(*)	Manual	12	49	197	8,94	8,89	0,05
			50	202	8,97	8,91	0,06
			51	200	9,18	9,13	0,05
		25	52	201	39,85	39,71	0,14
			53	197	38,74	38,62	0,12
			54	199	39,96	39,82	0,14
	Motriz	12	55	198	8,94	8,88	0,06
			56	200	9,02	8,95	0,07
		25	57	200	9,18	9,12	0,06
			58	200	39,85	39,71	0,14
B	Manual	12	61	200	9,01	8,94	0,07
			62	200	8,96	8,89	0,07
			63	198	9,00	8,93	0,07
		25	64	200	38,72	38,54	0,18
			65	203	39,17	39,01	0,16
			66	202	39,59	39,41	0,18
	Motriz	12	67	202	9,01	8,93	0,08
			68	200	8,82	8,74	0,08
		25	69	199	9,07	8,99	0,08
			70	199	38,72	38,53	0,19
C	Manual	12	73	199	9,17	9,04	0,13
			74	200	9,13	9,01	0,12
			75	202	9,02	8,90	0,12
		25	76	200	38,94	38,65	0,29
			77	200	39,39	39,10	0,29
			78	203	39,46	39,21	0,25
	Motriz	12	79	200	9,16	9,02	0,14
			80	200	9,01	8,88	0,13
		25	81	201	9,06	8,92	0,14
			82	202	38,93	38,60	0,33
D	Manual	12	83	200	39,44	39,10	0,34
			84	199	38,50	38,17	0,33
			85	200	8,89	8,73	0,16
		25	86	201	8,91	8,75	0,16
			87	196	9,02	8,86	0,16
			88	200	38,56	38,11	0,45
	Motriz	12	89	197	38,60	38,16	0,44
			90	202	38,90	38,43	0,47
		25	91	199	8,92	8,72	0,20
			92	201	8,89	8,69	0,20
Motriz	12	93	203	9,04	8,84	0,20	
		94	200	38,68	38,20	0,48	
	25	95	203	38,96	38,49	0,47	
		96	200	38,70	38,20	0,50	

(\*) No es necesario la limpieza de barras de refuerzo para hormigón con grado A de oxidación, salvo que se requiera como condición previa para aplicar algún revestimiento especial posterior o algún ensaye especial de laboratorio.  
 Los valores que se presentan destacados con fondo en color gris, no cumplen con la masa mínima exigida por la norma oficial chilena NCh204 Of.2020, para barras con resaltes de diámetros  $d_n$  12 (0,888 kg/m) y  $d_n$  25 (3,85 kg/m).

**Tabla 6.2.5.5.6**

**Tasas de Oxidación - Limpieza con Herramientas Barras  $d_n$  12 y  $d_n$  25**

Diámetro $d_n$ mm	Tipo de Limpieza	Recién Laminada Gr A mg/mm <sup>2</sup>	Poco Oxidada Gr B mg/mm <sup>2</sup>	Oxidada Gr C mg/mm <sup>2</sup>	Muy Oxidada Gr D mg/mm <sup>2</sup>
12	Manual	0,133	0,186	0,345	0,424
		0,159	0,186	0,318	0,424
		0,133	0,186	0,318	0,424
	Motriz	0,159	0,212	0,371	0,531
		0,186	0,212	0,345	0,531
		0,159	0,212	0,371	0,531
25	Manual	0,178	0,229	0,369	0,573
		0,153	0,204	0,369	0,560
		0,178	0,229	0,318	0,598
	Motriz	0,178	0,242	0,420	0,611
		0,166	0,229	0,433	0,598
		0,191	0,242	0,420	0,637
<b>Resumen Tasas de Oxidación por Limpieza con Herramientas Barras <math>d_n</math> 12 y <math>d_n</math> 25</b>					
Mínima (mg/mm <sup>2</sup> )		0,133	0,186	0,318	0,424
Máxima (mg/mm <sup>2</sup> )		0,191	0,242	0,433	0,637
Media (mg/mm <sup>2</sup> )		0,164	0,214	0,367	0,537
Desviación Estándar (mg/mm <sup>2</sup> )		0,019	0,021	0,041	0,076
Coeficiente de Variación (%)		11,6	9,7	11,1	14,1

**6.2.6 Medición Cualitativa de la Corrosión**

Luego de cumplidas las etapas de fabricación y colado del acero, las barras de refuerzo con resaltes para hormigón AZA son manufacturadas a partir de un producto semiterminado llamado palanquilla, que luego de seleccionadas según el grado del acero son cargadas a un horno de recalentamiento horizontal, donde alcanzan una temperatura uniforme de 1.200 °C, para permitir su deformación plástica durante el proceso de laminación en caliente.

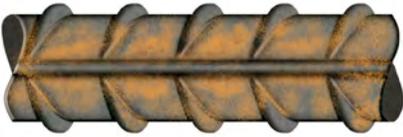
Es en este proceso metalúrgico, al aplicar calor, donde las barras de acero experimentan una fuerte reacción de oxidación con el aire del medio ambiente, dando origen a la formación sobre su superficie a una delgada, compacta, uniforme, poco permeable y firmemente adherida película o escamas de

oxidación de color gris acero o gris oscuro, denominada laminilla que tiene un espesor promedio del orden de 50 micras, la que como hemos dicho puede servir de protección eventual de las armaduras contra la corrosión húmeda posterior.

Dado que las barras nuevas o recién laminadas generan a temperatura ambiente lentamente su proceso de oxidación, después que salen del laminador y se almacenan, salvo que existan en la atmósfera agentes muy agresivos, y a las discrepancias que existen entre los usuarios del sector respecto a emplear barras individuales que se muestran aparentemente oxidadas, cuando aún no han sido manipuladas, en la Tabla 6.2.6 e ilustraciones en color siguientes se propone una solución práctica que permita ayudar a tomar la decisión en terreno si es o no conveniente utilizarlas en la fabricación de armaduras, según el estado en que se encuentran.

Tabla 6.2.6

Grados de Corrosión en Barras Individuales Oxidadas

	Descripción de la visualización	Recomendaciones previas a su uso
<p>Grado A<sub>0</sub>: Barra recién laminada<sup>(1)</sup></p> 	<p>Superficie lisa y uniforme color gris oscuro o gris acero, con firmes y delgadas películas adheridas producto de la laminación (laminillas) y sin nada de óxido aparente.</p>	<p>Sin restricción de uso</p>
<p>Grado A<sub>1</sub>: Barra levemente oxidada<sup>(1)</sup></p> 	<p>Superficie lisa y uniforme color gris oscuro o gris acero, con firmes y delgadas películas adheridas producto de la laminación (laminillas), pero con algunas zonas manchadas con un polvillo color pardo amarillento, producto de una oxidación superficial por condensación de la humedad del medio ambiente mezclada con elementos de naturaleza orgánica o química poco agresivos. Este polvillo se pierde generalmente con la manipulación.</p>	<p>Sin restricción de uso</p>
<p>Grado B: Barra poco oxidada<sup>(2)</sup></p> 	<p>Superficie con zonas mayoritariamente de color pardo rojizo, donde algunas poquísimas costras y laminillas comienzan a soltarse, pero el núcleo, todos los resaltos y los nervios longitudinales se notan relativamente sanos. Las barras presentan pocas, pequeñas e insignificantes picaduras (puntos de corrosión) y prácticamente no pierde óxido suelto por manipulación.</p>	<p>Sin restricción de uso, salvo que en algunos casos se podría requerir una leve limpieza superficial con herramienta manual o mecánica (SP-2 o SP-3).</p>
<p>Grado C: Barra oxidada<sup>(2)</sup></p> 	<p>Superficie de color pardo rojizo, donde un porcentaje de los resaltos y nervios longitudinales se notan dañados y casi han perdido su forma original. Tiene varias costras y laminillas sueltas y solo unas pocas aún están adheridas, a simple vista presenta herrumbre y varias picaduras y cráteres (puntos de corrosión), pero pierde un poco de óxido suelto por manipulación.</p>	<p>Estas barras requieren obligatoriamente de limpieza superficial manual o motriz enérgica y profunda (SP2 o SP-3), y por ello su uso está condicionado a una verificación previa de la masa y características dimensionales de sus resaltos y nervios longitudinales, para verificar el cumplimiento de los requisitos mínimos exigidos por la norma oficial chilena NCh204 Of.2020.</p>
<p>Grado D: Barra muy oxidada</p> 	<p>Superficie de color rojizo y en ocasiones con zonas manchadas con matices de otros colores, producto del hollín y de otros agresivos del medio ambiente. La laminilla se ha desprendido en su totalidad y presenta muchas costras, muchas de las cuales se desprenden solas o con escobillado manual. El núcleo, los resaltos y los nervios longitudinales con bastantes cráteres o picaduras. Los resaltos y nervios desaparecen en algunas partes confundidos con los elementos de la corrosión. Las barras pierden bastante óxido y herrumbre por manipulación.</p>	<p>No sería recomendable el uso de estas barras, ya que al ser manipuladas y tratadas mediante cualquier método de limpieza superficial, es altamente probable una pérdida importante de su masa o de las características dimensionales de los resaltos, no cumpliendo así con los requisitos mínimos exigidos por la norma oficial chilena NCh204 Of.2020.</p>

### 6.3 AGENTES AGRESIVOS

#### 6.3.1 Exposición a Congelación y a Deshielo

De acuerdo con el Código ACI 318, el hormigón de peso normal (2.400 kg/m<sup>3</sup>) y de peso liviano expuesto a

condiciones de congelación y deshielo o a productos químicos descongelantes, debe tener aire incorporado con el contenido indicado en la Tabla 6.3.2.1 con una tolerancia de  $\pm 1,5\%$ . Para hormigones con una resistencia a la compresión  $f'_c$  especificada mayor que 35 MPa, se permite reducir en 1% el contenido de aire de esta Tabla.

**Tabla 6.3.1.1**

**Contenido total de Aire para el Hormigón Resistente al Congelamiento (ACI 318)**

Tamaño máximo nominal del agregado (*) mm	Contenido de Aire %	
	Exposición Severa	Exposición Moderada
9,5	7,5	6
12,5	7	5,5
19,0	6	5
25,0	6	4,5
37,5	5,5	4,5
50+	5	4
75+	4,5	3,5

(\*) Ver norma ASTM C33 para las tolerancias de sobretamaño, o su correspondencia con la norma chilena NCh163 Of.79.

+ Los contenidos de aire para estos tamaños se consideran para la mezcla total con áridos hasta 37,5 mm, por lo que deben ser retirados antes del ensayo y luego reincorporados.

El hormigón que estará expuesto a las condiciones descritas en la Tabla 6.3.1.2 debe cumplir con las razones máximas agua/cemento y con las resistencias a la compresión ahí indicadas, y si además se verá expuesto a productos

químicos descongelantes debe cumplir con las limitaciones señaladas en la Tabla 6.3.1.3, salvo que las normas chilenas vigentes o el proyectista dispongan otra cosa.

**Tabla 6.3.1.2**
**Requisitos para Condiciones de Exposición Especiales (ACI 318)**

Condición de exposición	Hormigón con agregado de peso normal razón máxima agua/cemento en peso	Hormigón con agregado de peso normal y ligero $f'_c$ mínima (MPa)
Hormigón que pretenda tener una baja permeabilidad en exposición de agua.	0,50	28
Hormigón expuesto a congelación y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes.	0,45	31
Para proteger de la corrosión a la armadura en el hormigón expuesto a cloruros de sales descongelantes, sal, agua salobre o salpicaduras del mismo origen.	0,40	35

**Tabla 6.3.1.3**
**Requisitos para Hormigón Expuesto a Descongelantes (ACI 318)**

Materiales Cementantes	Porcentaje Máximo sobre el total de Materiales Cementantes en Peso <sup>(*)</sup>
Cenizas volantes u otras puzolanas que se ajusten a ASTM C618	25
Escoria que se ajuste a ASTM C989	50
Humo de sílice que se ajusta a ASTM C1240	10
Total de cenizas volantes u otras puzolanas, escoria y humo de sílice	50+
Total de cenizas volantes u otras puzolanas y humo de sílice	35+

(\*) El total de materiales cementantes también incluye cementos ASTM C150, C595, C845 y C1157, las cenizas volantes u otras puzolanas presentes en cementos combinados tipo IP o I(PM), la escoria usada en la fabricación de cementos combinados tipo IS o I(SM) y el humo de sílice presente en cementos combinados.

+ Las cenizas volantes u otras puzolanas y el humo de sílice no deben constituir más del 25% y 10%, respectivamente, del peso total de los materiales cementantes.

### 6.3.2 Exposición a Sulfatos

El hormigón que va a estar expuesto a soluciones procedentes de aguas o suelos que contengan sulfatos, debe fabricarse con los cementos resistentes a sulfatos que la norma ASTM C150 clasifica como; cementos mediana o moderadamente resistentes al ataque de sulfatos a aquellos que tienen hasta un 8% de contenido de aluminato tricálcico  $3CaO \cdot Al_2O_3$ , denominado AC<sub>3</sub>,

(cemento tipo II), y como cementos altamente resistentes a aquellos con un contenido máximo de 5% de AC<sub>3</sub> (cemento tipo V).

Por otra parte y como alternativa, la norma ASTM C150 dispone para evaluar la capacidad de resistir el ataque de sulfatos para los cementos tipo V, el porcentaje de expansión a 14 días medido según la norma ASTM C452, cuyo valor máximo no puede exceder al 0,04%.

Ambos principios son válidos solo para cementos Pórtland sin adiciones y no crean una base apropiada para evaluar el comportamiento de cementos con adiciones frente al ataque de sulfatos, como es el caso de los cementos Pórtland Puzolánicos que mayoritariamente usamos en Chile.

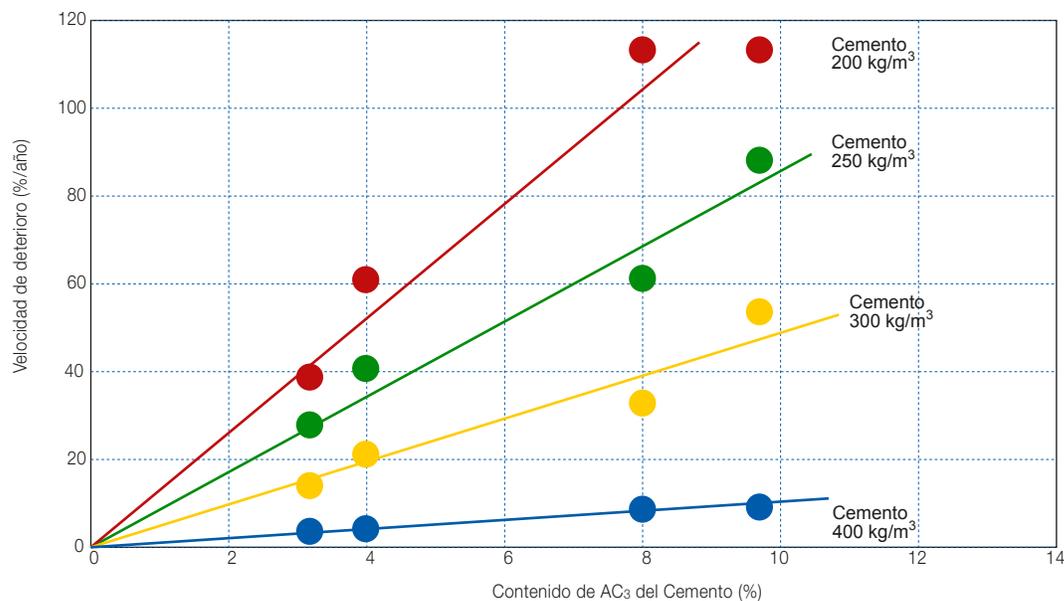
Además, es importante tener en cuenta que una vez que los sulfatos penetran el hormigón endurecido, estos provocan una reacción química que genera compuestos expansivos, como la thaumasita el yeso la ettringita, elemento este último el que, procedente básicamente de la combinación de los sulfatos con los hidratos de  $AC_3$  del cemento, es la causa del principal deterioro al hormigón debido a los grandes esfuerzos internos de expansión, produciendo la fisuración del mismo y facilitando y acelerando el ingreso de más sulfatos que pueden llegar a la desintegración del hormigón.

Al ataque de naturaleza química puede eventualmente agregarse un ataque de tipo físico ocasionado por la cristalización de sales de sulfato en la superficie del hormigón, mecanismo que comienza a operar cuando las estructuras de hormigón están sometidas a ciclos de humedecimiento y secado muy intensos.

Además, ya que el ingreso de los sulfatos al hormigón está regido y depende de su permeabilidad, es importante que esta sea la mínima posible, garantizando para que ello ocurra un contenido adecuado de cemento (Ver ejemplo en Gráfico 6.3.2.1), una disminución de la relación agua/cemento y una correcta colocación, compactación y curado del hormigón. Con estas medidas se podrá asegurar la calidad del hormigón fresco y minimizar el riesgo de defectos en el hormigón endurecido, como las fisuras y elevada porosidad en su superficie que facilitan el acceso de los sulfatos disueltos en agua.

Gráfico 6.3.2.1

Efecto del Contenido de Cemento en el Hormigón Fresco sobre la Resistencia a los Sulfatos



Fuente: G.J. Verbeck - Performance of Concrete, Universidad de Toronto

**Tabla 6.3.2.1**
**Requisitos para Hormigones Expuestos a Soluciones que contienen Sulfatos (ACI 318)**

Exposición a Sulfatos	Sulfato (SO <sub>4</sub> ) acuoso soluble en el suelo % en Peso	Sulfato (SO <sub>4</sub> ) en el agua ppm (mg/litro)	Tipo de Cemento Normas ASTM	Hormigón con Agregado de Peso Normal (2.400 kg/m <sup>3</sup> )	Hormigón con Agregado de Peso Normal y Liviano
				Razón Máxima agua/cemento en peso <sup>(*)</sup>	Resistencia mínima a la compresión f'c MPa <sup>(*)</sup>
Insignificante	0,00-0,10	0-150	-	-	-
Moderada <sup>(**)</sup>	0,10-0,20	150-1.500	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0,50	28
Severa <sup>(***)</sup>	0,20-2,00	1.500-10.000	V	0,45	31
Muy severa <sup>(***)</sup>	Más de 2,00	Más de 10.000	V más puzolana	0,45	31

(\*) Cuando se consideren los valores de esta tabla o los de la tabla 6.3.2.1, se debe usar la menor razón máxima agua/cemento aplicable y el mayor valor de f'c mínimo señalado en cualquiera de ellas.

(\*\*) La exposición moderada señalada en esta tabla se refiere a agua de mar, aún cuando generalmente contiene más de 1.500 mg/litro de SO<sub>4</sub> (Ver las tablas comparativas 6.3.2.3 y 6.3.2.4), por lo que pueden emplearse tipos de cementos con un contenido de AC3 hasta de 10% si se reduce la razón agua/cemento máxima a 0,40 en peso.

(\*\*\*) El cloruro de calcio no debe emplearse como aditivo en el hormigón en estas exposiciones.

Dadas las limitaciones señaladas en los párrafos anteriores y con el propósito de desarrollar un nuevo método para evaluar la capacidad sulfurresistente de los cementos con adiciones, a fines de la década de los años setenta la ASTM dio inicio a programas de investigación con este objetivo, los cuales resultaron en la publicación de la norma ASTM C1012 del año 1984, que constituye un procedimiento para medir los cambios de longitud de cementos hidráulicos Pórtland o Pórtland con adiciones, expuestos a soluciones que contienen sulfatos, disponiendo como criterio de falla una expansión de la probeta de ensayo superior a un 0,1% en las condiciones descritas por la norma.

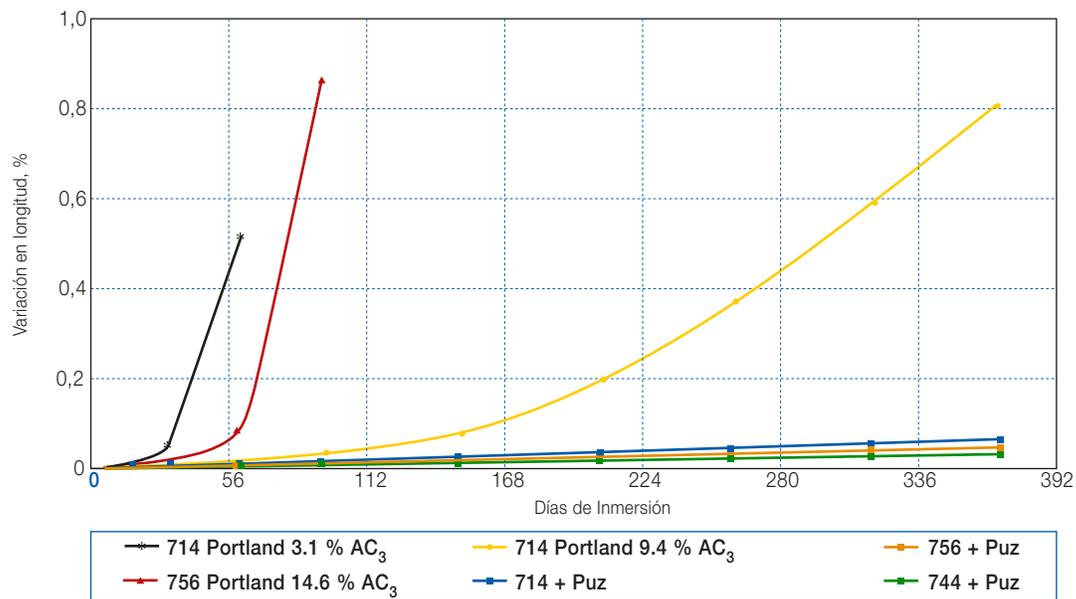
En el Gráfico 6.3.2.2 se presenta un extracto de los resultados de las investigaciones realizadas por la ASTM,

donde se puede ver que los cementos Pórtland con contenidos de  $AC_3$  entre 9 y 15% experimentan expansiones muy superiores al límite de 0,1% definido como falla, y que la sustitución parcial de estos cementos por puzolanas disminuye fuertemente el grado de expansión a niveles adecuados para ser clasificados como resistentes a la exposición de sulfatos.

Se estima que las puzolanas más convenientes serían las de granulometrías más finas, con contenido de sílice y un alto grado de sílice amorfa, lo mismo pasaría con otras puzolanas, como algunos tipos de cenizas volantes (fly ash), que mejorarían la resistencia del hormigón al ataque de los sulfatos, incluso respecto a cementos catalogados como no sulfurresistentes.

Gráfico 6.3.2.2

Medición de las Expansiones para diferentes tipos de Cemento



Fuente: Revista BIT N° 24 - Diciembre 2001

Tabla 6.3.2.2

Resistencia al Ataque de Sulfatos

Tipo	Clasificación de los Cementos Norma ASTM C1157	Expansión Máxima ASTM C1012 %	
	Propiedad Específica	6 meses	12 meses
GU	Ninguna. Para usos en la construcción en general		
HE	Alta resistencia inicial		
MS	Moderada resistencia a los sulfatos	0,10	
HS	Alta resistencia a los sulfatos	0,05	0,10
MH	Moderado calor de hidratación		
LH	Bajo calor de hidratación		

Fuente: Revista BIT N° 24 - Diciembre 2001

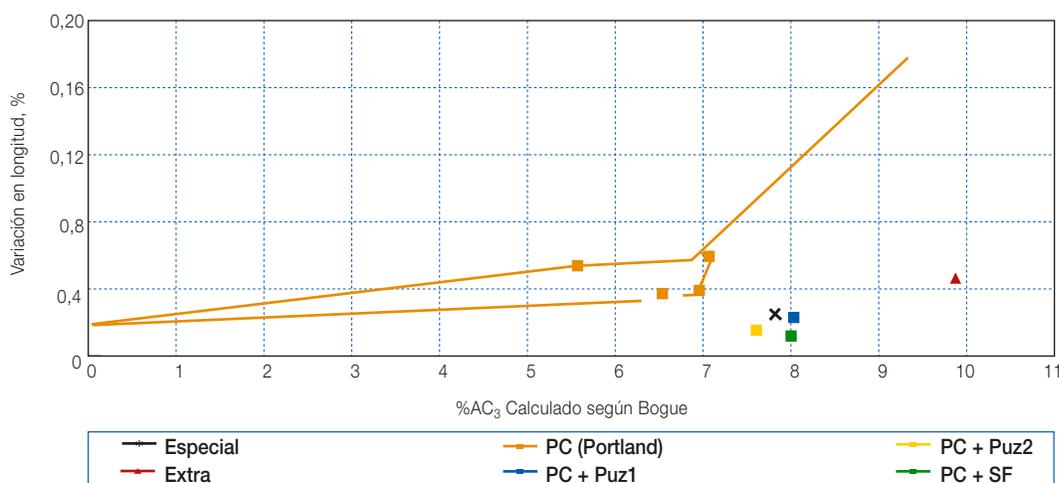
A partir de los antecedentes reunidos y las investigaciones y resultados obtenidos, en el año 1992 la ASTM publica la norma C1157, destinada a clasificar a los cementos sin importar su composición y de acuerdo con su proceder en determinados ensayos, entre ellos el de resistencia al ataque de sulfatos tal como se señala en la Tabla 6.3.2.2 de la página siguiente, determinada según el método de la norma ASTM C1012.

Mediciones a las expansiones a 180 días de cementos Pórtland normales y cementos Pórtland con adición de

puzolanas, realizada por la ASTM en función del contenido de AC<sub>3</sub>, se sintetizan en los resultados del Gráfico 6.3.2.3, que incluye el comportamiento medido a los cementos denominados comercialmente en Chile como especial y extra o de alta resistencia, donde se constata nuevamente la contribución de las puzolanas en la reducción de las expansiones, de tal forma que cementos Pórtland con alto contenido de AC<sub>3</sub>, pasan de experimentar expansiones muy superiores a los límites establecidos por la norma, a niveles de expansión que les permiten cumplir con el criterio de sulforresistencia.

Gráfico 6.3.2.3

Medición de las Expansiones a 180 días



Fuente: Revista BIT N° 24 - Diciembre 2001

Otros conceptos predominantes en esta materia son el grado de exposición a sulfatos según los organismos internacionales señalados y el nivel de concentraciones

típicas detectadas en nuestro país, mostrados en las Tablas 6.3.2.3 y 6.3.2.4 siguientes.

Tabla 6.3.2.3 Clasificación del Grado de Exposición		
Exposición a Sulfatos	Iones $\text{SO}_4^{2-}$ en el Agua mg/litro (ppm)	
	ACI 318	CEB(*)
Insignificante	0-150	200-600
Ataque moderado	150-1.500	600-3.000
Ataque severo	1.500-10.000	3.000-6.000
Ataque muy severo	Más de 10.000	Más de 6.000

(\*) Comité Euro-International du Beton

Tabla 6.3.2.4 Concentraciones Típicas de Sulfatos en Chile	
Solución	Iones $\text{SO}_4^{2-}$ en el Agua mg/litro (ppm)
Agua de mar	2.000 a 2.800
Aguas servidas	100 a 450

Fuente: Revista BIT N° 24 - Diciembre 2001

Tabla 6.3.2.5 Clasificación de los Cementos según su Composición (NCh148)			
Denominación	Proporción de los Componentes		
	Clínquer	Puzolana	Escoria
Pórtland Normal	100%	-	-
Pórtland Puzolánico	≥ 70%	≤ 30%	-
Pórtland Siderúrgico	≥ 70%	-	≤ 30%
Puzolánico	50-70%	30-50%	-
Siderúrgico	25-70%	-	30-75%

Conclusión:

De los antecedentes y resultados de esta Sección se concluye; en primer lugar, que en Chile el ataque de sulfatos es poco frecuente y que su nivel puede clasificarse, según el criterio adoptado por el ACI o el CEB, como severo o moderado para el agua de mar y como moderado o

insignificante para las aguas servidas, y en segundo lugar, ya que en Chile existe la costumbre de usar cementos Pórtland Puzolánicos con adiciones (Tabla 6.3.2.5), es recomendable y conveniente aplicar los conceptos de la norma ASTM C1157 que caracteriza a los cementos conforme a su comportamiento real, en sustitución de los criterios de la norma ASTM C150

que los juzga de acuerdo a su composición y que solo es aplicable para cementos Pórtland normales.

### 6.3.3 Carbonatación del Hormigón

Se conoce como carbonatación del hormigón, también llamada neutralización, al proceso mediante el cual el anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) contenido en la atmósfera (generalmente en concentraciones entre 600 y 800  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) se introduce por difusión en las oquedades o poros capilares del hormigón produciendo una reacción química con el hidróxido de calcio [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ] o con los residuos de cal libre para formar carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), reduciendo como consecuencia de ello paulatinamente la alcalinidad del hormigón, que en forma inicial corresponde a un pH entre 12,6 a 14, hasta valores cercanos

a neutros (7 a 8), permitiendo que la alcalinidad sea insuficiente para mantener pasiva la capa protectora de óxido de las barras, estado a partir del cual el oxígeno y la humedad iniciarán una reacción de corrosión generalizada, dando lugar a la formación de sales de hierro y herrumbre, en capas superpuestas en el acero, que son elementos voluminosos y expansivos que producirán inevitablemente con el tiempo fisuras en el hormigón y el desprendimiento del recubrimiento (Spalling), dejando las armaduras corroídas expuestas al medio ambiente.

Además, en la Figura 6.3.3.2 se muestra el cambio abrupto del pH que se produce en el interior del hormigón (valor equivalente al logaritmo negativo de la concentración iónica de hidrógeno  $\text{CH}$ ), que es el que da lugar a la aparición de un frente carbonatado que al llegar a la armadura la despasiva en forma generalizada como consecuencia de la disminución del pH.

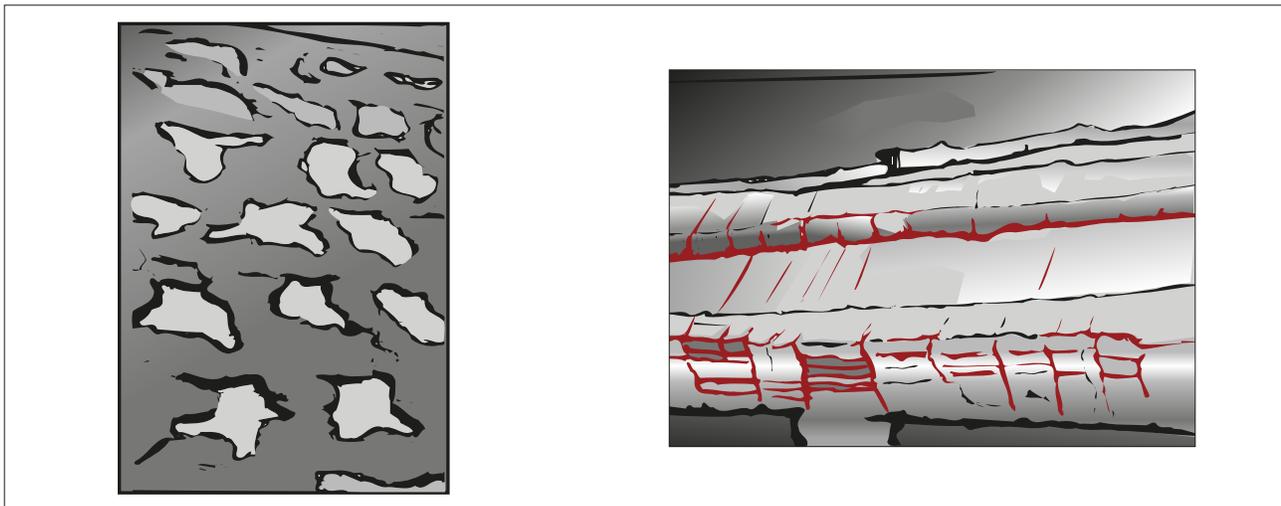


Figura 6.3.3.1: Mapa de Fisuras y Desprendimiento del Recubrimiento por Carbonatación del Hormigón

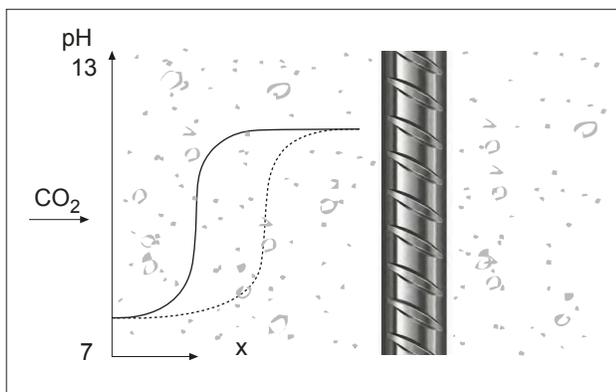


Figura 6.3.3.2: Variación del pH en el Hormigón por Carbonatación

### 6.3.3.1 Profundidad de Carbonatación

Para el cálculo de la profundidad de carbonatación existen varios métodos o modelos matemáticos desarrollados por distintos investigadores, entre los cuales podemos destacar los siguientes:

- Método de la raíz cuadrada del tiempo
- Modelo de Tuutti
- Modelo de Bakker
- Modelo del CEB (Comité Euro-Internacional del Hormigón)

#### a) Método de la raíz cuadrada del tiempo

Una de las expresiones matemáticas que más se utiliza para efectuar de manera simple la predicción de la velocidad de penetración de la carbonatación o de los cloruros en las estructuras reales, es la solución que entrega la función de la raíz cuadrada del tiempo, que es válida para los procesos de difusión pura y de absorción capilar, los cuales siguen una ley potencial.

$$X = V \cdot t^{0,5} \quad [6.3.3.1.1]$$

Donde:

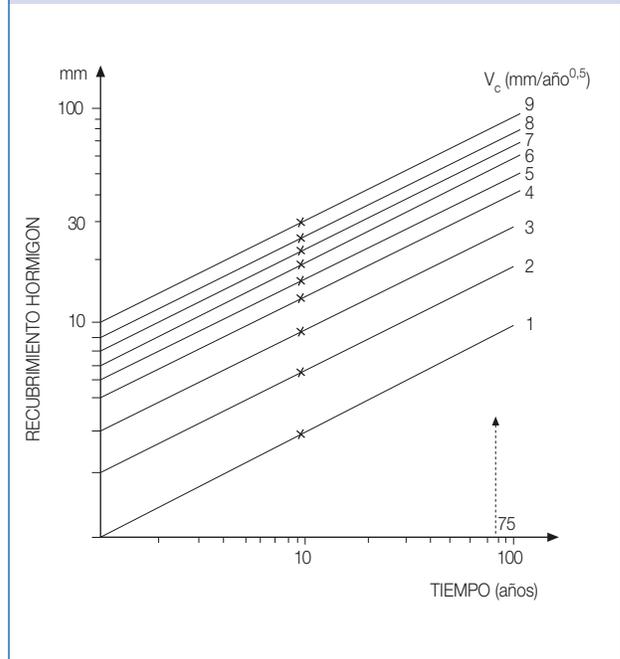
X = Profundidad alcanzada de penetración o frente carbonatado, mm

V = Velocidad de avance del CO<sub>2</sub>, mm/año<sup>0,5</sup>

t = Tiempo transcurrido, años

Esta ley se puede representar a partir de un diagrama doble-logarítmico, como lo muestra el Gráfico 6.3.3.1.1, donde las líneas paralelas indican las diferentes velocidades calculadas mediante la ordenada de origen. Esta gráfica también muestra como localizar el tiempo restante hasta la despasivación; extrapolando en el diagrama a través de líneas de pendiente 0,5, a partir del punto actual de carbonatación hasta alcanzar el valor de la profundidad del recubrimiento.

**Gráfico 6.3.3.1.1**  
Representación doble Logarítmica de la Raíz del tiempo.



Si aplicamos la fórmula [6.3.3.1.1] al caso de la carbonatación del hormigón, en donde los valores de  $V_{CO_2}$  que se han detectado en estructuras reales varían entre 2 y 15 mm/año<sup>0,5</sup> supeditadas a la calidad del hormigón aproximadamente como se indica:

- Para hormigones de elevada compacidad y contenido en cemento > 350 kg/m<sup>3</sup>:  $2 < V_{CO_2} < 6$
- Para hormigones de compacidad media y contenido de cemento  $\geq 250 \leq 350$  kg/m<sup>3</sup>:  $6 < V_{CO_2} < 9$
- Para hormigones porosos de baja calidad, contenido de cemento < 250 kg/m<sup>3</sup> y elevada relación agua/cemento:  $V_{CO_2} > 9$

Se puede concluir que para que el frente carbonatado no llegue en 50 años hasta 25 milímetros de profundidad (recubrimiento normal en muchas estructuras), la velocidad de carbonatación del hormigón debería ser:

$$V_{CO_2} = \frac{25}{\sqrt{50}} = 3,53 \text{ mm/año}^{0,5}$$

Análogamente, si tenemos un hormigón con  $V_{CO_2} = 8$ , la profundidad de carbonatación a los 30 años sería:

$$X = 8 * 5,48 = 44 \text{ mm}$$

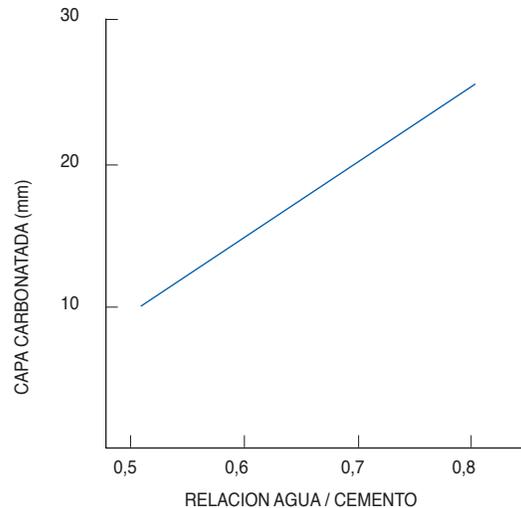
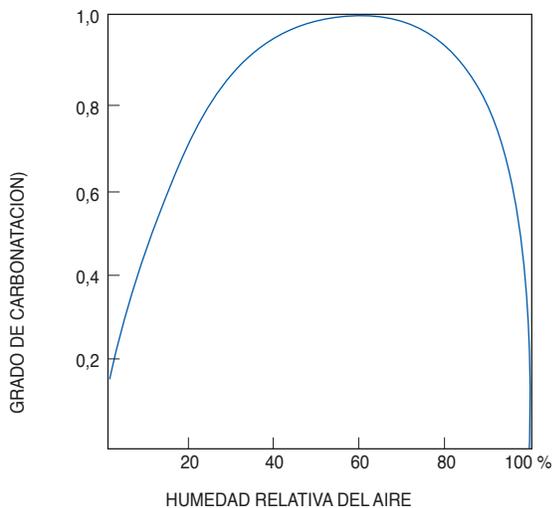
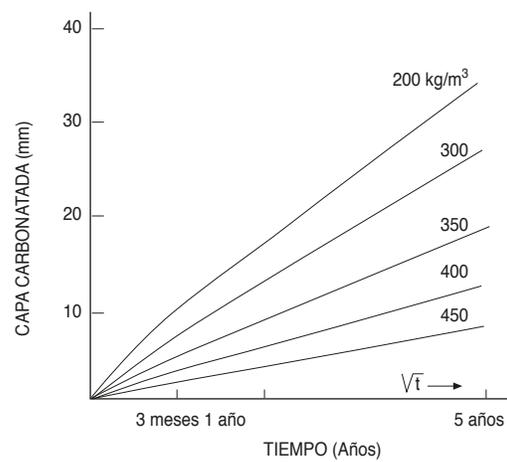
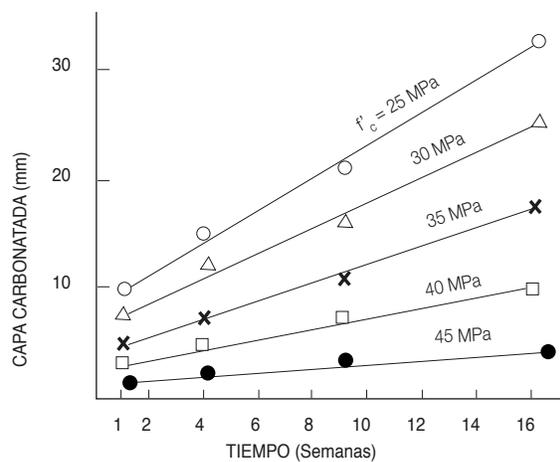
Es decir, sólo hormigones de elevada compacidad y alto contenido de cemento, superior a  $350 \text{ kg/m}^3$ , podrán mantener exenta de corrosión a la armadura en un período de vida superior a 50 años. Todo ello en el entendido de hormigones situados en la atmósfera y protegidos de la

lluvia, ya que en hormigones húmedos la carbonatación no penetra, como se ha comprobado en los períodos de lluvia en los cuales el avance del frente carbonatado se detiene.

Los principales efectos sobre el espesor carbonatado, de la resistencia del hormigón, el contenido en cemento, la humedad ambiental relativa del aire y la relación agua/cemento, se muestran en el Gráfico 6.3.3.1.2 siguiente.

Gráfico 6.3.3.1.2

Principales Efectos sobre el Espesor Carbonatado



**b) Modelo de Tuutti**

Entre los distintos investigadores que han propuesto fórmulas para el cálculo de la carbonatación, el autor K. Tuutti, del Swedish Cement and Concrete Research Institute, ha propuesto un modelo basado en la teoría de la difusión de fronteras móviles, cuya expresión final de cálculo es la que se indica en la fórmula siguiente.

$$\frac{\Delta C_s}{\Delta a} = \sqrt{\pi} \left( \frac{k}{2\sqrt{D_{CO_2}}} \right)^{\left( \frac{k^2}{4D_{CO_2}} \right)} \operatorname{erf} \left( \frac{k}{2\sqrt{D_{CO_2}}} \right) \quad [6.3.3.1.2]$$

$$\Delta a = c \frac{C}{100} DH \frac{M_{CO_2}}{M_{CaO}} \quad [6.3.3.1.2a]$$

$$k = \frac{X_{CO_2}}{\sqrt{t}} \quad [6.3.3.1.2k]$$

Donde:

$X_{CO_2}$  = Profundidad del frente carbonatado a una edad  $t$ , (m)

$k$  = Velocidad de carbonatación, (m/s<sup>0,5</sup>)

$D_{CO_2}$  = Coeficiente de difusión efectivo del CO<sub>2</sub>, (m<sup>2</sup>/s)

$\Delta a$  = Diferencia entre la concentración máxima de CO<sub>2</sub> en la discontinuidad y en la zona de hormigón sin carbonatar, (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)

$c$  = Contenido en cemento, (kg/m<sup>3</sup>)

$C$  = Contenido en CaO del cemento, (%)

$DH$  = Grado de hidratación del hormigón

$M$  = Respectivas masas moleculares, (g/mol)

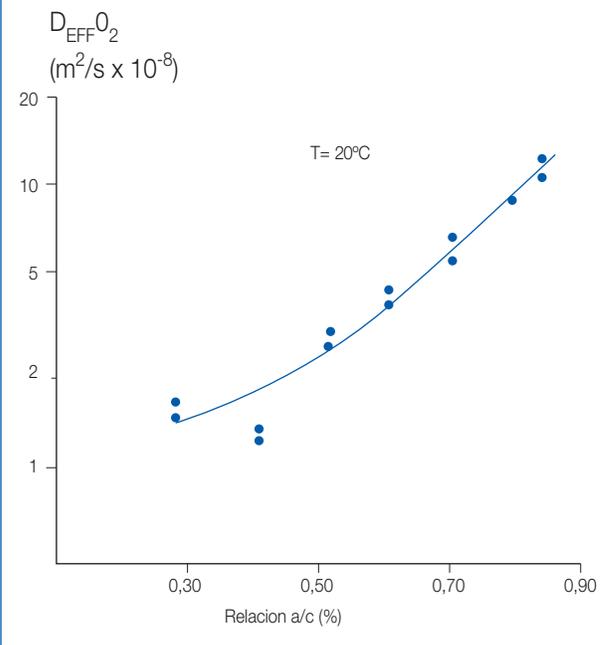
$t$  = Edad (s)

$\operatorname{erf}(\xi)$  = Función de error de Gauss.

El coeficiente de difusión  $D_{EFF}$  para un hormigón en particular se obtiene a través de la relación agua-cemento (a/c), como de indica en el Gráfico 6.3.3.1.3, el cual será corregido de acuerdo con la humedad con la ayuda del Gráfico 6.3.3.1.4 y de la Tabla 6.3.3.1.1 subsiguientes.

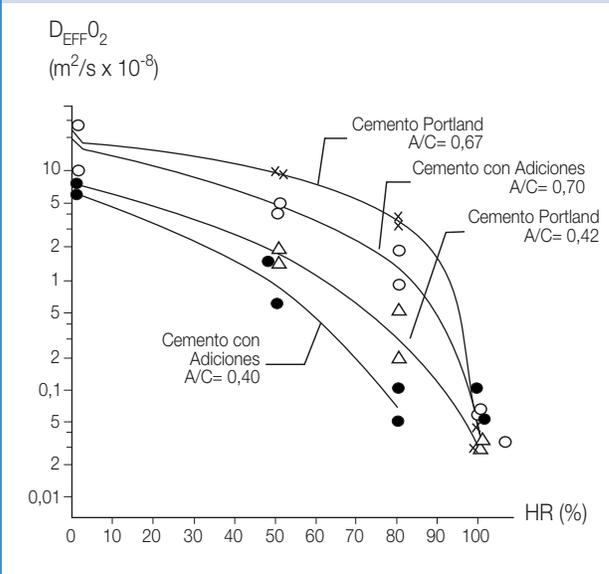
**Gráfico 6.3.3.1.3**

**Coeficiente de Difusión de O<sub>2</sub> y Relación a/c**



**Gráfico 6.3.3.1.4**

**Efecto de la Humedad Relativa en el Coeficiente de Difusión**



El grado de hidratación  $DH$  se puede determinar a partir de la Tabla 6.3.3.1.1, y la concentración externa de CO<sub>2</sub> se puede estimar en 600 mg/m<sup>3</sup> en el caso de ambiente exterior y 800 mg/m<sup>3</sup> en el caso de ambientes interiores.

Tabla 6.3.3.1.1

Grado de Hidratación esperado y Relación a/c

Relación Agua-Cemento	Grado de Hidratación %
0,4	60
0,6	70
0,8	80

**c) Modelo de Bakker**

El modelo de Bakker se basa en el supuesto de una difusión en estado estacionario y que el fenómeno ocurre solamente cuando el hormigón no está saturado de agua. La profundidad de carbonatación  $X_{CO_2}$  es determinada conforme a la expresión siguiente:

$$X_c = A \sum_{i=1}^n \sqrt{t_{di} - \left(\frac{X_{ci-1}}{B}\right)^2} \quad [6.3.3.1.3]$$

Donde A y B son funciones que definen la velocidad de carbonatación y de secado, respectivamente:

$$A = \sqrt{\frac{2D_{CO_2}(C_1 - C_2)}{a}} \quad [6.3.3.1.3a]$$

$$B = \sqrt{\frac{2D_V(C_3 - C_4)}{b}} \quad [6.3.3.1.3b]$$

El valor de b se puede calcular como:

$$b = w - 0,25cDH - 0,15cDHD_{GEL} - wDHD_{CAP}$$

Donde:

$D_{CO_2}$  = Coeficiente de difusión efectivo del  $CO_2$ , ( $m^3/s$ )

$C_1 - C_2$  = Diferencia de la concentración de  $CO_2$  entre el aire y el frente carbonatado, ( $kg\ CO_2/m^3$ )

a = Cantidad de álcalis en el hormigón, ( $kg\ CO_2/m^3$ )

$C_3 - C_4$  = Diferencia de humedad entre el aire y el frente de evaporación, ( $kg\ CO_2/m^3$ )

B = Cantidad de agua que se debe evaporar del hormigón, ( $kg\ CO_2/m^3$ )

DH = Grado de hidratación del hormigón, (%)

$D_{GEL}$  = Cantidad de agua fijada en los poros del gel

$D_{CAP}$  = Cantidad de agua fijada en los poros capilares

$T_{di}$  = Duración media del período i - ésimo de secado, (s)

$X_{ci-1}$  = Profundidad de carbonatación después del período de humectación (i - 1) - ésimo, (m)

C = Contenido en cemento en el hormigón, ( $kg/m^3$ )

**d) Modelo del CEB**

El modelo desarrollado por el Comité Euro-International du Beton es muy similar al propuesto por Bakker y proporciona los mismos resultados numéricos que el modelo de Tuutti:

$$X_{CO_2} = \sqrt{\frac{2K_1K_2D_{CO_2}DC_S}{a}} \sqrt{t} \left(\frac{t_0}{t}\right)^N \quad [6.3.3.1.4]$$

$$a = \frac{CcDH\ M_{CO_2}}{M_{CaO}} \quad [6.3.3.1.4a]$$

Donde:

$X_{CO_2}$  = Profundidad del frente carbonatado a una edad t, (m)

$K_1$  = Constante que considera la influencia de la ejecución en el valor de  $D_{CO_2}$

$K_2$  = Constante que considera la influencia del ambiente de exposición en el valor de  $D_{CO_2}$

$D_{CO_2}$  = Coeficiente de difusión efectivo del  $CO_2$ , ( $m^2/s$ )

$\Delta C_S$  = Diferencia entre la concentración máxima de  $CO_2$  en la discontinuidad y en la zona del hormigón sin carbonatar, ( $kg\ CO_2/m^3$ )  
 C = Contenido de CaO del cemento, (%)  
 c = Contenido en cemento en el hormigón, ( $kg/m^3$ )  
 DH = Grado de hidratación del hormigón, (%)  
 M = Respectivas masas moleculares, (g/mol)

t = Edad, (s)  
 N = Constante que considera la influencia del ambiente en el valor del modelo de la raíz del tiempo

Los valores de  $K_1$ ,  $K_2$  y de N propuestos se pueden obtener de la Tabla 6.3.3.1.2:

Tabla 6.3.3.1.2 Valores propuestos para $K_1$ , $K_2$ y de N			
Tipo de Exposición	Curado	$K_1 * K_2$	N
Interior	Bueno	1,0	
Interior	Malo	2,0	
Exterior	Bueno	0,5	
Interior			0,0
Exterior protegido			0,1
Exterior no protegido			0,4

### 6.3.4 Exposición a Iones Cloruro

Como ya fue señalado, son los cloruros los que más afectan directamente a las armaduras de refuerzo, ya que estos agentes agresivos provocan una disolución localizada de la capa pasivante, dando lugar a ataques puntuales o picaduras localizadas que pueden reducir radicalmente la sección de las barras en espacios de tiempo relativamente cortos, siendo dos los motivos por los cuales los cloruros pueden encontrarse en la masa de hormigón.

- Porque penetren desde el exterior al estar la estructura situada en ambientes marinos o sometida a la acción de sales de deshielo.
- Debido a que estén eventualmente presentes en los ingredientes del hormigón (aditivos, agua, cemento o áridos).

#### a) Penetración de cloruros en el hormigón desde el exterior

Los aspectos más relevantes que hay que tener en cuenta en el caso de cloruros que penetran desde el exterior son los siguientes:

- El tiempo que tardan en llegar hasta la armadura de refuerzo.
- La proporción de ellos que induce la despasivación.
- La velocidad de corrosión que provocan una vez desencadenada la corrosión.

Respecto al tiempo que tardan los cloruros en llegar a la armadura, en una estructura ya construida, es importante examinar cual es la profundidad de penetración al momento de realizar la inspección, ya que el recubrimiento de hormigón debe ser superior a la profundidad que sean capaces de alcanzar estos iones cloruro en el tiempo previsto de vida útil de dicha estructura.

b) **Presencia de cloruros en los ingredientes del hormigón**  
 Aún cuando este medio no es el más común, debido a que desde hace mucho tiempo no está permitida la inclusión de estos iones en el hormigón, de acuerdo con el Código ACI 318, Sección 4.4, para evitar los efectos de la corrosión de la armadura en el hormigón, las concentraciones máximas

de iones cloruro acuosolubles en hormigón endurecido a edades que van de 28 a 42 días provenientes de los ingredientes, no deben exceder los límites de la Tabla 6.3.4. Estos límites establecidos deben aplicarse solo a los cloruros aportados por los componentes del hormigón y no a los presentes en el ambiente que lo rodea.

**Tabla 6.3.4**

**Contenido Máximo de iones cloruros presentes en el Hormigón (ACI 318)**

Tipo de Elemento	Contenido máximo de iones cloruros (Cl-) acuosolubles en el hormigón % en Peso de Cemento
Hormigón pretensado	0,06
Hormigón armado que en servicio estará expuesto a cloruro	0,15
Hormigón armado que en servicio estará seco o protegido contra la humedad	1,00
Otras construcciones de hormigón armado en ambiente normal	0,30

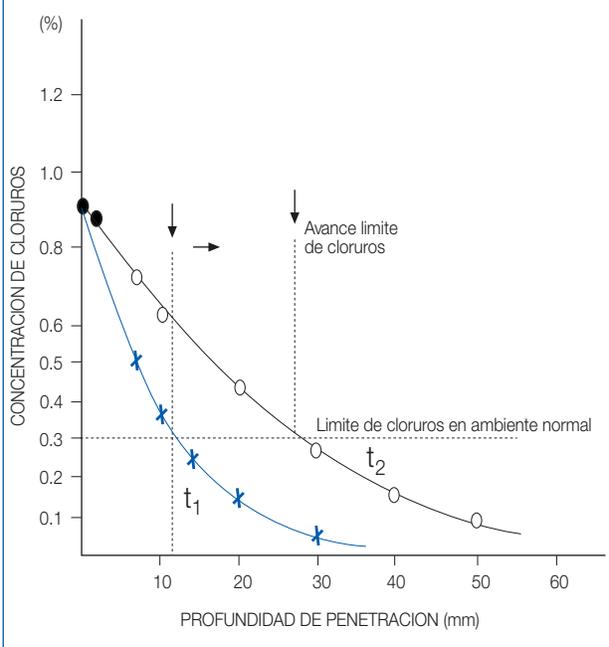
En el Gráfico 6.3.4.1 se muestra el perfil típico de la concentración de cloruros en el hormigón armado en ambiente normal, basado en el ACI 318, versus la profundidad de penetración de ellos.

Cuando se utilizan barras galvanizadas, con recubrimiento epóxico o resinas aminoalcohólicas, los valores de la Tabla 6.3.4 pueden ser limitados a lo necesario, según las propiedades de cada uno de estos recubrimientos adicionales y a las exigencias del caso.

Sin embargo, otros códigos distintos al ACI 318 aceptan otros límites. Por ejemplo el código australiano AS300 admite un valor crítico  $\leq$  al 0,22%, la norma española un valor límite entre 0,4% y 0,7%, ambos referidos al peso del cemento para cualquier condición del elemento, y el código japonés JSCE-SP2 un valor  $\leq$  0,6% kg/m<sup>3</sup> referido al hormigón.

**Gráfico 6.3.4.1**

**Perfil de Concentración de Cloruros en Hormigón Armado en Ambiente Normal (ACI 318)**



**c) Límite de los cloruros**

Las disparidades en las cantidades máximas de cloruros, aparecen debido a la inexistencia de un límite único que sea de aplicación general, debido a que la concentración de cloruros necesarios para inducir la corrosión depende de numerosos factores. Los principales que influyen en este valor mínimo de despasivación son los siguientes:

- Tipo de cemento: finura, cantidad de AC3, cantidad de yeso, adiciones.
- Relación agua-cemento.
- Curado y compactación.
- Contenido en humedad y variación.
- Tipo de acero y composición química.
- Estado superficial del acero (características de los resaltes y presencia de óxido anterior).
- Disponibilidad de oxígeno.

Esta dependencia múltiple hace muy difícil fijar un valor único, sin embargo, una relación aceptable de doble naturaleza aparece cuando se estudia el potencial eléctrico y la cantidad de cloruros totales que produce la despasivación, así como lo muestra el Gráfico 6.3.4.2 que sigue.

Como se puede apreciar, el potencial depende de los factores anteriores y por lo tanto un mismo hormigón puede presentar diferentes concentraciones límite, dependiendo del potencial que tenga a lo largo de su tiempo de vida, es decir el hormigón más seco tendrá potenciales más nobles (superiores a +0) mientras que hormigones más húmedos tendrán potenciales más catódicos.

**6.3.4.1 Velocidad de penetración de los Cloruros**

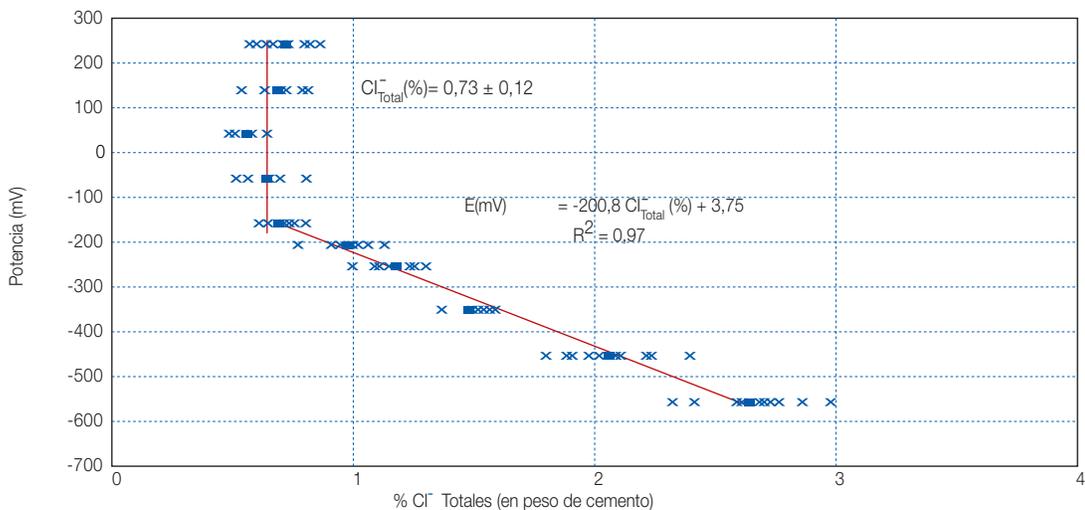
**a) Método de la raíz cuadrada del tiempo**

El simple método de la raíz cuadrada del tiempo es aplicable para calcular la velocidad de penetración de los cloruros, si es conocido el valor de la concentración crítica de despasivación, mediante la expresión  $X = V_{CL^-} \cdot t^{0,5}$  que se utilizó en el cálculo del avance de la carbonatación.

Así es como en forma análoga, del Gráfico 6.3.3.1.1 doble logarítmico que representa el espesor del recubrimiento relacionado con el tiempo de penetración del agresivo, se puede deducir para la penetración de los cloruros que es necesario un valor de  $V_{CL^-}$  entre 3 y 4 mm/año<sup>0,5</sup> si se

**Gráfico 6.3.4.2**

**Relación entre el Potencial y la cantidad de Cloruros que despasiva el Hormigón**



desea asegurar que los cloruros no lleguen más allá de 30 a 40 milímetros de profundidad entre 50 y 75 años, vale decir que igualmente se requiere para este caso hormigones de compacidad alta, tal como fue expresado en la Sección 6.3.3.1 destinada a la profundidad de la carbonatación.

**b) Modelo general de difusión**

Si se desea hacer un cálculo aparentemente más riguroso, es necesario recurrir a las ecuaciones derivadas de la Segunda Ley de Fick, cuya hipótesis básica de trabajo en el cálculo de la penetración de los iones cloruro en el interior del hormigón, es que estos iones se mueven en un medio semi infinito siendo la concentración superficial una constante.

Aunque por lo general ambas premisas no se cumplen, perfiles de concentración obtenidos de testigos reales muestran una aceptable aproximación a la ley basada en estas hipótesis, cuya expresión matemática que resulta para la concentración en cada punto al resolver la 2ª Ley de Fick es la siguiente:

$$C(x,t) = C_i + (C_{sa} - C_i) \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{X}{2\sqrt{D_{CL}t}} \right) \right] \quad [6.3.4.1]$$

Donde:

$C(x,t)$  = Concentración de cloruros a la profundidad  $x$ , desde la superficie del hormigón, alcanzada en un tiempo  $t$ .

$D_{CL}$  = Coeficiente de difusión del ión cloruro en el hormigón.

$C_{SA}$  = Concentración superficial del ión cloruro en el hormigón. Este valor es el resultado de un ajuste numérico de la ecuación, a los valores obtenidos de las muestras y no un valor real de la concentración exterior.

$t$  = Tiempo de exposición.

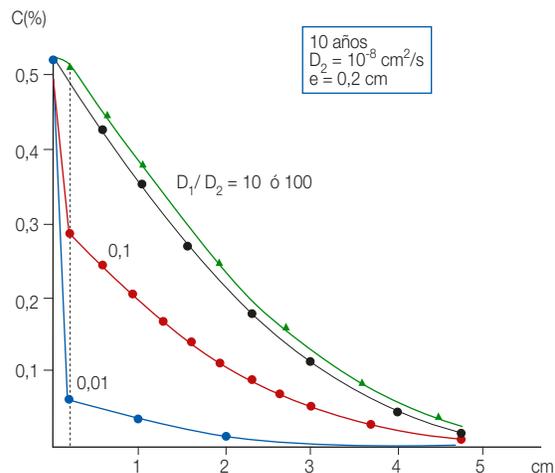
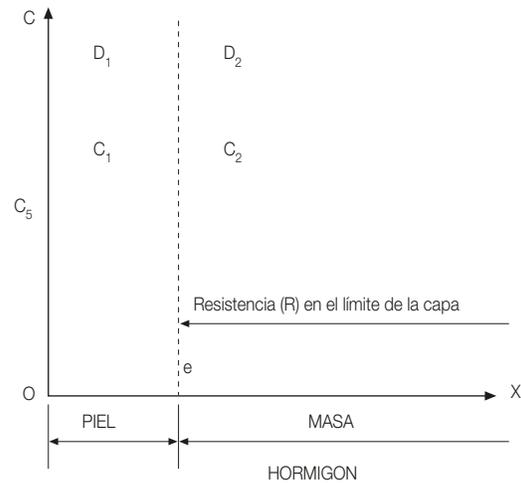
$C_i$  = Concentración inicial de iones cloruro a la profundidad  $x$ .

$\operatorname{erf}(\xi)$  = Función de error de Gauss.

**c) Efecto piel**

En ocasiones el perfil de cloruros medido en las estructuras reales no se ajusta de modo correcto a la ecuación [6.3.4.1]. Un caso particular se muestra en la Gráfica 6.3.4.3, donde el máximo se detecta muy alejado de la superficie.

**Gráfico 6.3.4.3**  
Efecto Piel sobre el perfil de Cloruros



Las razones de este comportamiento pueden ser varias, siendo una de ellas la carbonatación del recubrimiento, dado que es sabido que las fases carbonatadas del hormigón no fijan los cloruros y muestran coeficientes de difusión mucho mayores, permitiendo así que los iones se muevan rápidamente a través de la zona carbonatada y se acumulen en la interfase hormigón carbonatado/no carbonatado.

El coeficiente de difusión que representa verdaderamente el comportamiento del hormigón es el del interior del perfil, denominado  $D_2$ , cuyo valor se puede calcular de dos maneras; ajustando el perfil solo a la parte interior y reescalando por tanto la distancia según lo muestra el Gráfico 6.3.4.3, o de acuerdo con las expresiones matemáticas para el cálculo con efecto piel siguientes:

$$C_1(x,t) = C_S \sum_{n=0}^{\infty} \alpha^n \left( \operatorname{erfc} \left[ \frac{2ne + x}{2\sqrt{D_1 t}} \right] - \alpha \operatorname{erfc} \left[ \frac{(2n+2)e - x}{2\sqrt{D_1 t}} \right] \right) \quad [6.3.4.2]$$

$$C_2(x,t) = \frac{2kC_S R \sum_{n=0}^{\infty} \alpha^n}{k+1} \left( \operatorname{erfc} \left[ \frac{(2n-1)e + k(x-e)}{2\sqrt{D_1 t}} \right] \right) \quad [6.3.4.3]$$

En donde:

$$k = \sqrt{\frac{D_1}{D_2}} \quad \text{y} \quad \alpha = \frac{1-k}{1+k}$$

Si se desea añadir el efecto de una resistencia (R) en la interfaz de ambos medios ( $D_1$  y  $D_2$ ), la solución de la ecuación de difusión para  $C_2$  en este caso, es la siguiente:

$$C_2(x,t) = \frac{2kC_S R \sum_{n=0}^{\infty} \alpha^n}{k+1} \left( \operatorname{erfc} \left[ \frac{(2n-1)e + k(x-e)}{2\sqrt{D_1 t}} \right] \right) \quad [6.3.4.4]$$

#### d) Coeficiente de difusión variable en el tiempo

En ambos casos de agresividad, carbonatación o penetración de cloruros, se ha detectado que el coeficiente de difusión ( $D_{CL}$ ) obtenido en la ecuación [6.3.4.1] parece disminuir con el tiempo, por lo que el procedimiento de cálculo debería resolver la ecuación de difusión con un coeficiente variable.

La manera más satisfactoria (aunque no exacta matemáticamente) es la utilización de un factor de edad "n" que permita perfeccionar el coeficiente de difusión con el tiempo, el cual se presenta en la ecuación [6.3.4.5] para ser sustituido posteriormente en la ecuación [6.3.4.1].

$$D_{CL}(t) = D_{CL}(t_0) \left[ \frac{t}{t_0} \right]^n \quad [6.3.4.5]$$

## 6.4 REQUISITOS BASICOS DE DURABILIDAD PARA EL HORMIGON ARMADO

### 6.4.1 Consideraciones Generales

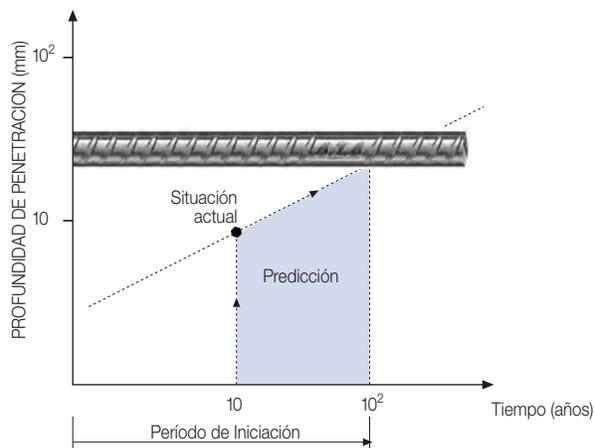
Es de suma importancia considerar que para el cumplimiento de los requisitos básicos de durabilidad del hormigón, previo a que se seleccione la resistencia especificada  $f'c$  a la compresión y el espesor del recubrimiento, además de la correcta elección del cemento de acuerdo a criterios adecuados, es importante y necesario contemplar en el diseño de la mezcla una cierta razón máxima de agua/cemento, una dosis mínima de cemento, la trabajabilidad apropiada, el correcto manejo del hormigón en obra, la compactación que permita obtener una mayor compacidad y un pronto y eficiente proceso de curado, elementos necesarios para reducir los efectos en hormigones expuestos en el tiempo a condiciones de congelación y deshielo, agentes agresivos y para prevenir la corrosión de las armaduras, efectos explicados y fundamentados en la Sección 6.3 precedente.

Otros conceptos importantes para tener en cuenta en la durabilidad son los períodos de iniciación y propagación de los agresivos, la vida útil y la vida residual de las estructuras de hormigón armado.

### 6.4.2 Período de Iniciación

Se entiende por periodo de iniciación de la agresividad, al tiempo que transcurre desde la fabricación de la estructura de hormigón hasta el momento en que el agente agresivo llega hasta la armadura y la despasiva, es decir el tiempo que tarda la carbonatación, los cloruros o los sulfatos en alcanzar la armadura iniciando la corrosión, así como lo muestra el esquema logarítmico del Gráfico 6.4.2.

Gráfico 6.4.2  
Iniciación de la Agresividad



La agresividad de los agentes utilizan como medio de propagación los mecanismos básicos siguientes:

- Difusión
- Absorción
- Permeabilidad

#### 6.4.2.1 Difusión

Se produce cuando existe una diferencia de concentración entre dos puntos del elemento que difunde, que para el caso del hormigón esta difusión se produce en general en estado no estacionario y el cálculo riguroso de la profundidad alcanzada es complejo debido a la cantidad de parámetros que influyen, tales como la porosidad del hormigón, el tipo de cemento, nivel de contaminación del medio ambiente y contenido de humedad en el hormigón entre otros.

Tal como lo expresamos anteriormente, una de las expresiones matemáticas que más se utiliza para efectuar de manera simple la predicción de la velocidad de penetración de la carbonatación o de los cloruros en las estructuras reales, es la solución que entrega la función de

la raíz cuadrada del tiempo, que es válida para los procesos de difusión pura y de absorción capilar, los cuales como dijimos siguen una ley potencial.

Otros métodos de cálculo y sus respectivas expresiones matemáticas, más rigurosos que el modelo de la raíz cuadrada del tiempo, están incorporadas en las secciones anteriores 6.3.3 y 6.3.4.

#### 6.4.2.2 Absorción

Básicamente es un fenómeno que ocurre al poner en contacto un líquido con un sólido poroso. La altura que alcanzará el líquido, o la masa de él por unidad de superficie que penetrará, depende del tamaño de los poros, la viscosidad del líquido y la temperatura, siendo la fórmula que modela la absorción capilar la ley de Jurin:

$$h = \frac{2 s \cos\theta}{\epsilon g r} \quad [6.4.2.2]$$

Donde:

h = Altura del agua

s = Tensión superficial del líquido

$\theta$  = Densidad

$\epsilon$  = Angulo de contacto del líquido con la pared capilar

g = Gravedad

r = Radio capilar

#### 6.4.2.3 Permeabilidad

Como mecanismo de penetración agresivo es mucho menos común, ya que rigurosamente se llama así a la propiedad del hormigón cuando la fuerza impulsora es una diferencia de presión, sea de un gas o de un líquido, como sería el caso de depósitos de agua, represas, etcétera.

En el hormigón suele darse simultáneamente más de un mecanismo de transporte de los agentes agresivos por lo que resulta muy complejo calcular y predecir las velocidades de penetración con rigor, y por ello se tiende a simplificar utilizando la ley de la raíz cuadrada del tiempo en función de k, como situación que dará la máxima penetración posible.

En este caso el coeficiente de permeabilidad k, generalmente suele ser hallado aplicando la ley de Hagen-Poiseuille.

$$k = \frac{Q1\eta}{tA\Delta_p} \Rightarrow X = \frac{Q1\eta \sqrt{t}}{tA\Delta_p} \quad [6.4.2.3]$$

Donde:

X = Profundidad alcanzada por una cierta proporción del agresivo

Q = Volumen del fluido

A = Sección del hormigón

$\Delta_p$  = Presión aplicada

t = Tiempo

$\eta$  = Viscosidad del fluido.

#### 6.4.3 Período de Propagación, Vida Útil y Residual

El período de propagación es una etapa directamente vinculada con la vida útil y residual de las estructuras de hormigón armado, y se le define como aquel ciclo desde que la armadura se despasaiva y comienza a corroerse libremente hasta que llega a un determinado estado límite, que el investigador K. Tuutti no especifica cuantitativamente, sino que simplemente lo define como inaceptable.

Para una mejor comprensión, en los Gráficos 6.4.3.1 y 6.4.3.2 se muestran los modelos de vida útil desarrollados por Tuutti, para el caso de la corrosión del acero y de vida residual para la estructura.

Gráfico 6.4.3.1

Modelo de Vida Útil de Tuutti para la Armadura

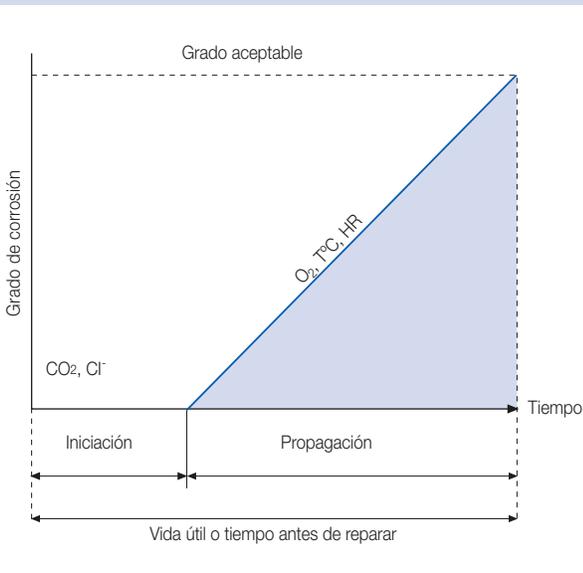
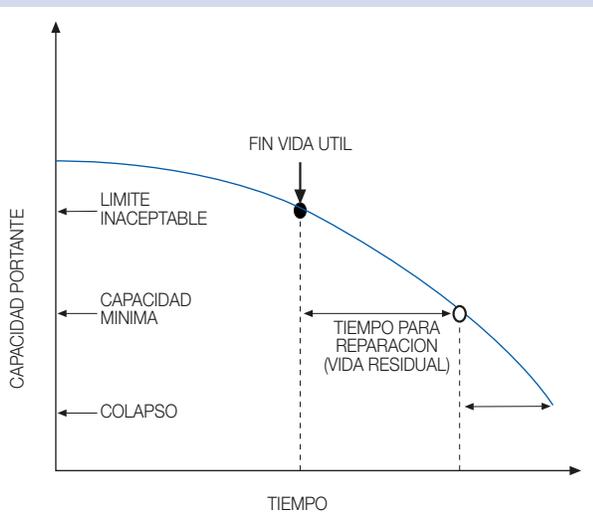


Gráfico 6.4.3.2

Modelo de Vida Residual de Tuutti



Entretanto que, respecto al período de iniciación existe un acuerdo generalizado y solo se disiente en las expresiones matemáticas más adecuadas para calcular la velocidad de penetración del agresivo, con el período de propagación existen hasta el momento controversias entre los especialistas, cuyo motivo fundamental se basa en que durante esta fase de propagación ya existe una pérdida de la integridad estructural del hormigón armado.

Hay autores que prefieren no contemplar la posibilidad de una corrosión durante el período de vida útil teórica de la estructura, lo cual puede resultar muy seguro pero que obligaría a la necesidad de inmensos recubrimientos en determinados ambientes, y otros que aceptan un cierto grado de corrosión como no peligroso para la estructura pero que no están de acuerdo todavía sobre cuál es el límite inaceptable, a partir del que la estructura deja de ser segura, o pierde funcionalidad o simplemente estética. Por lo tanto quedaría claro hoy por hoy que la discusión de este tema y el debate sigue abierto entre los especialistas.

Eso sí que podemos asegurar que la pérdida paulatina de integridad estructural, que se puede producir por una corrosión progresiva de las armaduras, afecta a tres características del hormigón armado (ver Figura 6.4.3).

- Características mecánicas del hormigón que rodea a la armadura, debido a la fisuración del recubrimiento por efecto de la expansión de los óxidos y herrumbre que se producen en la corrosión.
- Características mecánicas del acero al disminuir su sección por corrosión y eventualmente una pérdida de ductilidad no bien verificada todavía.
- Pérdida de adherencia acero-hormigón, como consecuencia de los dos mecanismos anteriores.

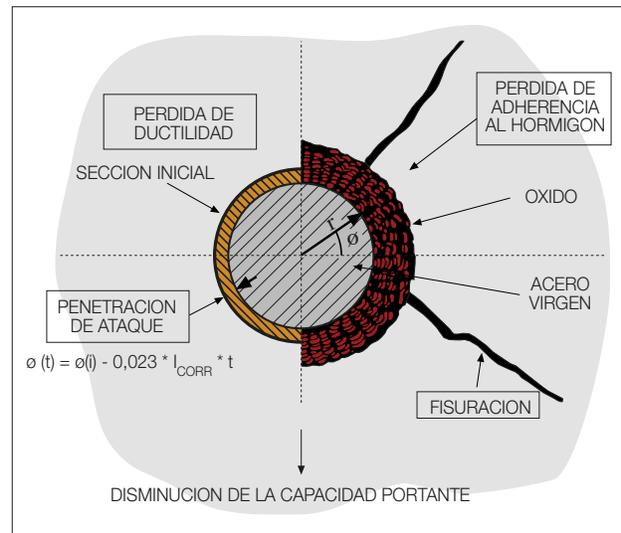
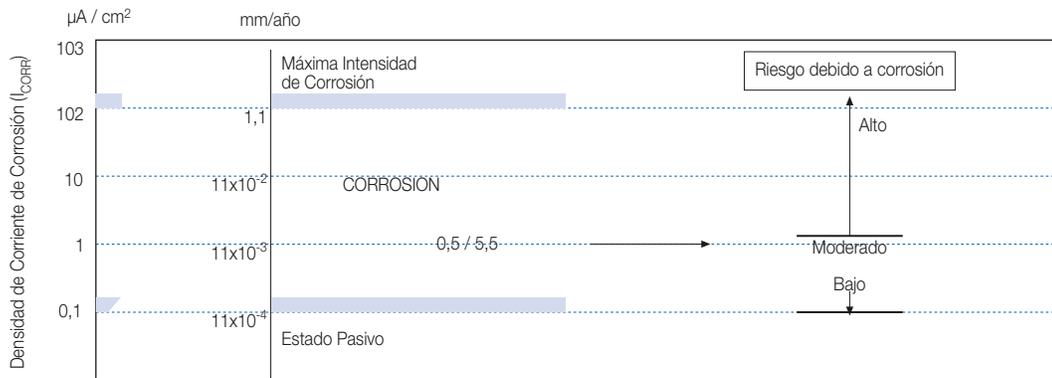


Figura 6.4.3: Consecuencia de la Corrosión de barras embebidas en Hormigón

**Gráfico 6.4.3.3**

**Criterio de evaluación de resultados de Velocidad de Corrosión de la Armadura**



En realidad los tres fenómenos descritos en el párrafo anterior, dependen de la velocidad a la que se produzca la corrosión, que a su vez es función fundamental de su contenido de humedad.

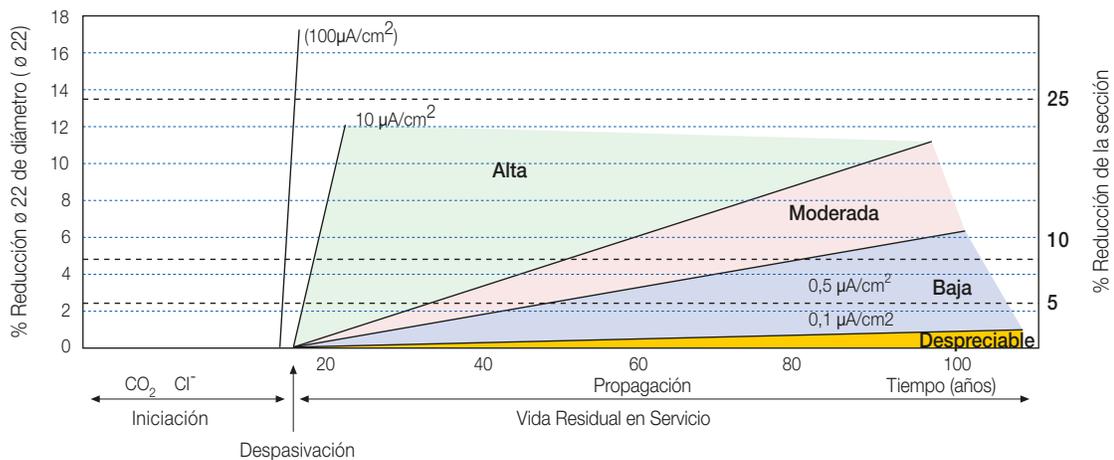
En el Gráfico 6.4.3.3.4, se muestra un ejemplo del tiempo que se tarda en alcanzar determinadas pérdidas de diámetro o de sección una armadura de  $\phi$  22 milímetros, en función de diversas velocidades de corrosión.

En general, los valores de velocidad de corrosión de las armaduras variarán entre valores inferiores a  $0,1 \mu\text{A} / \text{cm}^2$  ( $1 \mu\text{m} / \text{año}$ ), típicos del estado de pasivación, y un valor máximo de alrededor de  $100 \mu\text{A} / \text{cm}^2$  ( $1.000 \mu\text{m} / \text{año}$ ), característico de un hormigón con una muy elevada contaminación de cloruros.

Otra consideración a tener en cuenta en el establecimiento del límite aceptable de deterioro es si la corrosión es uniforme o localizada, ya que si es localizada pueden producirse pérdidas de sección significativas, sin que se perciban desde el exterior. Así, cuando se miden valores de corrosión uniforme entre  $0,1$  y  $5 \mu\text{A} / \text{cm}^2$  ( $1$  y  $5 \mu\text{m} / \text{año}$ ),

**Gráfico 6.4.3.4**

**Vida residual de armaduras  $\phi$ 22 mm con diferentes velocidades de corrosión**



esto puede dar lugar a penetraciones locales de ataque diez veces superiores a estos valores, es decir a penetraciones de 10 a 500 μm /año que generarían pérdidas de sección superiores al 10% en menos de quince años.

En el caso de la carbonatación parece ser posible aceptar un cierto período de propagación como parte de la vida útil, por lo que sería aplicable lo mostrado en el Gráfico 6.4.3.2 para el caso de estructuras en ambientes de humedad baja que se carbonatan muy rápidamente, pero asimismo mostrarán velocidades de corrosión muy lentas. Su tiempo de vida útil puede expresarse entonces como:

$$t = \frac{X_{CO_2}^2}{K_{CO_2}^2} + \frac{\text{pérdida de diámetro límite}}{\text{velocidad de corrosión}} \quad [6.4.3.1]$$

En cambio, en el caso de los cloruros puede resultar muy arriesgado aceptar de manera general un período de propagación como parte de su vida útil. Esto se debe a que es imposible predecir cuán localizada será la corrosión y, por lo tanto, parece mas prudente considerar que el límite inaceptable se alcanza cuando la armadura se despasiva.

En cuanto a modelos estructurales para la inspección, estos se basan en tres conceptos:

- Determinación de la pérdida de sección de la armadura ocurrida hasta el momento de realizar la inspección, así como la pérdida de sección del hormigón que haya podido ocurrir debido a la fisuración del recubrimiento.
- Conocimiento de la velocidad de corrosión, en tanto esta última da la velocidad del deterioro.
- Grado de pérdida de adherencia acero-hormigón.

Un ejemplo ilustrativo se presenta en el Gráfico 6.4.3.5, donde se muestra el cálculo de la pérdida progresiva de diámetros para barras de 8 y 18 milímetros de diámetro en función de diferentes velocidades de corrosión, de acuerdo con la fórmula que se indica:

$$\phi t = \phi_i - 0,023 i_{corr} t \quad [6.4.3.2]$$

Donde:

t = Tiempo, años

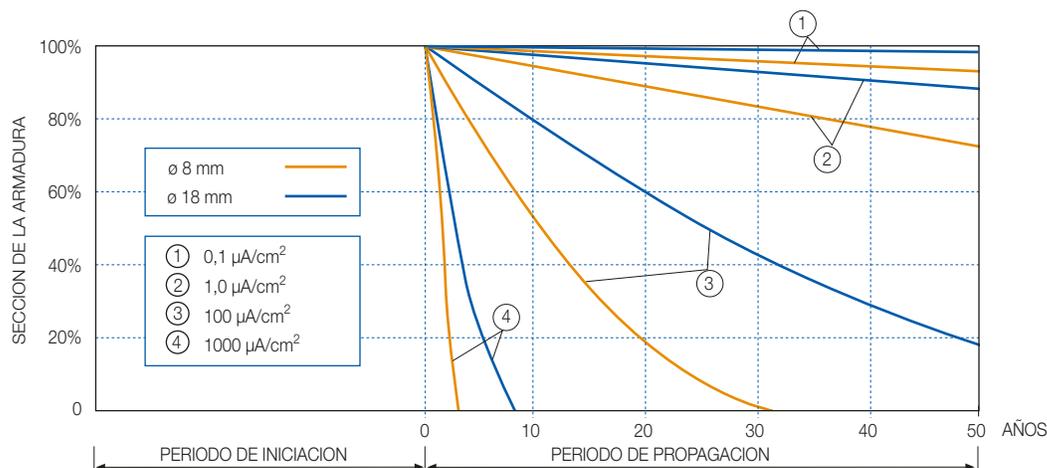
i<sub>corr</sub> = Velocidad de corrosión, μA / cm<sup>2</sup>

φt = Diámetro de la barra en el tiempo t, mm

φi = Diámetro inicial de la barra, mm

Gráfico 6.4.3.5

Pérdida de Sección en Barras φ8 y φ18, en función de la Velocidad de Corrosión



**Importante:**

Hay que recordar que la norma chilena NCh204 Of.2020: Barras laminadas en caliente para hormigón armado, establece que:

- 1) El diámetro es un valor nominal que se determina a través de la masa lineal de las barras, de acuerdo con la expresión  $d_n = 12,73 \sqrt{m_n}$  donde  $d_n$  = diámetro nominal de la barra (mm) y  $m_n$  = masa lineal nominal (kg/m), la cual acepta una tolerancia de  $\pm 3,5\%$  para una barra con resaltes individual.
- 2) Sección nominal  $S_n$  (mm<sup>2</sup>) =  $0,785 d_n^2$  ( $d_n$  en mm)
- 3) Perímetro nominal  $P_n$  (mm) =  $3,1416 d_n$  ( $d_n$  en mm)
- 4) Masa nominal  $m_n$  (kg/m) =  $0,00785 S_n$  ( $S_n$  en mm<sup>2</sup>)

#### 6.4.4 Durabilidad del Hormigón y el Agua

Dado que el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas generador de la carbonatación, y que los sulfatos y cloruros sólo pueden penetrar disueltos en agua, el contenido de humedad que tenga el hormigón resulta ser de vital importancia, y de hecho controla la velocidad de penetración de estos agresivos.

Aún cuando actualmente se pueden utilizar algunos aditivos que permiten modificar determinadas propiedades del hormigón, el agua sigue siendo el componente esencial para darle, básicamente; cohesión a las partículas húmedas que secas se mantendrían separadas, lubricación al conjunto de partículas al proveerle plasticidad, y disolución a los compuestos sólidos para posibilitar la formación de nuevos

productos que le proporcionan rigidez y resistencia mecánica.

Sin embargo, también es sabido que el agua afecta paradójicamente a diferentes cualidades del hormigón, ya que si bien es cierto por un lado su abundancia favorece el desarrollo de las reacciones de hidratación del cemento, y dentro de ciertos límites contribuye a una mayor movilidad del material en estado fresco, por otra parte el agua en exceso afecta negativamente a la resistencia mecánica, la estabilidad volumétrica y la permeabilidad, entre otras características del estado endurecido.

##### a) Hidratación

El hormigón fresco es una difusión saturada de elementos sólidos en agua, en la que los granos de arena, grava y cemento se mantienen suspendidos gracias a un complejo sistema de fuerzas, como la gravedad, viscosidad, atracción, repulsión y de contacto entre partículas, como también por las fuerzas que se le aplican desde el exterior.

Inicialmente el espacio entre cada partícula sólida es ocupado por agua y burbujas de aire (Figura 6.4.4.1), pero a medida que transcurre el tiempo el cemento reacciona con el agua y los elementos de esta reacción comienzan a depositarse sobre los granos y en los espacios que originalmente ocupaban el agua y el aire, creando vínculos entre partículas y reduciendo paulatinamente los espacios vacíos, produciendo como efecto la rigidez del conjunto y originando una malla de capilares conectados que va depurándose progresivamente, llegando incluso a bloquearse.

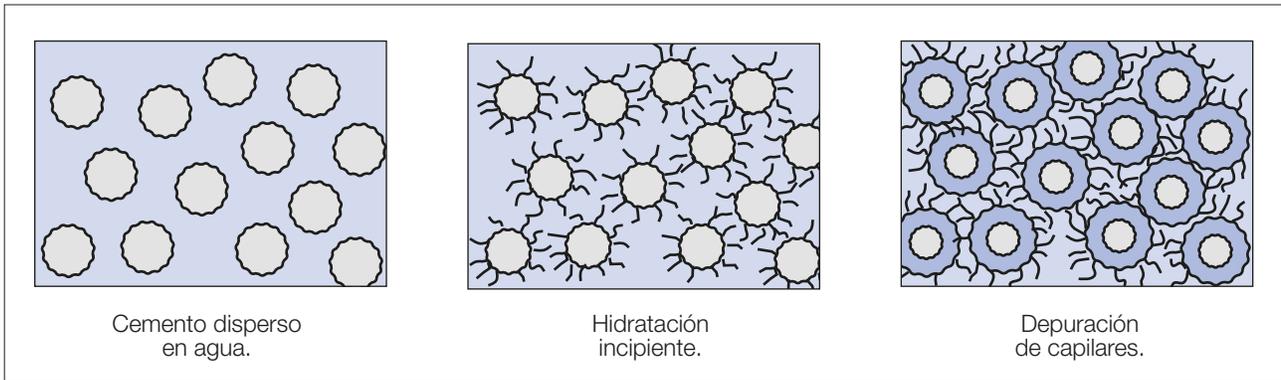


Figura 6.4.4.1: Esquema de las etapas en la hidratación del cemento.

Es indispensable la existencia de suficiente cantidad de agua para que la hidratación avance en forma conveniente, motivo por el cual se debe evitar la evaporación. Para que el cemento se hidrate completamente, la relación agua/cemento de la pasta debe ser entre 0,35 y 0,40, valor que puede ser diferente para el caso del hormigón, sin embargo el concepto que el agua es beneficiosa para la hidratación mientras que el exceso de ella deja espacios capilares vacíos, es válido tanto para la pasta de cemento como para la mezcla del hormigón. Estos vacíos tendrán un gran impacto sobre la resistencia mecánica y durabilidad del hormigón.

**b) Trabajabilidad del Hormigón**

El agua cumple la función de mantener un estado de equilibrio entre las fuerzas atractivas y separadoras que actúan sobre las partículas componentes del hormigón fresco, por lo tanto el agua afecta la trabajabilidad de las mezclas.

A medida que se incorpora agua a una mezcla, la humectación creciente de las partículas da lugar a un efecto lubricante favorable que, simultáneamente, provee cohesión y movilidad, pero en determinado momento el aumento del contenido de agua favorece el predominio de las fuerzas separadoras, ocasionando que líquidos y sólidos tiendan a separarse entre sí, perdiendo las mezclas su cohesión al permitir que las partículas más pesadas decanten, mientras que los líquidos y las partículas más livianas sean expulsadas hacia arriba.

La trabajabilidad en sí es un concepto cualitativo que considera tanto propiedades de las mezclas como factores ajenos a ellas. Una mezcla de hormigón sin aditivos, muy plástica, puede requerir entre 170 a 200 litros de agua por metro cúbico para ser trabajada con métodos convencionales de elaboración, transporte, colocación y compactación. Es probable que la misma mezcla no resulte trabajable si se mueve con cintas transportadoras inclinadas y se compacta por vibración y prensado enérgicos. La trabajabilidad se refiere entonces a la facilidad con que se puede transportar, colocar, compactar y terminar el hormigón, sin afectar su homogeneidad.

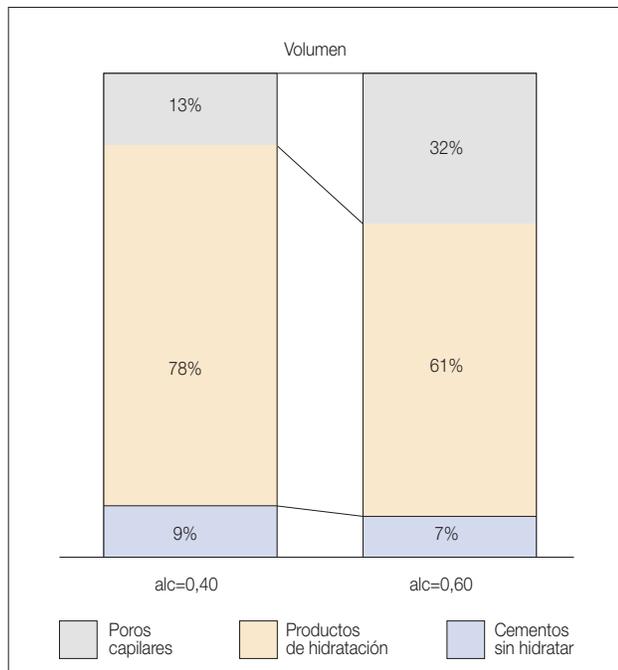


Figura 6.4.4.2: Porosidad Capilar de la Pasta de Cemento y del Hormigón 80% hidratado.

Actualmente se pueden lograr mezclas de gran movilidad aún utilizando contenidos de agua muy bajos, relaciones agua/cemento del orden de 0,30 y recurriendo al uso de aditivos superplastificantes, sin embargo aún se produce un volumen importante de hormigones fluidos en los que se utilizan contenidos de agua excesivos. Por tal motivo son numerosos los casos en que la cantidad de agua excede a las necesidades de hidratación del cemento originando hormigones muy porosos, situación que debe ser evitada.

**c) Resistencia Mecánica y Permeabilidad**

Recordemos que el contenido relativo de agua afecta la porosidad capilar de la pasta de cemento y del hormigón y que la resistencia mecánica de los materiales es fuertemente afectada por la presencia de discontinuidades que exceden de un determinado tamaño. Discontinuidades como los poros capilares de 0,01 a 10 µm tienen un fuerte efecto sobre la resistencia y la permeabilidad tal como lo muestran los ejemplos Gráficos 6.4.4.1 y 6.4.4.2.

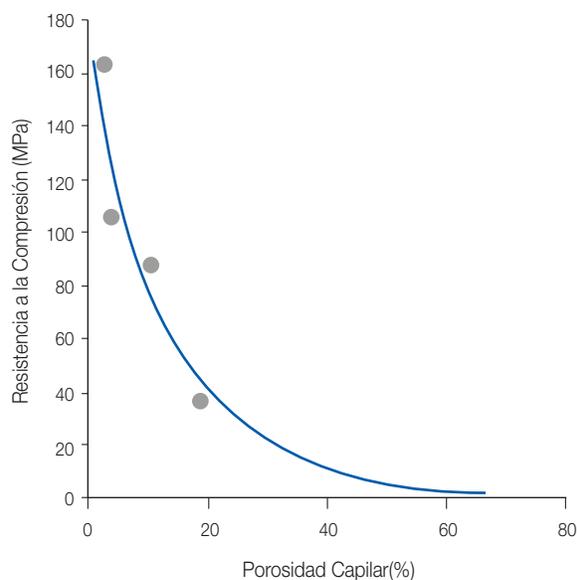
Si bien es cierto los poros se cierran progresivamente con

el avance en la hidratación del cemento, llegando incluso a bloquearse, se ha establecido que con relaciones agua/cemento superiores a 0,58 el bloqueo de capilares en la pasta es imposible, quedando entonces un sistema conectado de poros importante que explica el brusco aumento de la permeabilidad que se observa en el Gráfico 6.4.4.2, cuando la porosidad excede de 25%.

La presencia de agregados en el hormigón tiene efectos sobre la resistencia mecánica y los mecanismos de transporte de fluidos, de todos modos los efectos generales del agua sobre la resistencia y la permeabilidad son válidos tanto para la pasta como para el hormigón.

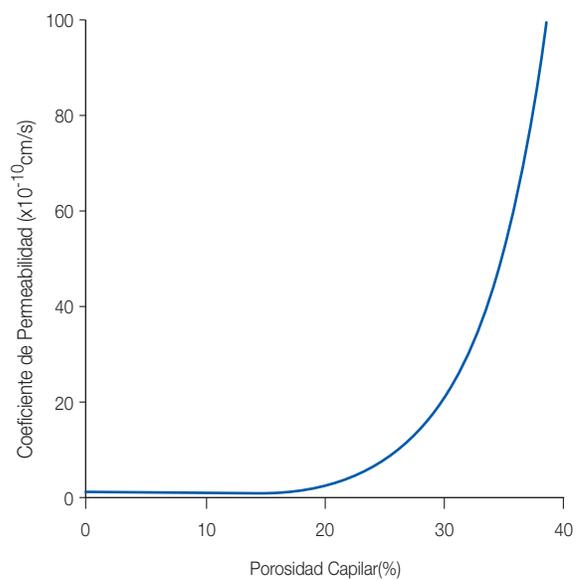
Dos conceptos importantes se derivan de estas observaciones, en primer lugar como la permeabilidad del hormigón rige el ingreso de sustancias agresivas, el aumento del contenido de agua de mezclado conduce a hormigones menos durables, y en segundo lugar, las mayores resistencias mecánicas están estrechamente vinculadas con las permeabilidades más bajas y viceversa.

**Gráfico 6.4.4.1**  
Resistencia a Compresión de la Pasta de Cemento en función de la Porosidad Capilar



Fuente: Verbeck

**Gráfico 6.4.4.2**  
Permeabilidad de la pasta de Cemento en función de la Porosidad Capilar



Fuente: Neville

**d) Estabilidad Dimensional**

Por otra parte, la contracción y el creep son fenómenos relacionados con las deformaciones por pérdida de agua del hormigón, estando la contracción vinculada con deformaciones que pueden ocurrir en el hormigón fresco o endurecido debido a la evaporación del agua, mientras que el creep incluye además los efectos que tienen las cargas aplicadas en el largo plazo, alterando ambos mecanismos la estabilidad dimensional de las estructuras.

Los elementos de hormigón más delgados, como por ejemplo las losas y pavimentos, tienen mayor superficie expuesta al medio ambiente, por lo que pierden humedad con mayor facilidad y resultan ser más sensibles a los cambios dimensionales no previstos como pueden ser la fisuración del hormigón fresco o endurecido, deformación excesiva, aumentos en la curvatura de elementos esbeltos sometidos a cargas y pérdidas de esfuerzos de tensado en hormigones pretensados.

Dado que la pasta de cemento es la parte deformable de los hormigones con agregados de peso normal, mientras que los agregados limitan las deformaciones, un elevado

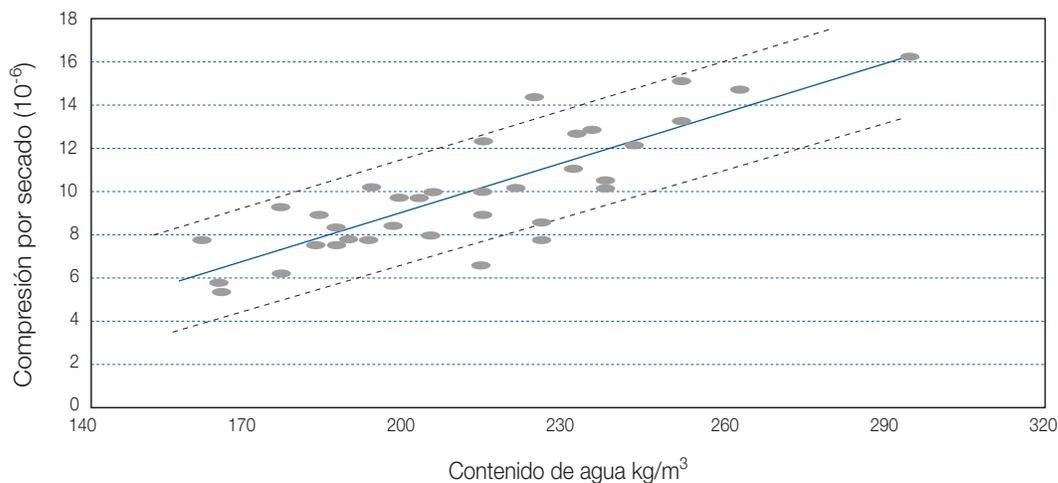
volumen de pasta de cemento disminuye la estabilidad dimensional y un aumento del contenido de agua amplía el volumen de la pasta en el hormigón, generando hormigones dimensionalmente menos estables. En consecuencia, en un hormigón correctamente dosificado, el aumento del contenido de agua disminuye la estabilidad de sus dimensiones.

**e) Curado**

Una pasta de cemento Pórtland normal con una relación agua/cemento entre 0,40 y 0,50 puede bloquear sus capilares en 7 a 14 días de hidratación ininterrumpida, valores muy similares a los que se sugieren para la duración mínima del curado. Sin embargo la necesidad de curado también depende de las características del hormigón y del medio ambiente, por ejemplo el tiempo de curado puede diferir si se trata de un hormigón elaborado con cemento Pórtland Normal o Pórtland Puzolánico de alta resistencia inicial o alto horno, o bien si las mezclas contienen aditivos que pueden alterar la velocidad de hidratación del cemento, como también pueden ser distintas las necesidades de curado para un mismo tipo de hormigón si es colocado en tiempo cálido o en tiempo frío.

**Gráfico 6.4.4.3**

**Efecto del Agua sobre la Magnitud de la Contracción del Hormigón**



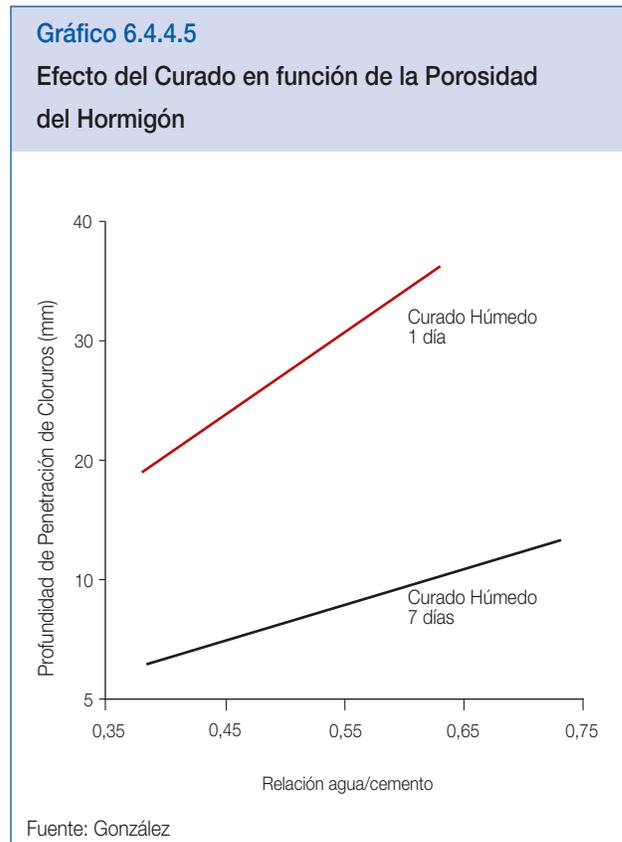
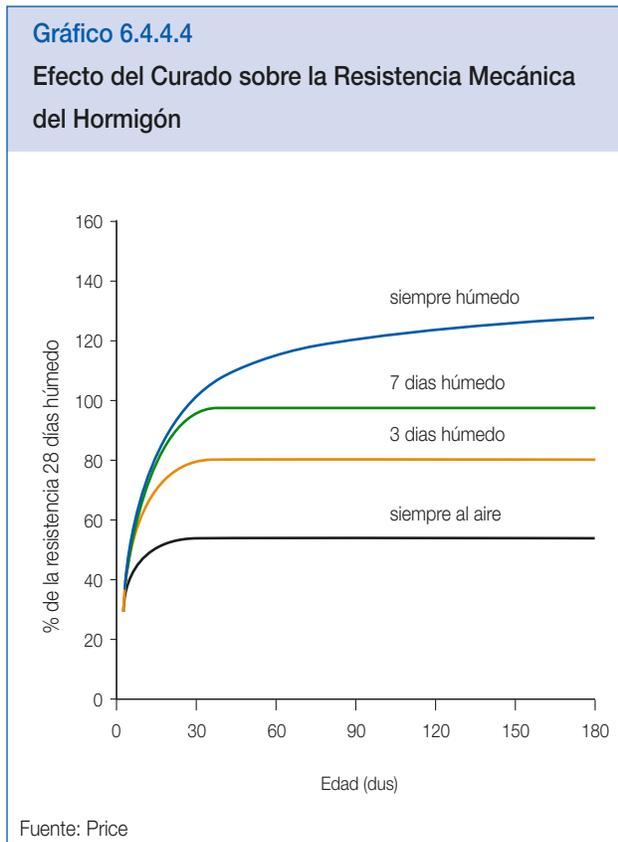
Fuente: Shack y Keene

Para evitar interrumpir la hidratación mientras el hormigón desarrolla sus propiedades mecánicas y de durabilidad, debe asegurarse la existencia de una cantidad suficiente de agua protegiéndolo de la evaporación mediante membranas, aportando agua desde el exterior o combinando estas dos medidas, para además ser un medio de ayuda para evitar la fisuración por cambios dimensionales durante las primeras edades del hormigón.

**Conclusión:**

El aporte de agua y la durabilidad de una estructura de hormigón está relacionada, fundamentalmente, con los factores implícitos siguientes:

- Dosificación mínima → Curado abundante → Vida en servicio larga
- Dosificación excesiva → Curado mínimo → Vida en servicio corta



## 6.5 RECUBRIMIENTOS DE LAS ARMADURAS

### 6.5.1 Recubrimientos de Hormigón

La condición de superficies de hormigón expuestas a la acción del clima o corrosión se refiere a exposiciones directas, no sólo a cambios de temperatura sino también de humedad. Las superficies inferiores de placas delgadas o de losas, por lo general no se consideran directamente comprometidas, a menos que estén expuestas a humedecimiento y secado alternados, incluyendo el debido a las condiciones de condensación o de filtraciones directas desde la superficie enfrentada, escurrimientos o efectos similares.

El Decreto Supremo 60 (DS60) del Ministerio de la Vivienda, publicado en diciembre de 2011, fijó requisitos para el recubrimiento de hormigón para proteger las armaduras de refuerzo. Existen tres razones en estas exigencias: (a) La adecuada transferencia de los esfuerzos de las barras de refuerzo al hormigón; (b) Contar con la protección de la armadura contra la corrosión y (c) La tener una protección de la armadura contra los efectos del fuego, provocando un efecto retardador.

Para los casos más comunes normalmente usados en Chile y que en la práctica no han dado origen a problemas de corrosión, salvo en ambientes muy agresivos, en las Tablas 6.5.1.1, 6.5.1.2 y 6.5.1.3 se muestran los recubrimientos

mínimos recomendados para condiciones normales y severas, destinados al hormigón vaciado en obra y al hormigón prefabricado producido en condiciones de control de planta, para armaduras no pretensadas y pretensadas respectivamente.

#### a) Condiciones ambientales severas:

- Interior de edificios donde la humedad es alta como en cocinas industriales, baños de vapor y lavanderías (no se aplica a recintos habitacionales) o donde existe riesgo de presencia temporal de vapores corrosivos.
- Zonas donde se produce escurrimiento de agua; por ejemplo terrazas, jardineras y balcones abiertos.
- Presencia de líquidos con pequeñas cantidades de ácido, o de aguas salinas o fuertemente oxigenadas.
- Presencia de gases corrosivos o, especialmente, suelos corrosivos.
- Condiciones atmosféricas industriales o marítimas corrosivas.

#### b) Condiciones ambientales normales:

- Condiciones no incluidas en la categoría de condiciones severas salvo que la experiencia indique que se requieren medidas especiales de protección.

Los recubrimientos mínimos recomendados para las armaduras de losas, muros y otros elementos expuestos a ambientes muy corrosivos, se muestran en el comentario al final de esta Sección.

**Tabla 6.5.1.1**

**Recubrimientos Mínimos para Hormigón Vaciado en Obra – Armadura No Pretensada (no preesforzada)**

Hormigón y elementos Barras y armaduras	Recubrimiento libre mínimo mm	
	Condiciones normales	Condiciones severas
a) Hormigón colocado contra el suelo y permanentemente expuesto a él	50	70
b) Hormigón expuesto al suelo o al aire libre		
Barras $d_n$ 18 a 40 mm	40	50
Barras $d_n$ 16 mm y menores	30	40
c) Hormigón no expuesto al aire libre ni en contacto con el suelo		
• Losas, muros, nervaduras:		
Barras $d_n$ 40 mm	40	40
Barras $d_n$ 16 a $d_n$ 36 mm	20	20
Barras $d_n$ 12 mm y menores	15	20
• Vigas y columnas:		
Armadura principal	30	40
Amarras, estribos y zunchos	20	30
• Cáscaras y placas plegadas:		
Barras $d_n$ 18 mm y mayores	20	20
Barras $d_n$ 16 mm y menores	15	15
d) Elementos de confinamiento en albañilerías		
Armadura principal de $d_n$ 10 mm y menores	20	30
Amarras, estribos y zunchos de $d_n$ 8 mm y menores	15	20

Notas:

$d_n$  = diámetro nominal de la barra (mm)

Tabla según el Decreto Supremo 60 del Ministerio de la Vivienda, publicado el 13 diciembre de 2011

**Tabla 6.5.1.2**
**Recubrimientos Mínimos para Hormigón Vaciado en Obra – Armadura Pretensada (o preesforzada)**

Hormigón y elementos Barras y armaduras	Recubrimiento libre mínimo mm	
	Condiciones normales	Condiciones severas
a) Hormigón colocado en contacto con el suelo y permanentemente expuesto a él	60	70
b) Hormigón expuesto al suelo o al aire libre		
• Paños de muros, losas y nervaduras	25	40
• Otros elementos	40	40
c) Hormigón no expuesto al aire libre ni en contacto con el suelo		
• Losas, muros, nervaduras	20	20
• Vigas y columnas:		
Armadura principal	30	40
Amarras, estribos y zunchos	20	25
• Cáscaras y placas plegadas:		
Barras $d_n$ 16 mm y mayores	10	10
Otro tipo de armadura	20	20

Notas:

 $d_n$  = diámetro nominal de la barra (mm)

Tabla según el Decreto Supremo 60 del Ministerio de la Vivienda, publicado el 13 diciembre de 2011

**Tabla 6.5.1.3**

**Recubrimientos Mínimos para Hormigón prefabricado (fabricado en condiciones de control de planta) - Armadura No Pretensada (no preesforzada) y Pretensada (preesforzada)**

Hormigón y elementos Barras y armaduras	Recubrimiento libre mínimo mm	
	Condiciones normales	Condiciones severas
a) Hormigón expuesto al suelo o al aire libre		
• Paneles para muros:		
Barras $d_n$ 40 mm	40	40
Barras $d_n$ 36 mm y menores	20	20
• Otros elementos:		
Barras $d_n$ 40 mm	50	50
Barras $d_n$ 18 a $d_n$ 36 mm	30	40
Barras $d_n$ 16 mm y menores	20	30
b) Hormigón no expuesto al aire libre ni en contacto con el suelo		
• Losas, muros, nervaduras:		
Barras $d_n$ 40 mm	30	30
Tendones de pretensado $d_n$ 40 mm y menores	20	20
Barras $d_n$ 36 mm y menores	15	15
• Vigas y columnas:		
Armadura principal ( $16 \leq d_n \leq 40$ )	$d_n$	$d_n$
• Amarras, estribos y zunchos	10	10
• Cáscaras y placas plegadas:		
Tendones de pretensado	20	20
Barras $dd_n$ 18 mm y mayores	15	15
Barras $dd_n$ 16 mm y menores	10	10

Notas:

$d_n$  = diámetro nominal de la barra (mm)

Tabla según el Decreto Supremo 60 del Ministerio de la Vivienda, publicado el 13 diciembre de 2011

**Comentarios:**

Para ambientes muy corrosivos se recomienda como protección, los siguientes espesores de recubrimientos mínimos para la armadura.

a) Para hormigón vaciado en obra

- 50 milímetros de espesor para losas y muros
- 60 milímetros de espesor para otros elementos

b) Para hormigón prefabricado en condiciones de control de planta.

- 40 milímetros de espesor para losas y muros
- 50 milímetros de espesor para otros elementos

## 6.5.2 Armaduras Galvanizadas

### 6.5.2.1 Generalidades

Aunque generalmente las armaduras de refuerzo, dado el confinamiento de las barras dentro del hormigón, no requieren de ninguna clase de protección complementaria contra la acción del clima, contaminación atmosférica o corrosión por oxidación u otros factores, en algunas circunstancias especiales, pueden ocurrir situaciones de corrosión debido a un insuficiente espesor del recubrimiento, grietas, fisuras o exceso de porosidad en el hormigón, existencia de anhídrido carbónico en el aire o presencia de cloruros o ácidos en el agua, áridos, cemento o en los aditivos del concreto.



Figura 6.5.2.1: Armaduras galvanizadas de pilotes en salar de Atacama.  
Gentileza de B. Bosch (2004)

Es sabido que una vez iniciada la corrosión de las armaduras, ésta se transforma en un proceso irreversible que obliga a una reparación inmediata de las estructuras, reparación técnicamente difícil y generalmente costosa.

Las ventajas que se logran con la utilización de armaduras galvanizadas, en aquellos casos en que las condiciones ambientales o exigencias sean severas o muy agresivas, se pueden resumir, entre otras, como sigue:

- Protección catódica de las zonas descubiertas del recubrimiento de hormigón cuando es dañado mecánicamente.

- Pasivación del recubrimiento de zinc dentro del hormigón, por formación de capas de hidróxi-cincatos cálcicos, muy adherentes una vez fraguado el hormigón.
- Eliminación de manchas de óxido de hierro que se producen por oxidación de las barras.
- Mayor resistencia al ataque provocado por la presencia de cloruros en el ambiente como en los componentes del hormigón.
- Reducción de grietas y del desprendimiento de la capa de recubrimiento de hormigón, ya que impide la oxidación del acero y la formación de herrumbre que produce presiones y tensiones expansivas internas importantes.
- Mayor confiabilidad del hormigón armado en cuanto a su comportamiento en ambientes agresivos.
- Mayor tolerancia del hormigón armado a las desviaciones de dosificación y ejecución, como por ejemplo la relación agua/cemento, incorrecta instalación de las armaduras, que puede tener como consecuencia capas de recubrimiento excesivamente delgadas, y compactación o vibrado deficiente, que puede generar nidos, porosidades y grietas.

Tal como lo indica la norma NCh3260 Of.2012, las armaduras pueden ser galvanizadas antes o después de ser fabricadas, aún cuando lo recomendable es que las barras sean tratadas después de ser cortadas y dobladas, dependiendo sus largos o formas sólo de las dimensiones de las tinas de inmersión. Esta norma establece tres clases de recubrimientos, clase A, clase B y clase C, que se diferencian en la masa de zinc por unidad de área contenida en el recubrimiento. La Tabla 6.5.2.1.1 indica el requisito mínimo de zinc por unidad de área que debe cumplirse por clase de recubrimiento.

Contenido de zinc mayores a 600 g/m<sup>2</sup> deben ser acordados con el proveedor del galvanizado.

En el caso que el doblado sea realizado con las barras ya galvanizadas estas deben cumplir con las disposiciones de la norma NCh3260 Of.2012 y si como resultado de estas operaciones se producen algunas grietas o

descascamientos en pequeños sectores del recubrimiento, éstas zonas afectadas pueden ser retocadas y restauradas con alguna pintura base que sea rica en zinc, conforme a la práctica estándar de la norma ASTM A780.

Debe señalarse que en cualquier caso, las barras de refuerzo galvanizadas deben cumplir con los requisitos mecánicos, de doblado y de geometría de las barras sin galvanizar, es decir, ya sea de la NCh204 Of.2020 o de la NCh3334:2014, exceptuando el requisito de la masa. Esto implica que el proveedor de las barras galvanizadas debe presentar el certificado de calidad de las barras en esta condición para ser empleadas en la obra.

Para impedir una reacción negativa entre el zinc con el hormigón fresco, antes de la formación de la capa pasivante, y para asegurar una perfecta adherencia de las barras, se recomienda utilizar hormigones que contengan a lo menos un 0,002% de cromatos o en su defecto agregar anhídrido crómico al agua de amasado hasta obtener una concentración de 100 mg/litro (ppm).

### 6.5.2.2 Reacciones Químicas

Las reacciones químicas presentes en las armaduras del hormigón, recubiertas con pintura epóxica y por el galvanizado por inmersión en zinc fundido, son en general las señaladas en las Tablas 6.5.2.2.1 y 6.5.2.2.2.

#### a) Recubrimiento epóxico

Este tipo de recubrimiento protege por barrera, de allí que cualquier poro o daño por transporte o manipulación en el revestimiento es perjudicial para la protección del acero. Los resultados sobre el particular no han sido muy halagadores y actualmente existen muchas estructuras donde este método ha sido aplicado que muestran corrosión severa de la armadura, con la que el uso de cualquier otro sistema de control, incluyendo la protección catódica podría no ser efectivo si a la armadura no se le elimina previamente tal recubrimiento.

**Tabla 6.5.2.1.1**

Requisitos mínimos de contenido de zinc por clase de recubrimiento (NCh3260 Of.2012)

Tipo de Recubrimiento	Requisito de zinc mínimos g/m <sup>2</sup>
Clase A	600
Clase B	300
Clase C	140

**Tabla 6.5.2.2.1**
**Reacciones Químicas en Armaduras con Pintura Epóxica**

Condiciones	Reacciones
a) <b>Oxidación en aire:</b> El aire con un contenido normal de 21% de oxígeno, presenta una reacción de oxidación en la zona de corrosión de la armadura con velocidad de corrosión lenta.	$2 \text{Fe}^0 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{FeO}$
b) <b>Hidrólisis en aire húmedo:</b> El aire con contenido de humedad, presenta una corrosión más acelerada.	$2 \text{Fe}^0 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Fe}(\text{OH})_2$
c) <b>Carbonatación en el hormigón:</b> Reacciona con los componentes alcalinos de la fase acuosa del hormigón y da lugar a una neutralización de todo el material. Disminuyendo así el ph del hormigón.	$\begin{array}{ccc} \text{Ca}(\text{OH})_2 & & \text{CaCO}_3 \\ \text{NaOH} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} & \rightarrow & \text{NaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \\ \text{K}_2\text{OH} & & \text{K}_2\text{CO}_3 \end{array}$
d) <b>Atmósfera salina:</b> Existen dos reacciones, una en la zona pasiva (reacción catódica) y otra en la corrosiva (reacción anódica), dando lugar a la corrosión localizada en el hormigón armado, con la consecuencia de una corrosión catalizada, con formación de iones cloruros.	<p>Reacción catódica:</p> $\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-$ <p>Reacción anódica:</p> $\text{Fe}^0 \rightarrow \text{Fe}^{++} + 2\text{e}^-$ $6 \text{Fe}^{++} + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$ $4 \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{Fe}(\text{OH})_3$
e) <b>Debajo de medios salinos:</b> Esto se genera principalmente en zonas costeras o litoral, dando lugar a una corrosión bastante acelerada debido a la alta humedad y contenido de CO <sub>2</sub> .	$\text{NaCl} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ $\text{Fe}(\text{OH})_2 + 2 \text{Cl}^- \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
f) <b>Efectos del SO<sub>2</sub> de la atmósfera:</b> Esto se realiza en ambientes principalmente mineros, dando lugar a velocidades de corrosión bastantes aceleradas, perjudicando particularmente al hormigón debido a la generación de ácido sulfúrico.	$\text{Fe}^0 + \text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{FeSO}_4$ $\text{SO}_2 + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3$ $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$

**b) Galvanizado por inmersión en zinc fundido (galvanizado en caliente)**

Este método protege al acero por un mecanismo de protección catódica con ánodo de sacrificio. En un medio alcalino como el del hormigón, el zinc fundamentalmente

protege por formación de una capa compacta de productos de la reacción inicial del zinc con el hormigón, para dar lugar a la formación de cincatos. Si hay riesgo de ataque por cloruros, es importante que la capa de zinc del galvanizado tenga un espesor mínimo de alrededor de 50 micras.

Tabla 6.5.2.2.2 Reacciones Químicas en Armaduras Galvanizadas	
Condiciones	Reacciones
a) <b>Oxidación en aire:</b> El aire con un contenido normal de 21% de oxígeno, presenta una reacción de oxidación en el zinc de la armadura, dando lugar a la formación de otra capa de protección al acero.	$2 \text{Zn}^0 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ZnO}$
b) <b>Hidrólisis en aire húmedo:</b> El aire con contenido de humedad, presenta una formación de hidróxido para la consecuente formación de la pátina de zinc (capa final de protección).	$2 \text{Zn}^0 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Zn(OH)}_2$
c) <b>Carbonatación en la armadura:</b> Reacciona con los álcalis de la fase acuosa del hormigón, disminuyendo así el ph. Al mismo tiempo reacciona con el zinc de las barras galvanizadas, dando una mejor protección.	$5 \text{Zn(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow 2 \text{ZnCO}_3 \cdot 3\text{Zn(OH)}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ $2 \text{ZnCO}_3 \cdot 3\text{Zn(OH)}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Zn(HCO}_3)_2 + 4 \text{Zn(OH)}_2$
d) <b>Atmósfera salina:</b> Da lugar a la formación de nuevas capas de protección y a la vez del debilitamiento del espesor de zinc de la armadura.	$6 \text{Zn} + 8 \text{NaCl} + 4 \text{CO}_2 + 7 \text{O}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ $4 \text{Zn(OCl)}_2 + 2 \text{Zn(HCO}_3)_2 + 8 \text{NaOH}$ En algunos casos: $\text{Zn(OCl)}_4$
e) <b>Debajo de medios salinos:</b> Esto se genera principalmente en zonas costeras o litoral, dando lugar a una reacción y debilitamiento del espesor de la capa galvanizada, para luego dar lugar a la formación de una capa protectora final (pátina de zinc) debido a la alta humedad y contenido de $\text{CO}_2$ .	$\text{NaCl} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ $\text{Cl}^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{HCl}$ $\text{Zn(OH)}_2 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
f) <b>Efectos del <math>\text{SO}_2</math> de la atmósfera:</b> Esto se realiza en ambientes principalmente mineros, dando lugar a velocidades de corrosión bastante aceleradas, perjudicando particularmente al hormigón debido a la generación de ácido sulfúrico.	$\text{Zn}^0 + \text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{ZnSO}_4$
g) <b>Dilución de la pátina de zinc:</b> La dilución de la capa final de protección (pátina de zinc) se realiza en ambientes con contenidos altos de $\text{SO}_2$ .	$2 \text{Zn(HCO}_3)_2 + \text{O}_2 + 2 \text{SO}_2 \rightarrow 2 \text{ZnSO}_4 + 4 \text{CO}_2$ $+ 2 \text{H}_2\text{O}$

La pátina de zinc tiene la reacción siguiente:



Esta formación de pátina de zinc se realiza entre el cuarto y octavo mes luego que la pieza ha sido galvanizada y expuesta al ambiente. Este componente es insoluble y sirve para la protección posterior del galvanizado, pero en presencia de dióxido de azufre en el ambiente la solubiliza, teniendo una reacción muy lenta.

Fuente: B. Bosch S.A. - Marzo 2005

### 6.5.2.3 Adherencia de las Barras Galvanizadas

En la Tabla 6.5.2.3 se presentan los resultados comparativos de adherencia de barras de refuerzo para hormigón, lisas y con resaltes AZA, galvanizadas y normales, obtenidos mediante un "Ensayo de Arrancamiento Simple Modificado", realizado en los laboratorios de CESMEC por encargo de la empresa B. Bosch S.A., los cuales permiten visualizar la diferencia de adherencia con el hormigón lograda en estos casos.

<b>Tabla 6.5.2.3</b>			
<b>Ensayo de Adherencia en Barras de Refuerzo para Hormigón AZA</b>			
d <sub>n</sub> Barra	Probeta Tipo	Resistencia al Arrancamiento	
		kgf/cm <sup>2</sup>	
		A630	A440
12	Barra con resaltes normal	61,6	77,0
	Barra con resaltes galvanizada	71,9	87,3
	Barra lisa	35,9	35,9
25	Barra con resaltes normal	47,3	42,6
	Barra con resaltes galvanizada	46,1	43,8
	Barra lisa	23,7	22,5

Condiciones:  
a) Edad de ensayo de las probetas: 7 días  
b) Resistencia del hormigón a la edad del ensayo: 178 kgf/cm<sup>2</sup>  
c) Grado del hormigón: H25 (a los 28 días)  
Fuente: B. Bosch S.A.

## 6.6 PROTECCION CONTRA EL FUEGO

### 6.6.1 Introducción

En Chile existe una normativa que es muy similar a otras en el mundo, es muy general y por ello algunos profesionales piensan que es la adecuada y otros que no lo es, porque no entra en detalles, es de algún modo anticuada y no favorece el diseño sobre la base del desempeño de los incendios, un método de evaluación particular por caso, que requiere mucha preparación para poder aplicarla.

La resistencia al fuego de un elemento estructural se debe calificar según el criterio de la capacidad de carga que soporta, la de un elemento de separación conforme el criterio de estanqueidad y aislamiento y la de un elemento de separación que soporta carga se debe analizar según la capacidad de carga, la estanqueidad y el aislamiento.

Se entenderá como capacidad de soporte de carga a los requerimientos y exigencias que debe cumplir un elemento

estructural para que no falle, de tal manera que pueda seguir desempeñando la función de soporte de carga para la cual fue diseñado. El concepto de estanqueidad y aislamiento se refiere a la inexistencia de grietas o fisuras, en elementos verticales y horizontales, con el propósito de evitar la propagación de llamas y gases.

El fuego originado por los incendios puede producirse en lugares abiertos o cerrados, siendo estos últimos los más severos ya que en ocasiones pueden alcanzar temperaturas superiores a 1.000°C, como es el caso de los túneles y pasillos, considerados como espacios confinados.

Es un fenómeno que podría ocasionar daños catastróficos e irreparables a las estructuras directamente afectadas y a las construcciones vecinas, lesiones a las personas o pérdida de vidas, daño al medio ambiente por emisión de gases contaminantes a la atmósfera y altísimos costos por reparación o reconstrucción de la obra, como lo demuestran los ejemplos emblemáticos de incendios reales en el Cuadro 6.6.1.

Cuadro 6.6.1					
Ejemplos Ilustrativos de Pérdidas por Incendio					
Ejemplos de Incendios	Año [duración horas] (temperatura máxima)	Pérdida de Vidas	Pérdidas por Ingresos US\$ x 10 <sup>6</sup>	Costo de las Reparaciones US\$ x 10 <sup>6</sup>	Total Costos US\$ x 10 <sup>6</sup>
Eurotúnel Gran Bretaña - Francia	1996 [18] (1.100°C)	0	269	65	334
Túnel Mont Blanc Francia - Italia	1999 [54] (1.400°C)	38	268	249	517
Túnel Tauern Austria	1999 [12] (1.000 °C)	12	26	12	38
World Trade Center New York - EE.UU.	2001 [2] (850 °C)	> 3.000	no determinado	Pérdida Total (demolición)	150.000 (estimado)

Se debe tener en cuenta que un incendio originado en un espacio abierto o con grandes áreas de ventilación, a diferencia de aquel en reductos cerrados, se puede describir como un fenómeno estacionario relativamente fácil de controlar, cuya temperatura en el foco se mantiene prácticamente constante durante el tiempo de su transcurso, y que produce una pérdida de energía por radiación hacia la atmósfera circundante del orden del 30%, debido a la fluctuación de la llama, así como se representa en la Figura 6.6.1.1.

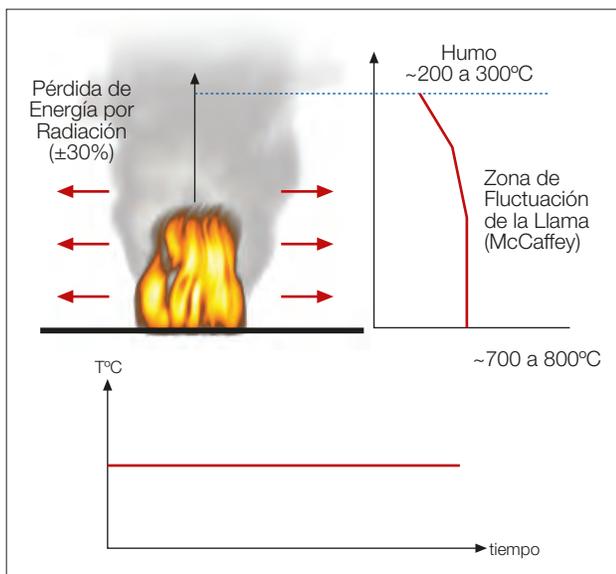


Figura 6.6.1.1: Esquema de un Incendio en Espacios Abiertos

En el caso de un incendio en espacios cerrados o confinados, como por ejemplo un túnel, el intercambio de calor es casi adiabático, es decir casi no es posible el intercambio térmico entre el interior y el exterior del recinto, lo que permite elevadas temperaturas que generan incendio a grandes distancias del foco.

En los incendios dentro de túneles, el calor generado por el humo va directamente a las paredes y el piso, aumentando la temperatura del incendio e irradiando el calor por ejemplo hacia el asfalto, material que no es recomendable utilizar como carpeta de rodado en estas estructuras, dado que fácilmente puede producir una mayor pérdida de masa y, consecuentemente, una mayor cantidad de combustible o carga de fuego, aumentando la severidad del incendio y la

cantidad de humo. Otro factor importante es la geometría del túnel, la pendiente que pueda tener la calzada, ya que una mayor pendiente mayor flujo de calor, afectando la estructura y velocidad de propagación de las llamas y del humo la que es rapidísima, dificultando la evacuación de las personas y la reacción para intervenir el incendio, condición que se le conoce como "efecto trinchera". Además, en los incendios de túneles que tienen curvas, estas aumentan localmente la carga de fuego favoreciendo el descascarado del hormigón (spalling) o la pérdida total del recubrimiento en algunas ocasiones, exponiendo aún más las armaduras al fuego, ahora en forma directa.

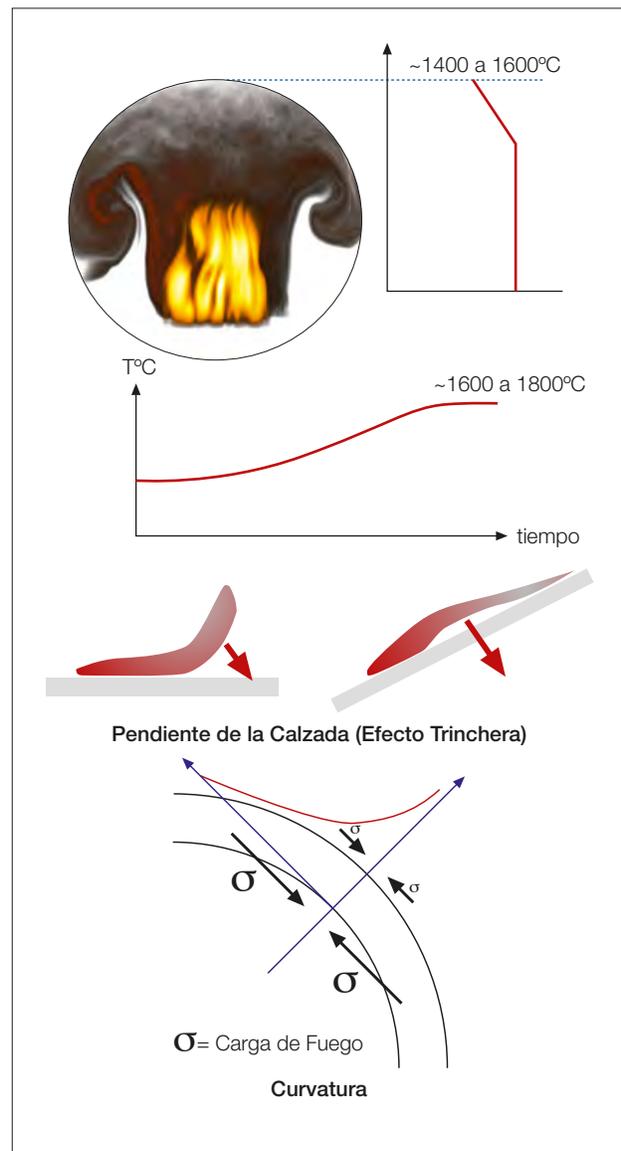


Figura 6.6.1.2: Esquema de un Incendio en un Espacio Confinado.

La interacción entre la llama y el humo es un proceso sumamente complicado durante el incendio en un túnel, dado que por una parte, mientras la producción de humo, la dirección en la cual se propaga y su cantidad depende de la relación directa que existe entre el incendio y la

geometría del túnel y, por otra parte, las llamas se deforman con la ventilación relativa, que a ciertos niveles de ventilación amplían estas de una manera importante, aumentando la velocidad de propagación y el flujo de calor, tal como se representa en los esquemas de la Figura 6.6.1.3.

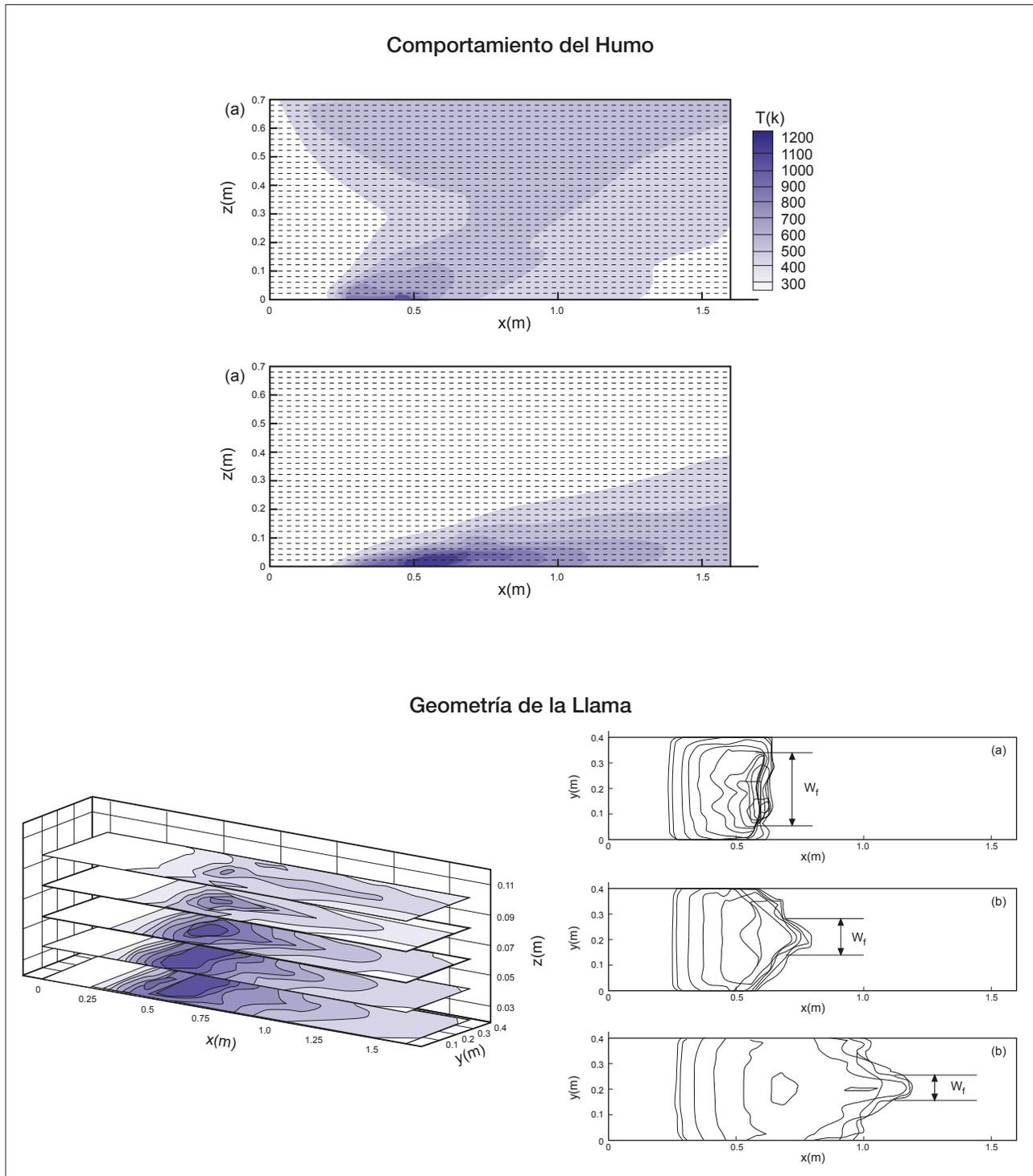


Figura 6.6.1.3: Comportamiento del Humo y Geometría de la Llama en un Incendio en un Túnel o Pasillo.

### 6.6.2 Metodologías de Diseño Clásicas

Actualmente en la mayoría de los países, el diseño de las estructuras de los edificios y obras sometidas a condiciones de fuego se basan en guías de diseño clásicas, que utilizan una metodología estándar reuniendo los fenómenos físicos producidos para definir criterios generales, es decir, estandarizan el incendio y el impacto a partir de un patrón de pruebas de laboratorio realizadas en cierto horno, de acuerdo a alguna de las normas siguientes; NCh 935, ISO 834, ASTM E-119, BS-476, entre otras.

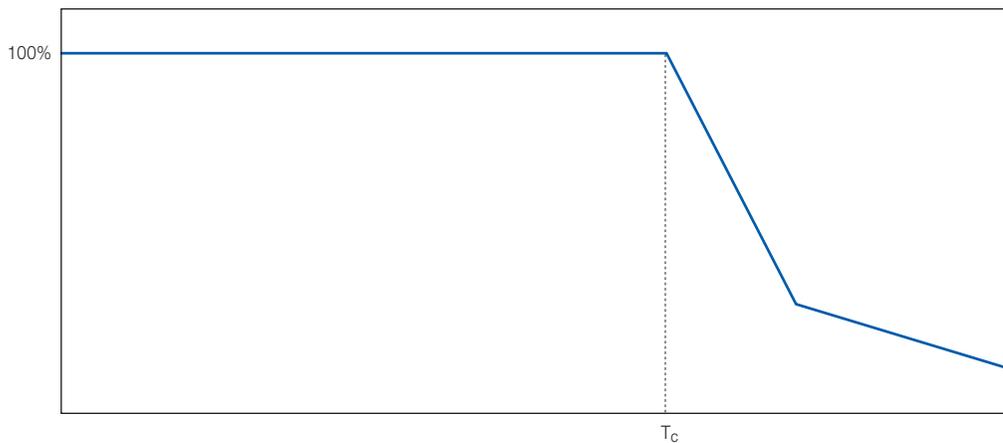
La mayoría de estas guías de diseño consideran que debido

a la baja conductividad térmica del hormigón, la resistencia a la compresión permanece casi constante hasta llegar a la temperatura crítica, por lo que a partir de ello calculan la protección en función de los resultados experimentales obtenidos en base a una curva estándar.

Es este hecho el que da origen a la aparición de una nueva variable, el espesor del recubrimiento, el cual tiene como objetivo mantener los elementos estructurales bajo las temperaturas críticas y cuya metodología de cálculo está estandarizada en forma muy estricta mediante correlaciones empíricas para diversos materiales de protección.

Gráfico 6.6.2.1

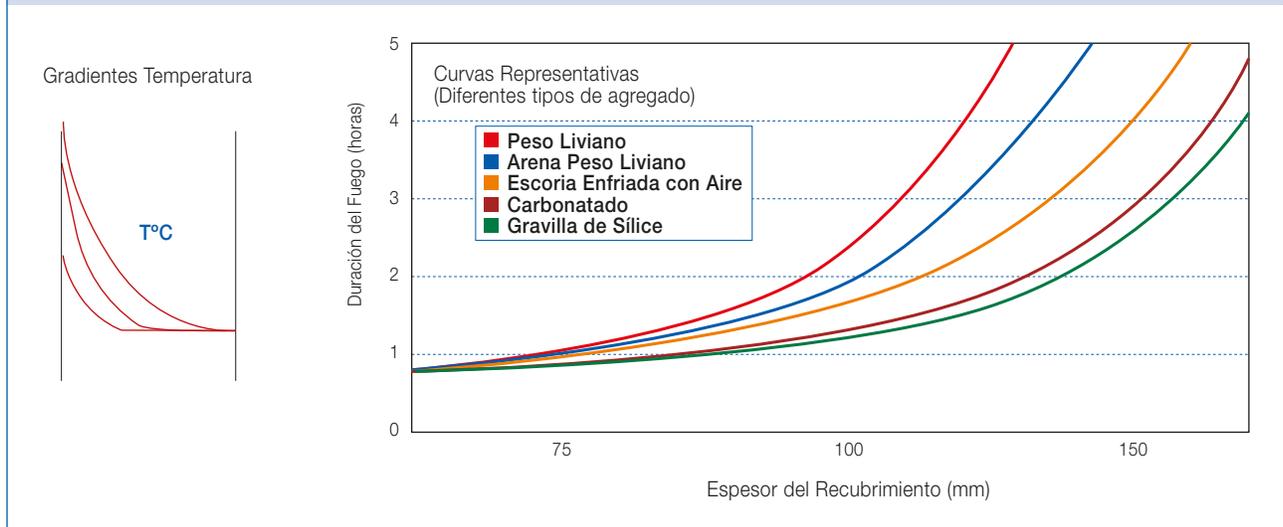
Resistencia del Hormigón a la Compresión versus Temperatura Crítica



Variación de las Propiedades del Hormigón: ( $C_3 - C_4$  y  $C_5 =$  Constantes)  
 Módulo de Elasticidad Disminuye:  $E = E_0 (1 - C_3 T)$   
 Densidad Disminuye:  $r = r_0 (C_4 - C_5 T)$

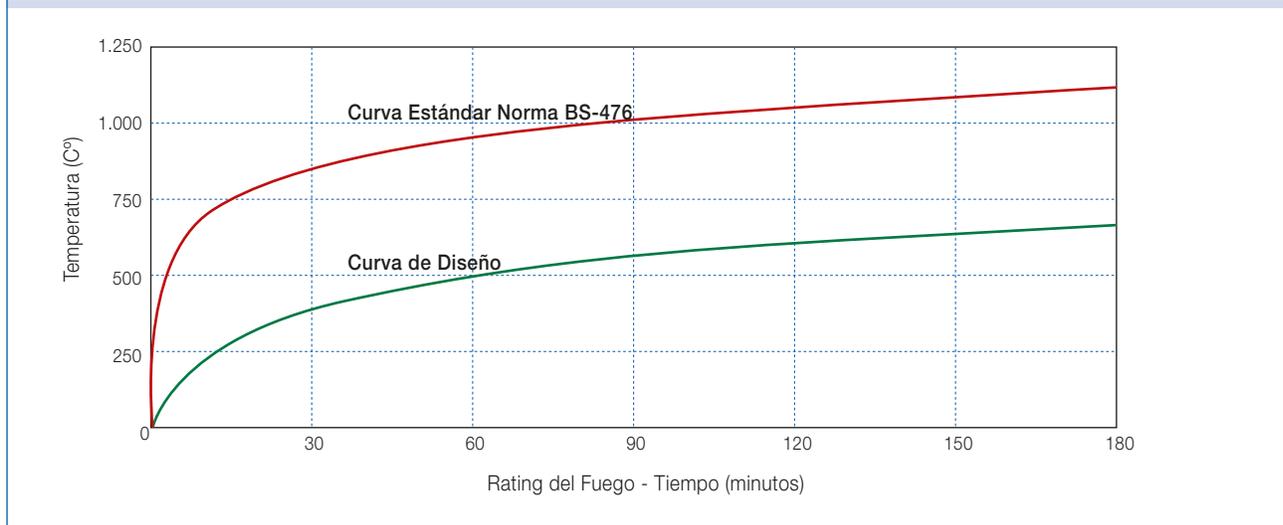
**Gráfico 6.6.2.2**

**Análisis Térmico del Hormigón según el Tipo de Agregado**



**Gráfico 6.6.2.3**

**Curva Estándar y de Diseño de Resistencia al Fuego**



Es difícil incluir todas las ocurrencias en el caso del fuego sólo a partir de la temperatura y el tiempo de duración o rating mostrado en el Gráfico 6.6.2.3, ya que existen además otras variables muy complejas y relevantes como son por ejemplo, los efectos vinculados con la geometría de los elementos, si las superficies estarán expuesta o no expuestas directamente al fuego (donde la temperatura de columnas es de 140°C y 645°C respectivamente), dependiendo si los elementos estarán o no sometidos a cargas, como es el

caso de vigas con carga cuya temperatura crítica es de 425°C y vigas sin carga de temperatura crítica 530°C, el comportamiento del humo y la ventilación, la carga de fuego y el caso de incendios generados producto de un sismo, entre otras variables.

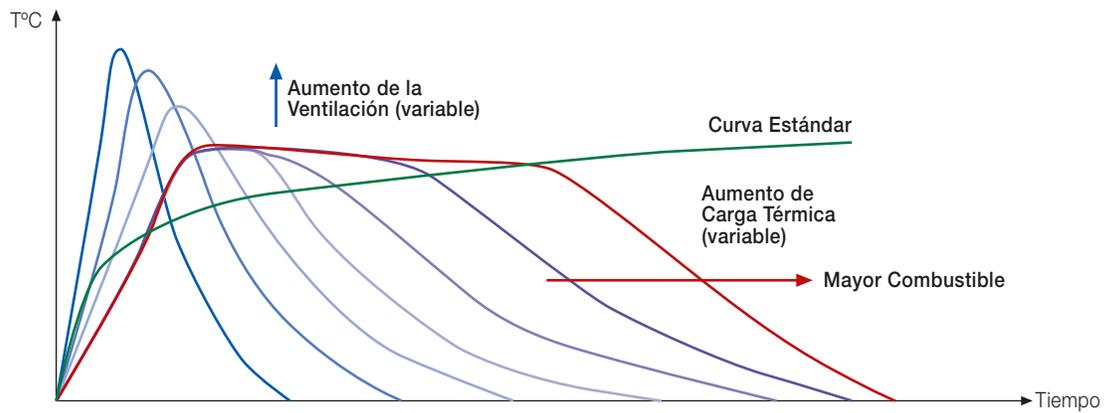
Aún cuando todos los incendios no son iguales o equivalentes entre sí, existen curvas alternativas de temperatura versus tiempo, que intentan representar de una

mejor forma las condiciones de un incendio y su duración, en donde el tiempo es el parámetro principal ya que la evacuación de las personas y el incendio se describen en función del mismo, las que tienen como objetivo

averiguar la semejanza entre un incendio real y la curva estándar, en función de la introducción de otros parámetros como, carga térmica y ventilación, como se muestra en el Gráfico 6.6.2.4.

Gráfico 6.6.2.4

Curvas Paramétricas de un Incendio vs. Estándar



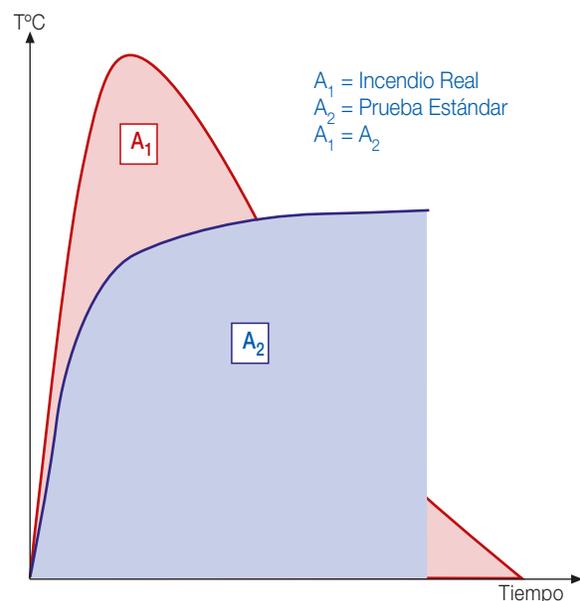
Estas curvas comparables con el estándar conllevan inevitablemente a cargas térmicas comparables, postulando que el flujo de calor es proporcional a la temperatura, es decir, depende solamente de la diferencias de temperatura entre el gas y el elemento estructural, y acepta como válido integrar matemáticamente el área bajo la curva de temperatura, como se muestra en el Gráfico 6.6.2.5. Pero este procedimiento es fundamentalmente incorrecto, debido a que no existe una relación lineal entre la convección y la radiación haciéndolo vulnerable en los extremos, y sólo puede dar resultados aproximados.

Por otra parte, las temperaturas no son la mejor manera de describir un incendio en particular, ya que el área bajo la curva puede servir como indicador de severidad del siniestro, pero también puede llevar a resultados incorrectos dado que en general:

*Altas temperaturas más corto tiempo, es distinto a bajas temperaturas más largo tiempo.*

Gráfico 6.6.2.5

Carga Térmica Total de un Incendio vs. Estándar



### 6.6.3 Carga Térmica y Flujo de Calor

El concepto anterior comienza a evolucionar a partir de la década de los 80 y es en sí un cambio de la metodología tradicional existente, admitiendo que el fuego no puede describirse de una manera estándar, donde las temperaturas deben ser remplazadas por flujos de calor, dado que los cuerpos se calientan por este medio, siendo la temperatura una manifestación, donde las equivalencias no son una

metodología de extrapolación de valores adecuada.

Además de lo anterior, vinculan la carga térmica con la estructura, dado que los resultados de ensayos empíricos realizados por Cardington en Gran Bretaña, demostraron que su geometría y tipología afecta radicalmente la resistencia de una estructura, produciendo en ocasiones expansiones o desplazamientos térmicos significativos, tal como se representa en la Figura 6.6.3 siguiente.

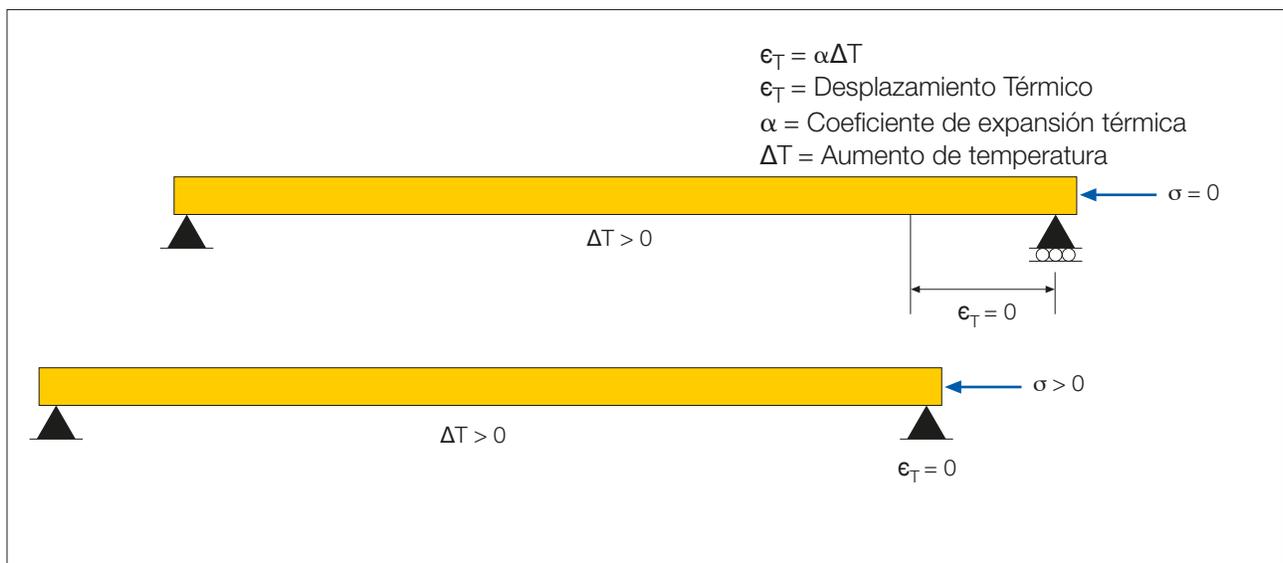


Figura 6.6.3: Ensayo de Cardington de Expansión Térmica.

No obstante lo anterior, a partir del año 2000 se producen algunas innovaciones en la normativa europea, vinculadas estrictamente a una mejor definición de la carga térmica, las que rompen la relación entre las pruebas en el horno y el incendio real y, por lo tanto, cambian los conceptos y el escenario de esta situación.

### 6.6.4 Norma SFPE-04

En los Estados Unidos, como consecuencia de los acontecimientos derivados del colapso de las torres del WTC y de un sector del edificio del Pentágono, en septiembre del año 2001, se origina un nuevo precedente el cual confirma que las metodologías comúnmente

aplicadas no son eficientes, promoviendo una revisión importante de los métodos y normas de diseño existentes contra incendios a esa fecha. Para ello se crea una comisión especial, formada por varios expertos de relevancia internacional y dirigida por el profesor James Quintiere de la Universidad de Maryland, que se establece en la Safety Fire Protection Engineering (USA) y que en el mes de agosto del 2004 publica la norma SFPE-04, que, a través de una nueva metodología, define la carga térmica generada por un incendio y la vincula con el comportamiento estructural.

En síntesis, los aspectos o temas que abarca esta norma son los siguientes:

- Cuando un incendio está generalizado.

- Cargas térmicas generadas por impacto del incendio a través del humo.
- Predicciones vs. Experimentos.
- Examen a los métodos teóricos y,
- Análisis de las equivalencias.

El esquema típico de un incendio generalizado y las cargas térmicas generadas a través del humo, se representa en las Figuras 6.6.4.1 y 6.6.4.2, donde el incendio generalizado en espacios no completamente confinados admite una temperatura uniforme, la que se comporta como una función del factor de ventilación:

$$\frac{A}{A_0 H_0^{1/2}}$$

Donde:

A = Área de la habitación

A<sub>0</sub> = Área de ventilación (por ejemplo, puerta, ventana o salida)

H<sub>0</sub> = Altura del vano de ventilación

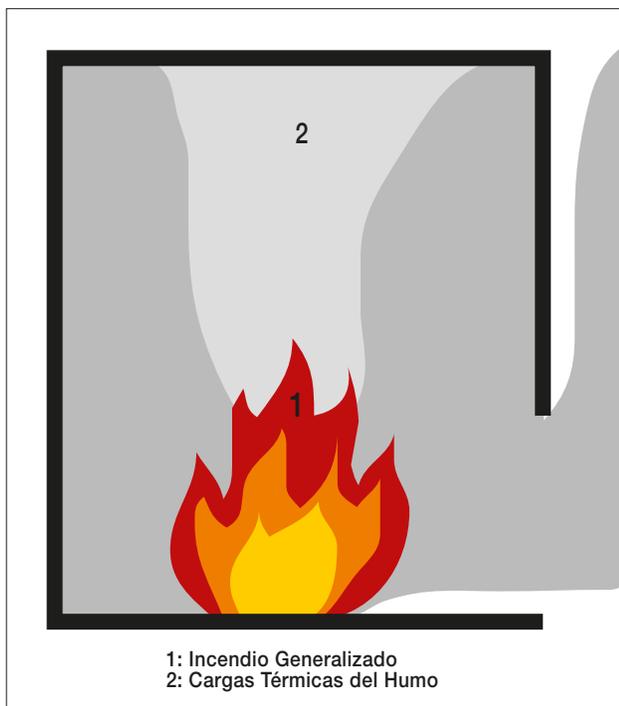


Figura 6.6.4.1: Esquema de Incendio Generalizado y Cargas Térmicas del Humo.

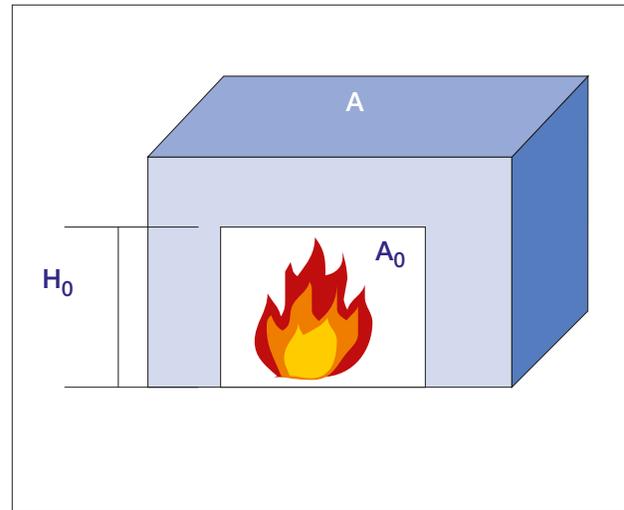


Figura 6.6.4.2: Esquema de Incendio Generalizado y Ventilación.

Para el caso de compartimentos profundos o relativamente confinados, como las cajas escala, túneles y pasillos, la norma SFPE-04 reconoce que las temperaturas no tienen un comportamiento similar, no son necesariamente homogéneas y que en ciertas zonas las llamas llegan a tocar directamente los muros o cielos, lo que crea un elemento nuevo que es necesario establecer directamente de datos empíricos, los flujos de calor que entrega la llama, que para todos los casos tiene un valor aproximado de 100 kw/m<sup>2</sup> que podría variar según el radio de expansión de la misma, cuya representación general se entrega en los esquemas de las Figuras 6.6.4.3 y 6.6.4.4.

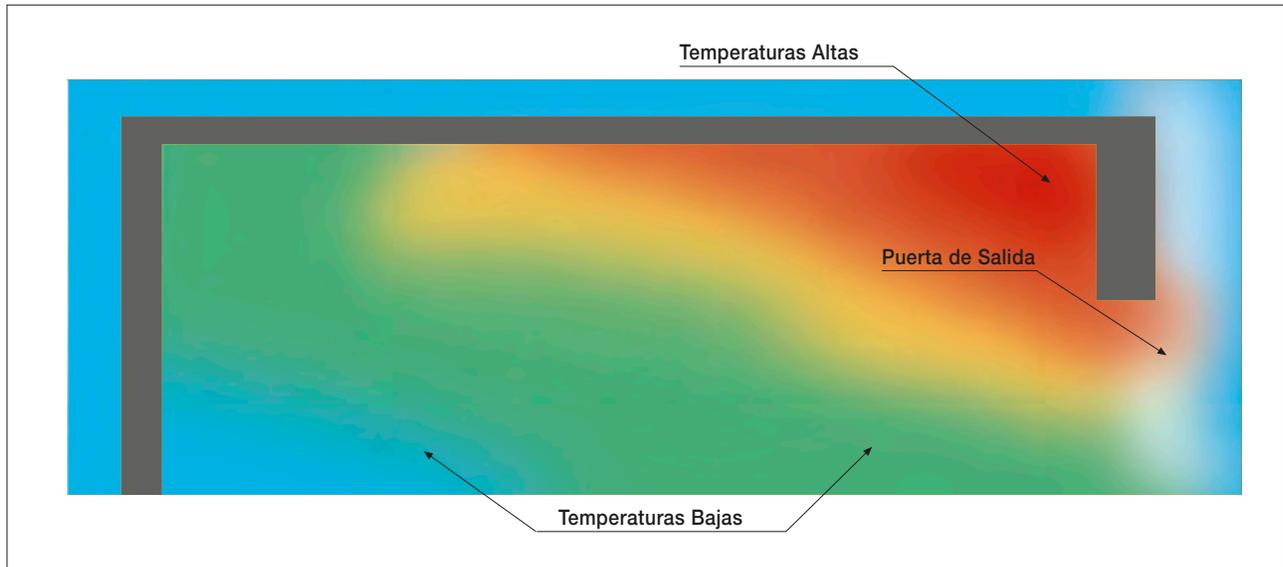


Figura 6.6.4.3: Comportamiento de las Temperaturas en Espacios Confinados.

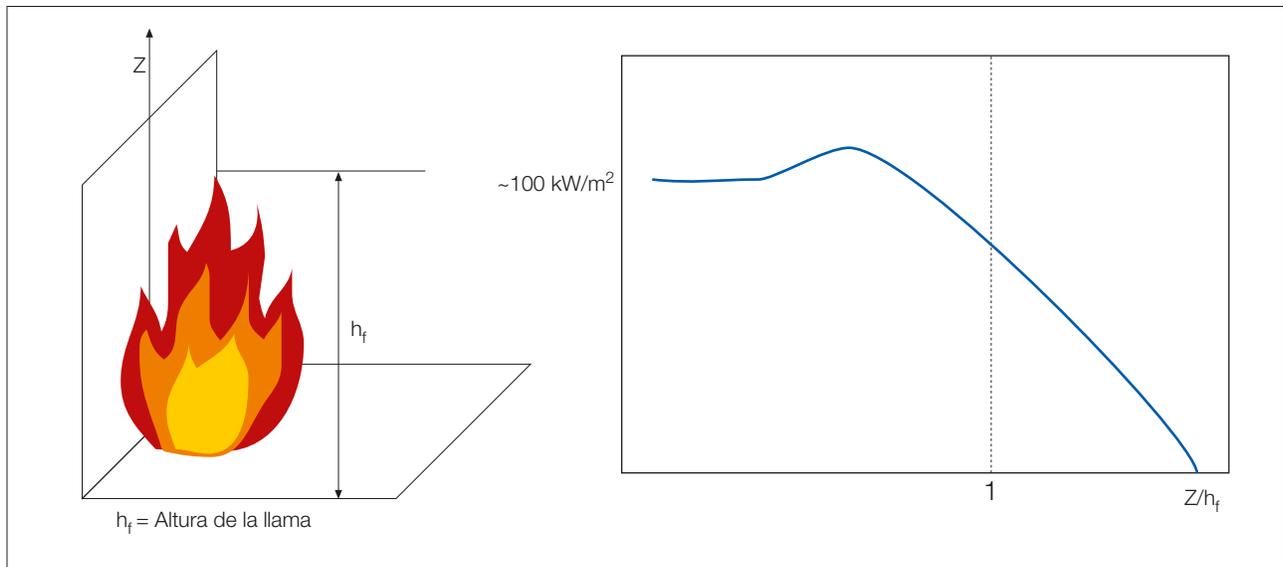


Figura 6.6.4.4: Ejemplo de un Flujo de Calor de la Llama.

La norma SFPE-04 incluye una serie de datos empíricos que sirven para validar sus proposiciones, compara sus resultados con los de otras metodologías y es a la vez lo suficientemente crítica del método de las equivalencias. La norma está constituida de cinco factores o componentes diferentes, cada uno de ellos con sus respectivas variables que permiten su validación y cuya interpretación general de sus comportamientos se presenta en la Figura 6.6.4.5 siguiente.

a) **Convección del humo:** Tamaño del incendio y sus velocidades, temperatura, tipología y geometría de la

estructura, etc.

b) **Radiación del humo:** Tamaño del incendio y sus concentraciones de hollín, temperatura, espesor de la capa de humo, tiempo, etc.

c) **Radiación de la llama:** Ventilación y combustible, con sus respectivas temperaturas y producción de hollín y geometría de la llama, etc.

d) **Radiación de superficies:** Emisión de temperatura, Tamaño del incendio y sus velocidades, etc.

e) **Re-radiación:** Repetición o efecto eco de las variables.

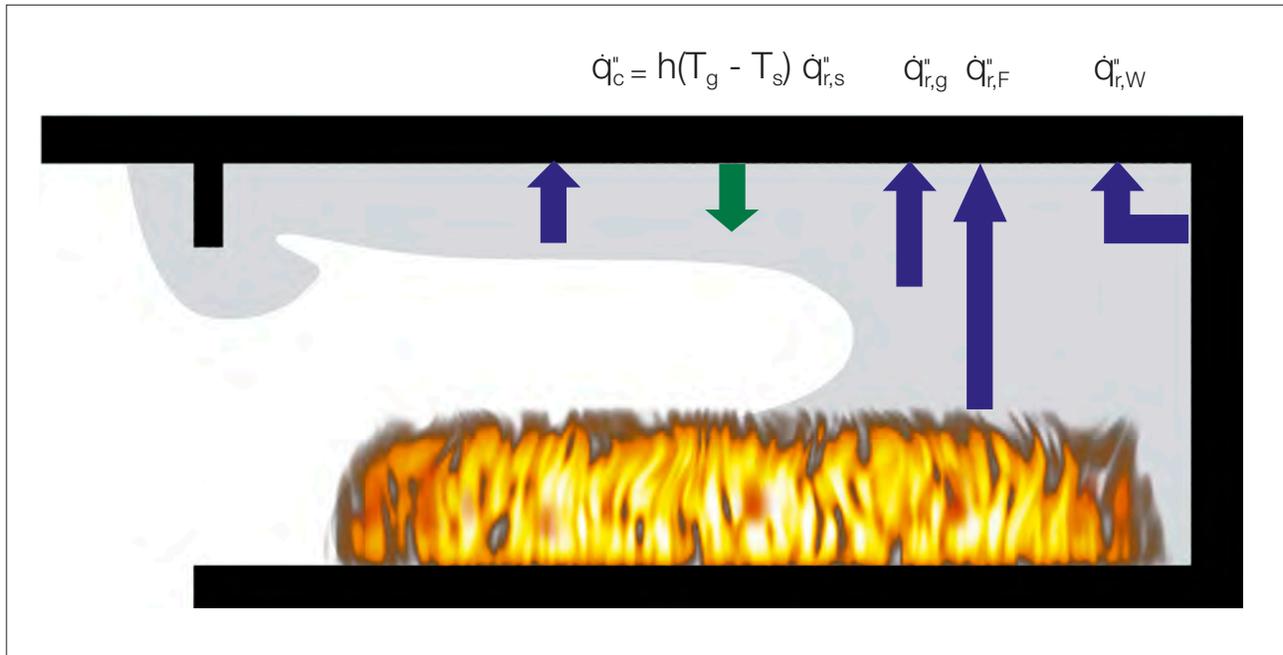


Figura 6.6.4.5: Esquema de los Elementos que constituyen la norma SFPE-04.

#### Ventajas y Desventajas de la norma SFPE-04

##### a) Ventajas

- Es un excelente compendio de información.
- Tiene una base importante de conceptos y estudios que la sustentan.
- Su metodología está bien establecida.
- En incendios generalizados se correlaciona con las curvas C.I.B. (Francia) y MQH (USA)
- Es objetiva y crítica a la vez, respecto a los métodos clásicos o tradicionales.

##### b) Desventajas

- No presenta una metodología bien definida.
- Su uso y aplicación requiere capacitación adecuada.
- Mantiene la confusión entre temperaturas y flujos de calor.

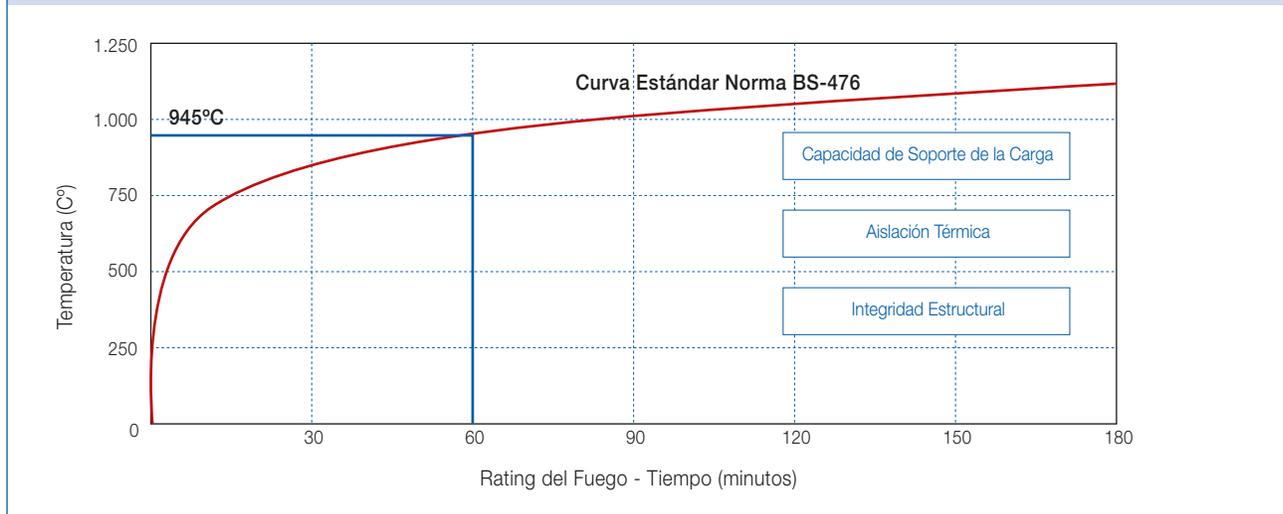
- No permite una evaluación por caso, como si lo hace una evaluación en base a desempeño.
- Se ve restringida en reducir la incertidumbre.
- A pesar de existir las herramientas computacionales necesarias, para modelar los elementos se necesita efectuar cálculos relativamente complejos.

#### 6.6.5 Propiedades del Hormigón Armado a Temperaturas Elevadas

Las propiedades que debe cumplir el hormigón armado, para asegurar una resistencia apropiada de la estructura contra los efectos del fuego producto de un incendio, de acuerdo con una aproximación referida a la curva estándar para un rating de 60 minutos, son fundamentalmente tres y se muestran en el Gráfico 6.6.5.1.

**Gráfico 6.6.5.1**

**Propiedades del Hormigón contra los efectos de un incendio**



**6.6.5.1 Capacidad de Resistencia o Soporte**

Respecto a la capacidad de resistencia de la estructura para soportar cargas durante un incendio, es importante destacar que entre los factores más relevantes se pueden mencionar los siguientes:

- La esbeltez del elemento de hormigón y la posición que tengan las armaduras de refuerzo embebidas.
- El nivel de temperatura y rating de fuego.
- La calidad y características de los materiales componentes del hormigón armado (concreto y acero).

**a) Esbeltez del elemento y posición de las armaduras**

En relación a la esbeltez del elemento y la posición de las armaduras, es preciso recordar que debido a que el hormigón es un material que no arde, no contribuye a aumentar la carga de fuego y tiene un bajo coeficiente de conductividad térmica (cantidad de calor por unidad de tiempo que pasa a través de una unidad de área por unidad de temperatura) promedio de 1,1 kcal/m<sup>2</sup>/m/°C la que varía según la calidad del concreto, donde la temperatura tiene un comportamiento de reducción hacia el centro del elemento de hormigón, tal como se ilustra en el Gráfico 6.6.5.1.1 y la Figura 6.6.5.1.1.

Gráfico 6.6.5.1.1

Variación de la Conductividad del Hormigón a Diferentes Temperaturas

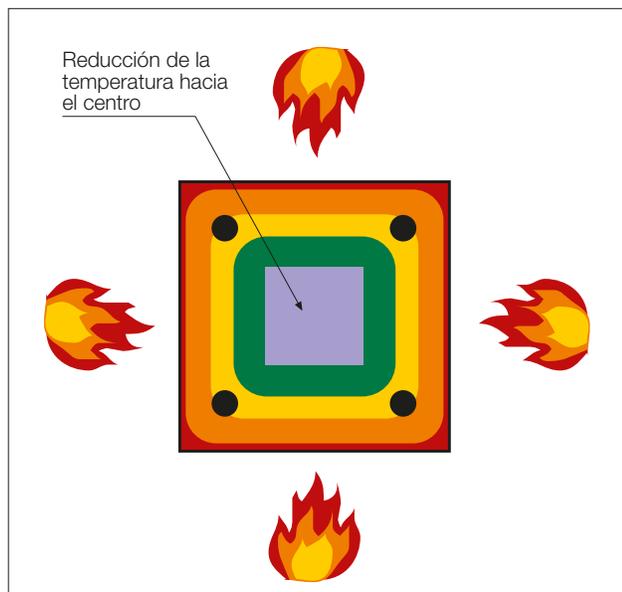
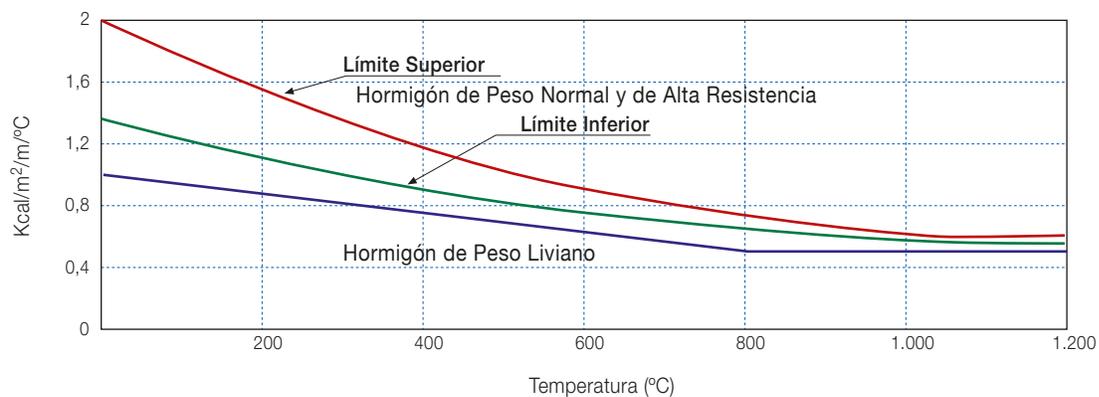


Figura 6.6.5.1.1: Ejemplo de la Temperatura del Hormigón en una viga.

b) Temperatura y rating del fuego

Las temperaturas y el rating del fuego sobre el hormigón es un proceso físico-químico que produce básicamente los efectos que se muestran en la Tabla 6.6.5.1.1 y Gráficos 6.6.5.1.2 al 6.6.5.1.5.

**Tabla 6.6.5.1.1**

**Efectos de la temperatura sobre el Hormigón Armado**

Temperatura (°C)	Descripción General
900-1000	La resistencia relativa a la compresión se reduce a los valores entre el 10% y 0% de la resistencia especificada o los elementos presenta deformaciones entre 3% y 4%, incluso se puede llegar al colapso. Gran pérdida de hormigón por degradación, quedando las armaduras expuestas.
800	La resistencia relativa a la compresión se reduce hasta el 20%. Se producen deformaciones de los elementos del orden de 2,5%
700	A esta temperatura el hormigón ha reducido su capacidad de resistencia de diseño hasta la mitad.
600	Sobre esta temperatura el hormigón no funciona a su capacidad completa de soporte y por lo tanto su resistencia ha disminuído significativamente (del orden de 40%).
550-600	El recubrimiento de hormigón ha perdido su propiedad de protección de las armaduras, el acero de refuerzo entra en fluencia, se pierde gran cantidad de de humedad residual interna y hay estallido del recubrimiento.
400	Limite máximo aceptable para el acero de refuerzo.
300	Se inicia la pérdida de resistencia, pero en realidad solo los primeros y pocos centímetros de espesor de hormigón expuestos al fuego pueden estar mas calientes. Internamente la temperatura se mantiene relativamente baja.
250-420	Pueden ocurrir algunos descascaramientos (spalling) del hormigón en algunas zonas. Aparecen algunas grietas y fisuras en la superficie.

**Gráfico 6.6.5.1.2**

**Ejemplo de Valores Básicos para las Propiedades de Diseño**

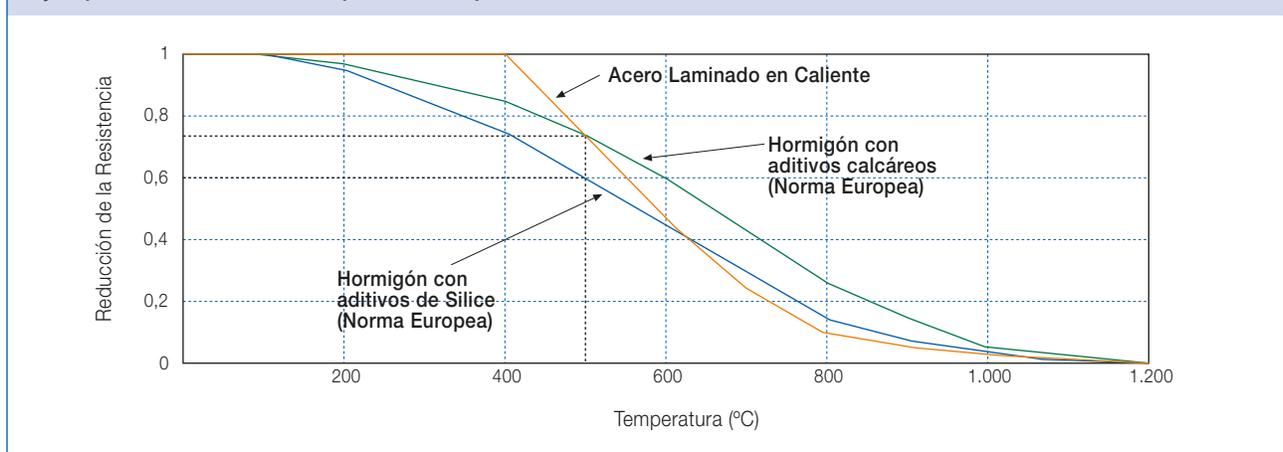


Gráfico 6.6.5.1.3

Resistencia Relativa a la Compresión vs. Deformación

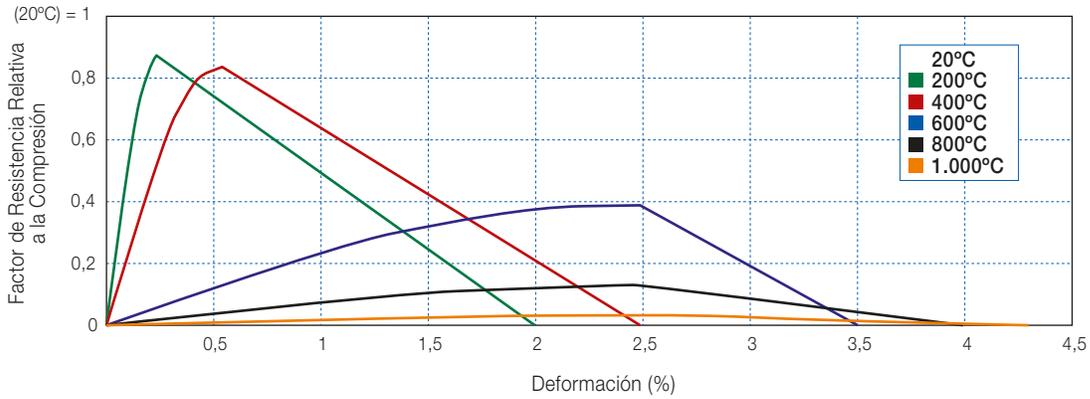


Gráfico 6.6.5.1.4

Temperatura, Rating del Fuego y Capacidad de Resistencia de una Viga

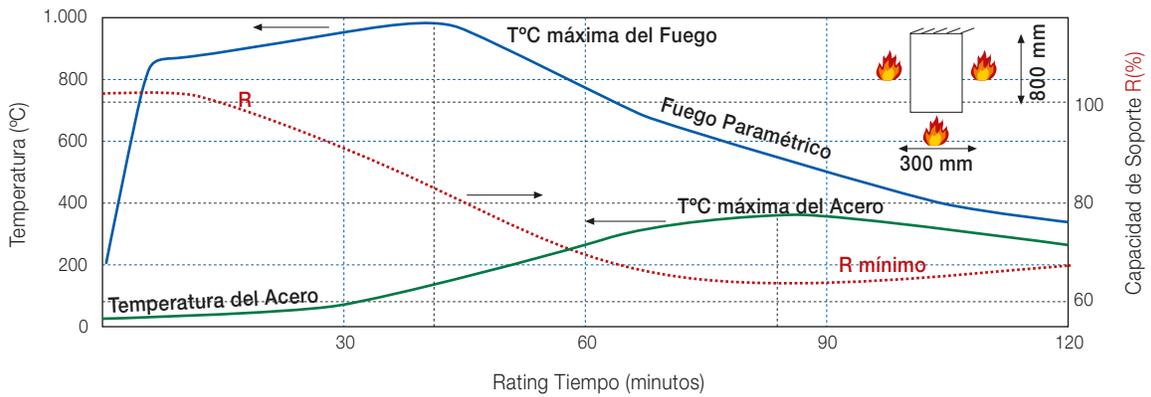
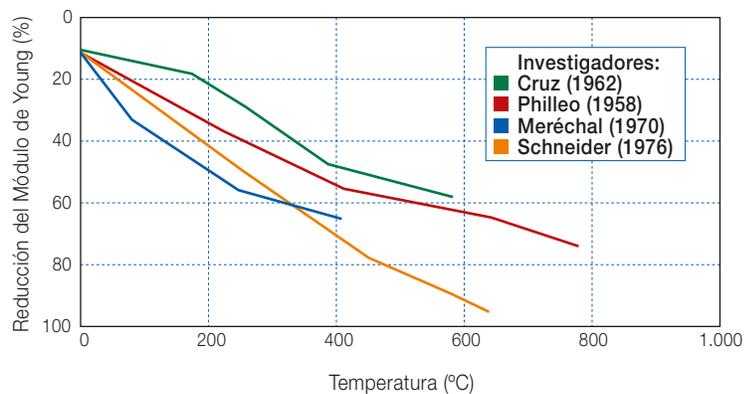


Gráfico 6.6.5.1.5

Reducción del Módulo de Young vs. la Temperatura del Hormigón



c) Calidad y características de los materiales

La calidad y características del concreto y del acero de refuerzo de las armaduras son factores determinantes e inciden fuertemente sobre las propiedades mecánicas del hormigón.

En primer lugar, debido a los cambios físico-químicos que se producen en la pasta de cementación y en los agregados y a la incompatibilidad térmica que existe entre ellos, es de vital importancia considerar la compacidad y trabajabilidad del hormigón, la dependencia de sus tipos y la mezcla de

agregados que contenga.

Por otra parte, el deterioro en las propiedades mecánicas del concreto y acero de refuerzo está influenciado fuertemente por el nivel de temperatura que alcanza el incendio, el rating de fuego, las cargas aplicadas y la pérdida de cualquier sello superficial contra la humedad.

Para mayor comprensión, en los Gráficos 6.6.5.1.6 al 6.6.5.1.10 se presentan algunos ejemplos que explican los conceptos expuestos anteriormente.

Gráfico 6.6.5.1.6

Ejemplos de Resistencias a la Compresión para diferentes tipos de Agregados

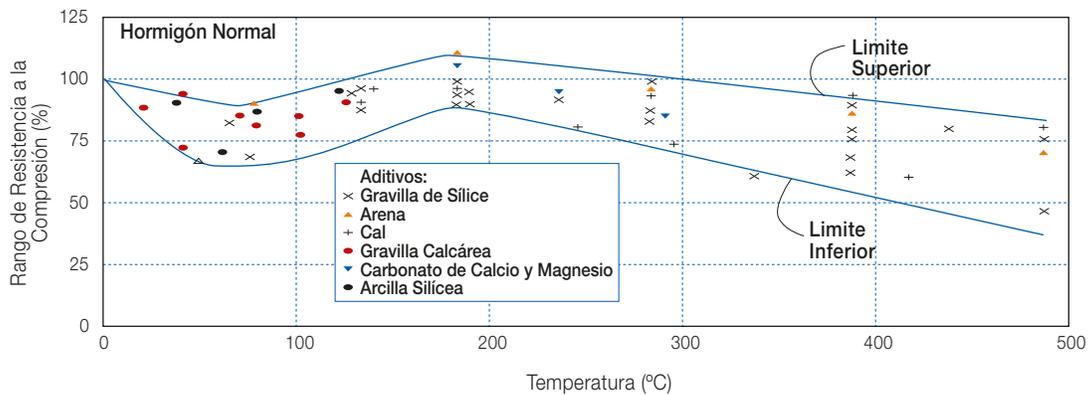


Gráfico 6.6.5.1.7

Ejemplo de Resistencias a la Flexión para diferentes tipos de Agregados

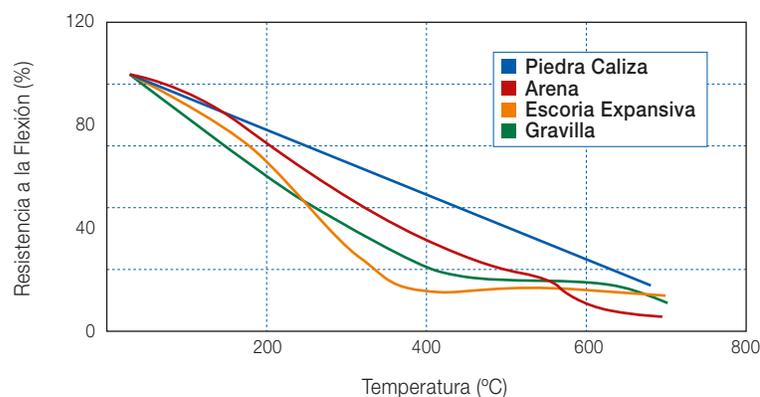


Gráfico 6.6.5.1.8

Ejemplos de Expansiones Térmicas de diferentes tipos de Agregados

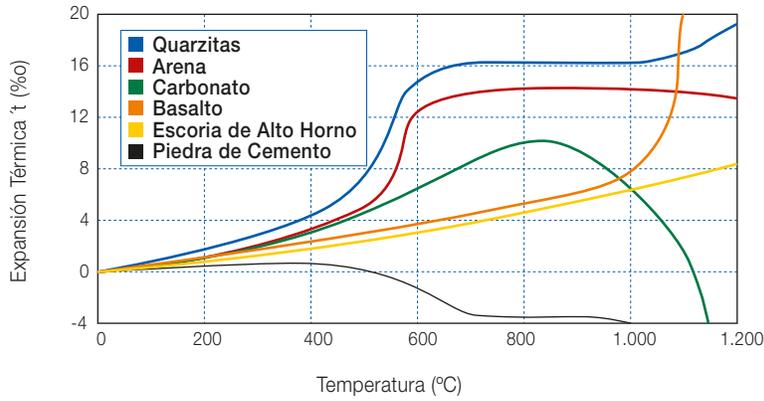


Gráfico 6.6.5.1.9

Factor de Reducción de la Resistencia para diferentes tipos de Acero de Refuerzo

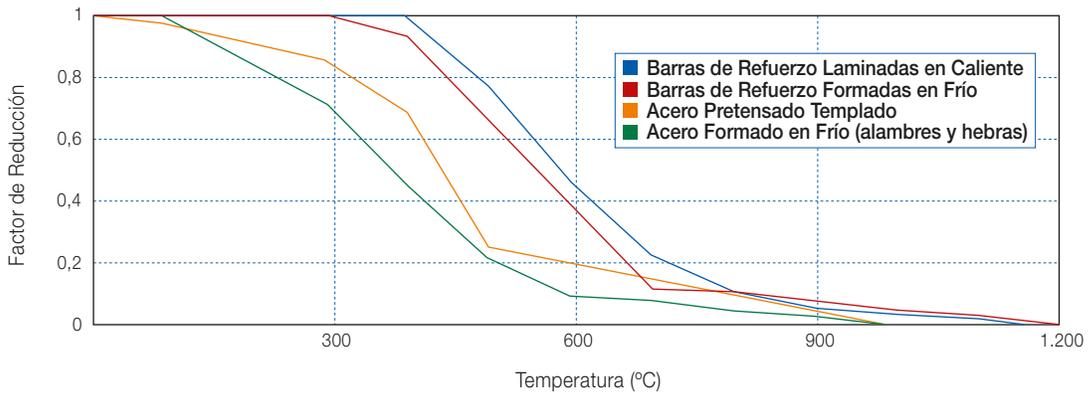
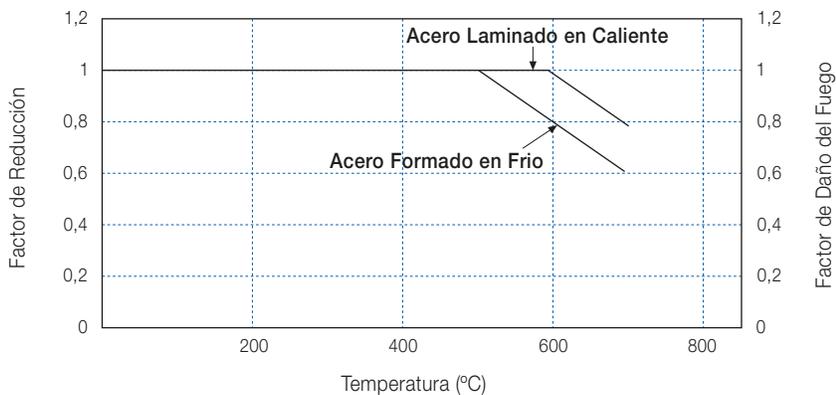


Gráfico 6.6.5.1.10

Factores de Daño del Fuego para el Acero de Refuerzo



### 6.6.5.2 Aislamiento Térmico y Recubrimiento

#### a) Objetivo y requisitos

Para el caso de un incendio, el recubrimiento de hormigón tiene como objetivo proteger las armaduras contra los efectos de las altas temperaturas generadas por el fuego, durante el mayor tiempo posible. Su espesor mínimo será determinado de acuerdo con el rating de fuego establecido por las normas o reglamentos vigentes, como también a partir de lo que digan los planos y especificaciones del proyecto estructural.

El criterio para su espesor será siempre definido como la

distancia medida desde la superficie de la cara externa del elemento hasta alguna de las alternativas que se indican en la Figura 6.6.5.2.1, aunque en la práctica lo más usual y corriente es considerar el espesor como la distancia hasta los estribos, dada la compatibilidad con las exigencias estipuladas para el caso de las armaduras expuestas a los agentes agresivos del medio ambiente, señaladas en la sección 6.5 de este Manual. No obstante, por otro lado, parece ser más práctico y recomendable efectuar la medición al eje de las barras longitudinales y principales, ya que esto permite trabajar en forma independiente del diámetro que tengan éstas.

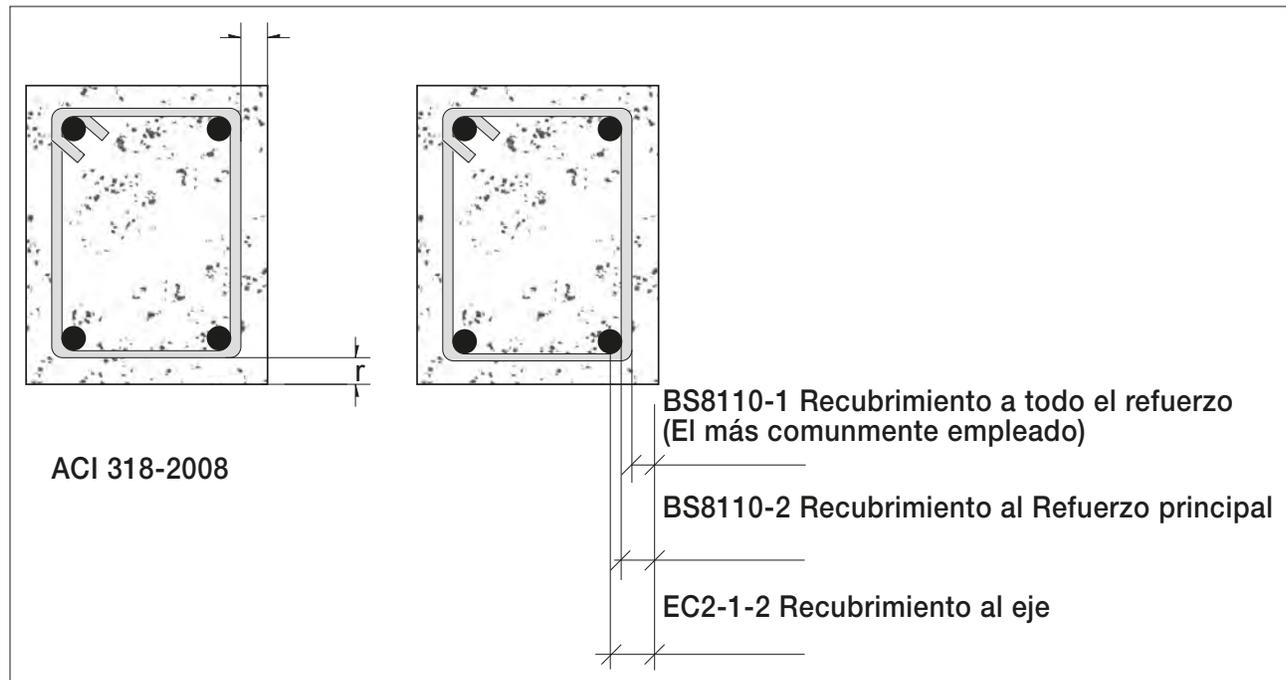


Figura 6.6.5.2.1: Definición del espesor de recubrimiento.

Los requisitos y efectos del aislamiento para separar los elementos entre sí contra la propagación del fuego, como por ejemplo muros y losas, se presentan en el ejemplo de una losa de hormigón en la Figura 6.6.5.2.2, donde se puede apreciar que la losa es calentada a través del recubrimiento

hasta cierto límite de temperatura aceptable, mientras su núcleo y cara no expuesta al fuego permanecen a baja temperatura, lo que permite que el factor de daño del hormigón y del acero de refuerzo en esas zonas sea insignificante o nulo.

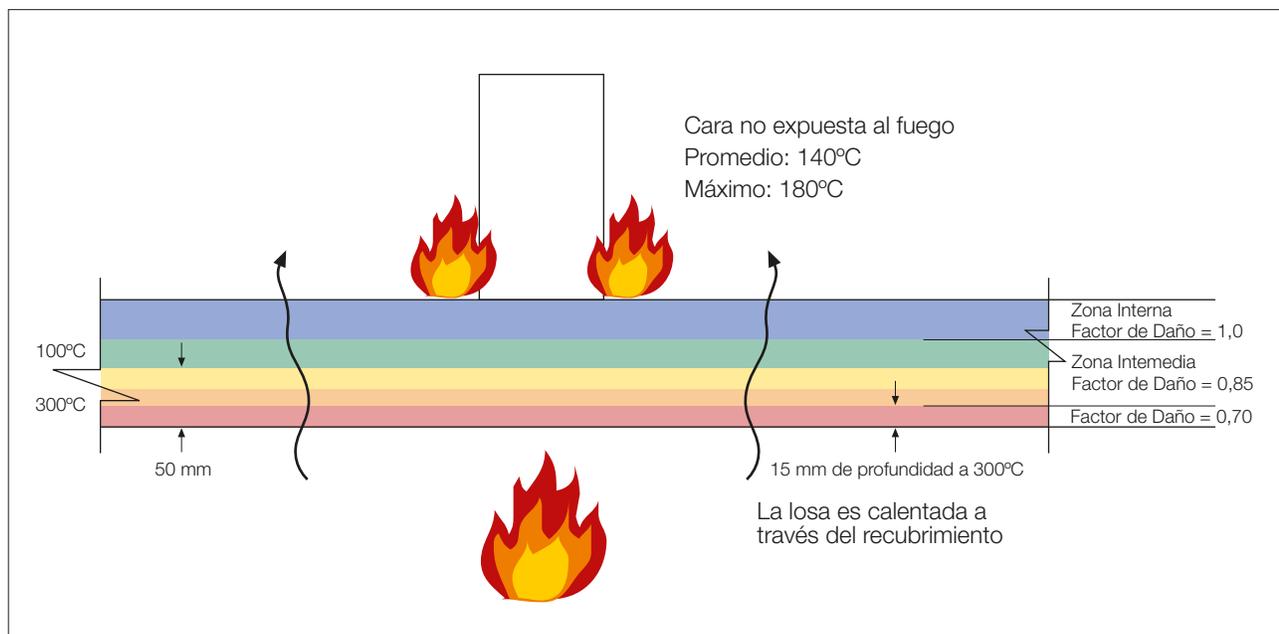


Figura 6.6.5.2.2: Definición del espesor de recubrimiento.

**b) Resistencia al fuego o rating**

En las Tablas 6.6.5.2.1 y 6.6.5.2.2 se presentan los períodos de resistencia al fuego dispuestos en minutos por el documento europeo aprobado B2000, establecido en función del uso y altura de edificios, y aquellos

requeridos en Chile por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, de acuerdo a la tipología del edificio, en base a los elementos de construcción que se indican y en conformidad a la norma oficial chilena NCh935/1.Of84.

**Tabla 6.6.5.2.1**

**Períodos de Resistencia al Fuego B2000 (en minutos)**

Uso del Edificio	Altura del Edificio (m)			
	< 5	≥ 5 < 18	≥ 18 < 30	≥ 30
Residencial	30	60	90	120
Oficinas	30	60	90	120
Locales y Centros Comerciales	60	60	90	
Industrias y Bodegas	60	90	120	
Estacionamientos	15	15	15	15

Las resistencias al fuego que se muestran en esta tabla, significan que los elementos del edificio sobrevivirán los minutos indicados en una prueba estándar.

Tabla 6.6.5.2.2

Períodos de Resistencia al Fuego de acuerdo a la norma NCh935/1 Of.84 (en minutos)

Elementos de Construcción	Tipo de Edificio			
	A	B	C	D
Muros cortafuego	F180	F150	F120	F120
Muros caja escala y zona vertical de seguridad	F120	F120	F90	F60
Muros divisorios y caja de ascensores	F120	F90	F60	F60
Estructura resistente (elementos verticales y horizontales)	F120	F90	F60	F30
Tabiques separadores y muros no soportantes	F30	F15		
Escalas	F60	F30	F15	
Techumbre incluido cielo raso	F60	F60	F30	F15

De acuerdo al artículo 4.3.4 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, para aplicar lo dispuesto en la tabla anterior deberá considerarse, además del destino y número de pisos, la superficie edificada o el máximo de ocupantes o la carga de fuego, según corresponda.

De acuerdo con el artículo 4.3.4 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, para aplicar lo dispuesto en esta Tabla deberá considerarse, además del destino y número de pisos, la superficie edificada o el máximo de ocupantes o la carga de fuego, según corresponda.

Los rating de resistencia al fuego, son:

F15 : 15 a 29 minutos de resistencia al fuego.

F30 : 30 a 59

F60 : 60 a 89

F90 : 90 a 119

F120 : 120 a 149

F150 : 150 a 179

F180 : 180 a 239

F240 : Mayor a 240 minutos de resistencia al fuego.

Los elementos o materiales menores a 15 minutos se clasifican como no resistentes al fuego.

Las definiciones para el tipo de edificio y la simbología establecida por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción en Chile, son las siguientes:

**Tipo A:** Construcciones con estructuras soportantes de acero (vigas y columnas) y losas de hormigón armado.

**Tipo B:** Construcciones con estructuras resistentes de hormigón armado en sus vigas, columnas, muros y losas.

**Tipo C:** Construcciones con muros soportantes de 20 centímetros de espesor mínimo en obra gruesa, en albañilería de ladrillos entre cadenas y columnas de hormigón armado. Este tipo sólo podrá emplearse en construcciones hasta el cuarto piso.

**Tipo D:** Construcciones con muros soportantes de 15 centímetros de espesor mínimo en obra gruesa, en albañilería de ladrillos, de piedra o bloques entre cadenas y columnas de hormigón armado. Este tipo de edificios no podrá tener más de dos pisos y la altura libre de cada piso no podrá exceder de 2,60 m.

Como complemento a lo anterior, en los Gráficos 6.6.5.2.1 y 6.6.5.2.2 se muestra la relación entre las diferentes distancias desde la superficie del hormigón y la temperatura alcanzada en esa zona, en función del tiempo de exposición al fuego expresado en horas, para el caso de una columna con todas las superficies expuestas al fuego y para el caso de una losa.

Gráfico 6.6.5.2.1

Distancia desde la superficie, temperatura del fuego y tiempo de exposición de una losa

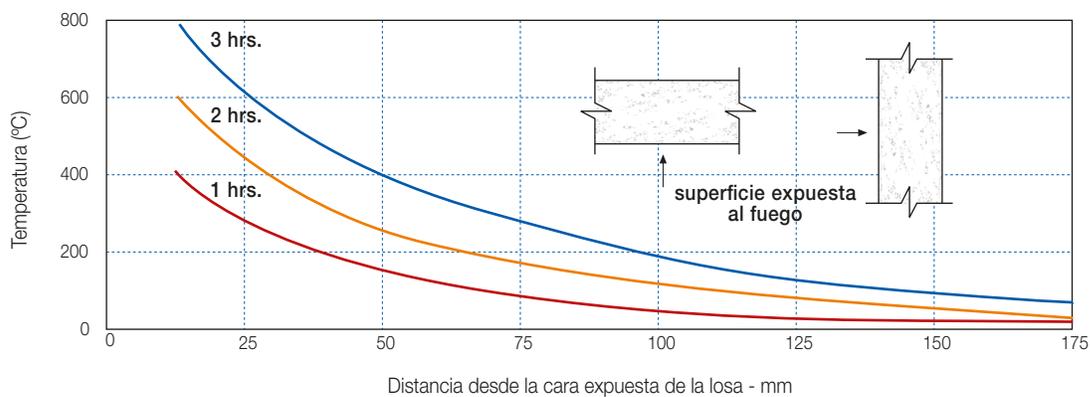
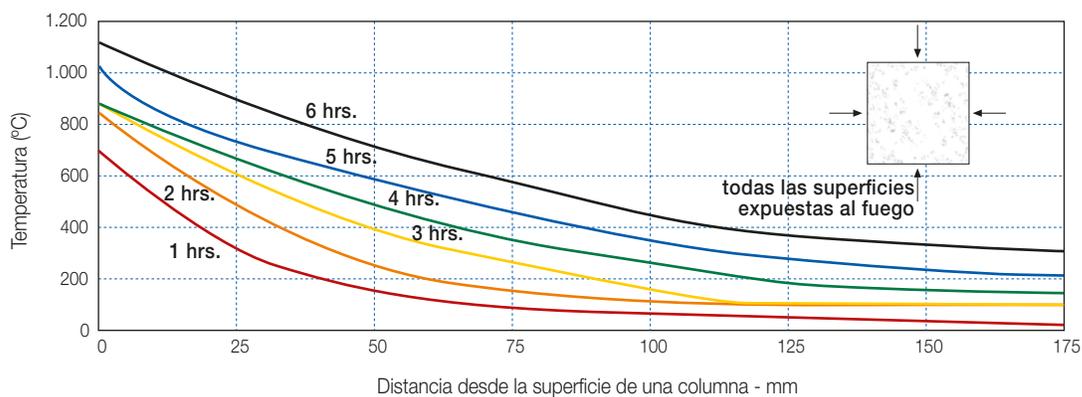


Gráfico 6.6.5.2.2

Distancia desde la superficie, temperatura del fuego y tiempo de exposición de una columna



c) **Espesor del recubrimiento**

En la Tabla 6.6.5.2.3 siguiente se presentan los valores mínimos de recubrimiento de hormigón recomendados por la norma británica BS8110-1-97 como protección requerida para todas las barras de refuerzo, (incluidos los estribos), para cumplir con los períodos específicos de resistencia al

fuego que se indican.

El espesor del recubrimiento ha sido definido a partir de la distancia medida desde la superficie de la cara del elemento expuesto al fuego, hasta el borde de la armadura más próxima a ella.

**Tabla 6.6.5.2.3**

**Espesores de Recubrimientos como Protección contra el Fuego (BS8110-1-97)**

Resistencia al Fuego (minutos)	Recubrimiento Mínimo Nominal (mm)						
	Vigas		Losas		Viguetas de Piso		Columnas
	Simplemente Apoyadas	Continuas	Simplemente Apoyadas	Continuas	Simplemente Apoyadas	Continuas	
30	20	20	20	20	20	20	20
60	20	20	20	20	20	20	20
90	20	20	25	20	35	20	20
120	40	30	35	25	45	35	25
180	60	40	45	35	55	45	25
240	70	50	55	45	65	55	25

Los valores que se presentan en azul y bajo las líneas horizontales, debe considerar descascaramiento (spalling)

Otro método para determinar el espesor del recubrimiento, es haciendo la medición al eje de las barras principales, que para el caso de las columnas lo relaciona y vincula con el ancho de la columna y con lo que se denomina el nivel de carga, que es una medida no dimensional, resultado del cociente entre la carga o momento aplicado en el estado límite del fuego y la resistencia del elemento a una temperatura de 20 °C.

Nivel de carga ( $\mu\phi$ ) =

$$\frac{\text{Carga o momento aplicado en el estado límite del fuego}}{\text{Resistencia a 20°C}}$$

Para el caso de losas, esto se hace considerando su espesor, si la armadura es en uno o en dos sentidos y la relación entre su ancho y largo. En las Tablas 6.6.5.2.4 y 6.6.5.2.5 se presentan los valores para ambos casos.

**Tabla 6.6.5.2.4**

**Espesores de Recubrimientos medidos al eje de las Armaduras de Columnas con secciones rectangulares y circulares**

Resistencia Estándar al Fuego (minutos)	Dimensión Mínima Nominal (mm)			
	Ancho mínimo de la columna / distancia al eje de las barras principales			
	Columna expuesta a más de dos caras			Columna expuesta a una cara
	$\mu\phi= 0,2$	$\mu\phi= 0,5$	$\mu\phi= 0,7$	$\mu\phi= 0,7$
R30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R60	200/25	200/36	250/45	155/25
R90	200/25	300/31	350/40	155/25
R120	200/31 300/25	300/45 400/38	300/45 450/45	175/35
R180	250/40 350/35	350/45 450/40	350/57 450/51	230/55
R240	350/45 400/61	350/63 450/75	450/70	295/70

Tabla 6.6.5.2.5

## Espesores de Recubrimientos medidos al eje de las Armaduras de Losas Simplemente Apoyadas

Resistencia Estándar al Fuego (minutos)	Dimensión Mínima (mm)			
	Espesor de la Losa <sub>LH</sub> mm	Armaduras en un sentido	Distancia al eje	
			Armaduras en dos sentidos	
			$l_y / l_x \leq 1,5$	$1,5 > l_y / l_x \leq 2$
R30	60	10	10	10
R60	80	20	10	15
R90	100	30	15	20
R120	120	40	20	25
R180	150	55	30	40
R240	175	65	40	50

**Importante:**

Se deberá considerar que, cuando las normas o los planos del proyecto estructural, especifiquen para los diferentes elementos un espesor de recubrimiento para protección contra el fuego mayor que el recubrimiento mínimo de hormigón de las Tablas 6.6.5.2.3 a la 6.6.5.2.5 precedentes, deben usarse esos espesores mayores, incluso si estos corresponden a los espesores de recubrimiento como

protección contra el ataque de los agresivos del medio ambiente presentados en la Sección 6.5 de este capítulo del Manual.

Finalmente, si a un mismo elemento le correspondieren dos o más resistencias al fuego, por cumplir diversas funciones a la vez, deberá siempre satisfacer la mayor de las exigencias.

## 6.7 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CAPÍTULO 6

- ACI 216R Guía para la Determinación de la Resistencia al Fuego en Elementos de Hormigón Armado: American Concrete Institute, 1989
- ACI 318 Código de Diseño de Hormigón Armado: American Concrete Institute, 2020
- Analysis of Structural Condition from Durability Results: Browne, Geoghegan & Baker, Ed. Crane, UK 1983
- Carbonation of Concrete and its Prediction: D.W.S Ho & R.K. Lewis, Cement and Concrete Research, Vol. 17, 1987
- Causas más Frecuentes en los Problemas Patológicos del Hormigón: Rodríguez Escribano y Carpintero García, Ed. Intemac, 2001
- Centre for Fire Research: The University of Edinburg, UK, 2004
- Corrosión de las Armaduras por Carbonatación del Hormigón: J.A. González, Carmen Andrade y M. Escudero, Revista Iberoamericana de Corrosión y Protección, Volumen 15 N°, 1984
- Corrosion of Steel in Concrete: K. Tuutti, Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1992
- Desing for Avoiding Damage due to Carbonation Induced Corrosion: I. Parrot CEN TC 104, Panel 1
- DS 60 - Decreto Supremo 60 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 13 de abril 2011
- Ejecución y Control de Estructuras de Hormigón: José Calavera y Otros, Editorial Intemac, 2002
- Fisiología: Ira N. Levine. Ed. McGraw-Hill, 4ta Edición
- Hormigón Armado: P. Jiménez Montoya, Editorial G. Gili
- Initiaton Period of Corrosion Steel in Concrete: Editorial Rilem Peport Schiessl, 1988
- Influencia de la Corrosión de las Armaduras en la Adherencia Acero-Hormigón: M. Teresa del Campo, Memoria de Título Universidad de Chile, 1986
- Life Time of Rebars in Carbonated Concrete: C. Alonso & C. Andrade, 10th European Corrosion Congress, Barcelona, 1993
- Listado Oficial de Comportamiento al Fuego: Ministerio de la Vivienda y Urbanismo
- Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructura de Hormigón Armado, Red Final Durar, CYDET, 1998
- Manual de Evaluación de Estructuras Afectadas por Corrosión de la Armadura: J. Rodríguez, J. Argoncillo, C. Andrade y D. Izquierdo, Contecvet IN309021, 2005
- Norma Chilena NCh3260 Of.2012: Acero - Acero galvanizado para hormigón armado - Requisitos. Instituto Nacional de Normalización (INN)
- Norma Chilena NCh170 Of.85: Hormigón – Requisitos. Instituto Nacional de Normalización (INN)
- Norma Chilena NCh204 Of.2020: Acero - Barras laminadas en caliente para hormigón armado. Instituto Nacional de Normalización (INN)
- Norma Chilena NCh3334:2014: Acero - Barras laminadas en caliente soldables para hormigón armado – Requisitos. Instituto Nacional de Normalización (INN)
- Norma Chilena NCh 935/1 Of.84: Prevención de Incendios en Edificios. Instituto Nacional de Normalización (INN)
- Operaciones de Transferencia de Masa. R. Treybal. Ed. McGraw-Hill, 2da Edición, 2000
- Resistencia al Fuego en Elementos de Hormigón: American Concrete Institute, ACI 315-95
- Revista Técnica Universidad de Zulia, Maracaibo, Venezuela, 2005
- Seminario Internacional Ingeniería de Protección contra Incendios: DICTUC S.A., Chile, 2004
- Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón: Adolfo Delibes Liniers, Ed. Intemac, 1986

# Anexos

- A.1 Inspección y Evaluación de las Armaduras
- A.2 Detalles Constructivos en Obras de Hormigón Armado
- A.3 Síntesis de Exigencias y Recomendaciones
- A.4 Glosario de Conceptos relativos a la Corrosión
- A.5 Conversión de Unidades
- A.6 Propiedades Geométricas de Secciones



## A.1 INSPECCION Y EVALUACION DE LAS ARMADURAS

### A.1.1 Introducción

Se debe tener presente que la calidad de las estructuras de hormigón armado depende en gran medida de lo eficiente que sea la mano de obra empleada en la construcción. Los mejores materiales y la mejor práctica de diseño carecen de efectividad, a menos que la construcción se haya realizado en forma correcta.

La inspección se realiza con el objeto de asegurar un trabajo satisfactorio, de acuerdo con los planos de diseño y las especificaciones correspondientes.

El comportamiento adecuado de la estructura depende de que la construcción represente correctamente al diseño y cumpla con los requisitos definidos por el calculista, dentro de las tolerancias permitidas.

En atención al interés público, las disposiciones locales de construcción deben requerir la inspección por parte del propietario.

Además, se debe considerar que como mínimo las construcciones de hormigón deben ser inspeccionadas según la ordenanza general de construcción legalmente adoptada. En ausencia de tal ordenanza, las construcciones de hormigón deben ser inspeccionadas durante todas las etapas de la obra por un ingeniero, arquitecto, constructor civil o por un representante competente ante él.

Por otra parte, debe contemplarse la posibilidad que la inspección de la construcción se lleve a cabo por o bajo la supervisión del ingeniero o arquitecto responsable del diseño, ya que la persona encargada del proyecto es la mejor calificada para comprobar que todo se haya realizado de acuerdo a lo dispuesto por el diseño.

Cuando las condiciones no permitan esto, el propietario puede proporcionar una adecuada inspección de la construcción a través de sus profesionales, o mediante organismos o personas independientes con demostrada capacidad para llevar a cabo la inspección.

Sin embargo, será responsabilidad del Jefe de Obra el poner especial atención a que las barras tengan las dimensiones, formas y ubicación indicadas en los planos en su versión de última revisión. Además, deberá verificar las amarras de las barras y estribos, la resistencia de las armaduras, las barras sometidas a tracción o compresión, y las barras de repartición, antes de autorizar el hormigonado.

Es recomendable que el Jefe de Obra tenga noción de las normas generales de hormigón armado, ya que esto le da un criterio general que le permite detectar errores de ejecución, e incluso eventualidades del proyecto, mediante la simple inspección o producto del conocimiento del diseño general de la obra.

Inmediatamente antes de colocar el hormigón, la posición de las armaduras debe ser rectificadas en relación con el moldaje, con el objeto que entre las barras y las superficies libres de los elementos de existan las distancias de recubrimiento señaladas en los planos, especificaciones y ordenanzas de construcción.

Finalmente, en la Sección A.1.4 de este anexo se incluye una descripción de los procedimientos, indicadores e índices para la inspección en obra y la evaluación de las estructuras dañadas por corrosión de sus armaduras.

### A.1.2 Defectos o Fallas y Práctica General

Los defectos o fallas más corrientes que con frecuencia se detectan y que deben evitarse en la ejecución de las armaduras se pueden resumir como sigue:

- Uso de barras sucias con polvo, grasa o aceites, que impiden la adherencia con el hormigón.
- Barras con costras sueltas y óxido excesivo, que disminuye el efecto de adherencia con el hormigón.
- En construcciones con clima muy frío, barras cubiertas con hielo.
- Cortar las barras aplicando algún método térmico.
- Calentar las barras sobre la temperatura máxima permitida y sin un control adecuado, para efectuar sus dobleces.
- Utilización de barras con dobleces que presentan grietas o fisuras, o barras que se quiebran, como consecuencia de no cumplir con los diámetros mínimos de doblado, sus medidas y tolerancias, establecidas por las normas vigentes. (Consultar Secciones 4.5 a la 4.8)
- Fabricación de estribos y barras de armaduras, ejecutadas a partir de rollos estirados en forma inadecuada para obtener barras rectas, y en especial no aptos para zonas sometidas a tracción.
- Longitud insuficiente de empotramiento de las barras ubicadas en las zonas en tracción y comprimidas.
- Escasa longitud de los empalmes por traslape e incorrecto espaciamiento entre ellos.
- Armaduras de columnas, losas y vigas de largo insuficiente, desvirtuándose el enlace natural que debe existir entre estos elementos.
- Desacomodo de las barras de las armaduras en los apoyos de losas y vigas continuas, producto de una mala interpretación de los detalles constructivos, como por ejemplo no respetar las separaciones entre barras.
- No considerar barras que deben tener dobleces o mala ubicación de ellas.
- Eliminación de refuerzos en las zonas de momentos negativos.
- Errores en el lado correcto en que deben ir colocadas las barras de repartición en losas voladas y muros de contención.
- Amarras débiles, insuficientes o inexistentes entre barras y en los estribos de los pilares, lo que permite que estos descendan durante el vaciado y vibrado del hormigón.
- Separación insuficiente entre las armaduras y el moldaje,

lo que impide un espesor de recubrimiento mínimo y adecuado como protección del acero.

- Dejar barras expuestas al medio ambiente y sin ningún tipo de recubrimiento de protección, en el caso que se vaya a efectuar alguna ampliación posterior.

Como práctica general, cabe mencionar que existen disposiciones en las normas oficiales chilenas que es conveniente que el Jefe de Obra tenga siempre presente. Por ejemplo, debe saber que las barras horizontales han de proveerse en sus extremos de ganchos y que en lo posible serán de una sola pieza, o en caso contrario no deberá haber más de un empalme en una misma sección transversal de una viga u otro elemento que trabaje a la tracción.

Las barras horizontales en el borde interior de un codo no se doblan siguiendo el ángulo interior, si no que deben pasar más allá del vértice de este ángulo y anclarse en la zona de compresión adyacente. Cuando no exista otra solución que doblar las barras en ángulos interiores, se contemplará en la parte cóncava un número y sección suficiente de estribos para impedir que la barra tienda a enderezarse.

Las barras de las vigas que resistan momentos positivos deben prolongarse más allá de los apoyos y hasta afuera de la zona de altas fatigas de tracción, o bien se doblarán de modo que sus extremos queden anclados en la zona de compresión.

Siguiendo las recomendaciones de la NCh204 Of.2020, se recomienda exigir al proveedor de acero de refuerzo para hormigón, la entrega oportuna del Certificado de Calidad con sus respectivos ensayos cada vez que realice un despacho.

Por último, cuando se trate de barras de acero de refuerzo para hormigón de origen o marca desconocida, se recomienda verificar que los datos consignados en el Certificado de Calidad, sean coincidentes con los datos impresos en las etiquetas de identificación de los paquetes o atados de barras despachados por el proveedor.

### A.1.3 Juntas de Hormigonado

Se define como junta de hormigonado, a la unión que se debe realizar durante el hormigonado para mantener la continuidad monolítica de dos secciones contiguas, cuando se ha producido una interrupción que supera el período plástico del hormigón. Por otra parte, se entiende por juntas del proyecto a las separaciones permanentes que se deben dejar deliberadamente entre secciones de una estructura, ya sea por dilatación, contracción, u otras causas.

Las juntas de hormigonado pueden ser determinadas o imprevistas, siendo las juntas determinadas aquellas fijadas según las exigencias del cálculo estructural, la estética y las condiciones de ejecución. Las juntas imprevistas son aquellas provocadas por eventuales e insubsanables desperfectos en equipos o maquinarias o por cambios no previsibles en el clima.

Las juntas de hormigonado son normalmente áreas débiles en las estructuras, son vulnerables a ataques químicos y filtraciones, que pueden dañar las armaduras de refuerzo, y sus resistencias son bastante inferiores a las de los hormigones sólidos, sobre todo ante la ocurrencia de un sismo en donde las estructuras son sometidas a esfuerzos de flexión y de corte, las que a diferencia de las solicitaciones de compresión, son las más desfavorables. Es por ello que estos hechos, unido a la circunstancia que Chile esté ubicado en una zona de alto riesgo sísmico, nos obligan a considerar la importancia y necesidad de tener un especial cuidado e inspección durante su ejecución. En la Figura A.1.3 se muestra la ubicación correcta que deben tener las juntas de trabajo y hormigonado para los elementos estructurales señalados. (Anexo H, norma chilena NCh170 Of.85).

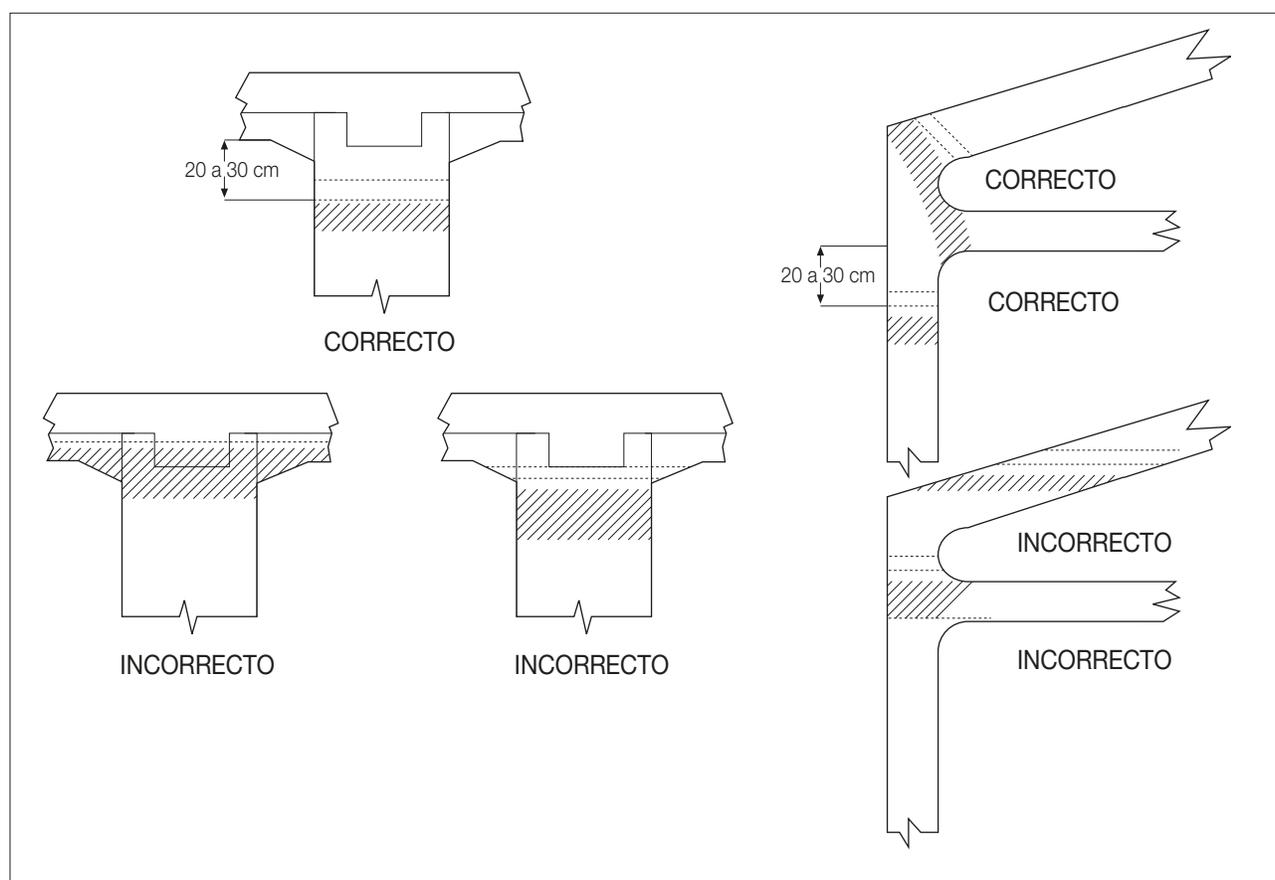


Figura A.1.1a: Ubicación de las Juntas de Hormigonado (NCh170.Of85)

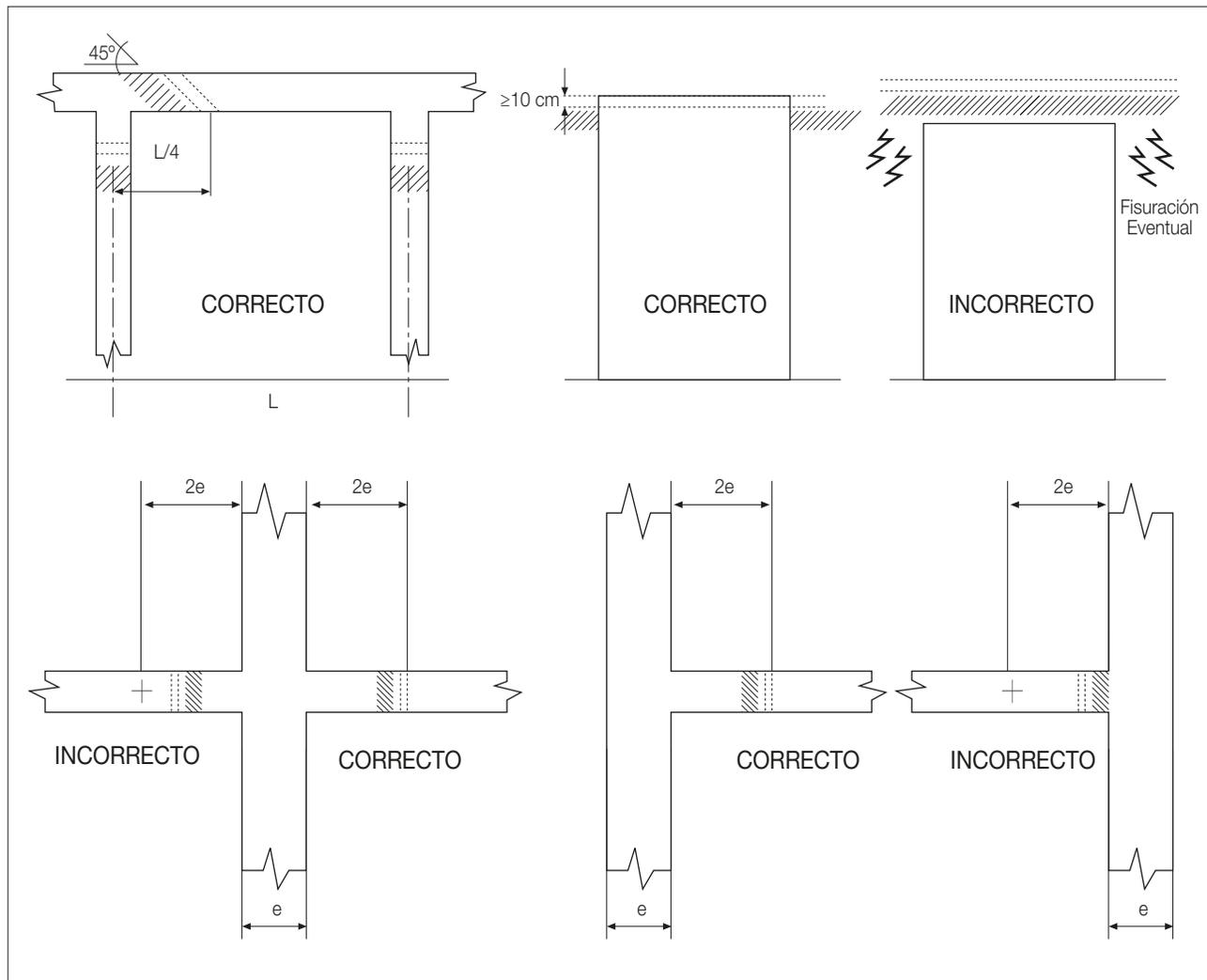


Figura A.1.1b: Ubicación de las Juntas de Hormigonado Losas y Vigas, Vanos de Muros y Cruces y Encuentros de Vigas

## A.1.4 Procedimientos de Evaluación para la Inspección

### A.1.4.1 Introducción

En los diagramas siguientes, se muestra un extracto de los procedimientos de inspección en obra, o pasos a seguir, con el propósito de evaluar los niveles de estructuras de hormigón armado afectadas por corrosión de sus armaduras, debido al ataque de agentes agresivos u otros factores.

Los procedimientos que se presentan han sido certificados por equipos multidisciplinarios de profesionales, con conocimientos de las ciencias de los materiales y corrosión así como también en el campo de la ingeniería estructural, a partir de diversos casos reales de estructuras deterioradas, inspeccionadas y evaluadas en algunos países latinoamericanos y de la comunidad europea.

La metodología de evaluación de estructuras se divide en dos tipos; Evaluación Simplificada y Evaluación Detallada, donde ambas pueden ser consideradas como complementarias a la vez que totalmente válidas por sí mismas. Cualquiera de las dos que se decida instaurar, debería contemplar los cinco criterios siguientes:

- Importancia y objetivo de la evaluación.
- Nivel de información o disponibilidad de datos.
- Cantidad de elementos estructurales a evaluar y extensión del daño.
- Interés del propietario de la estructura y razones económicas.
- Resultados de otras inspecciones anteriores.

El Método Simplificado se fundamenta en el hecho de establecer un nivel del estado actual de la estructura y en una proposición de los períodos de

intervención necesarios, o inspección posterior y su correspondiente evaluación, y está basado en la ponderación adecuada de diversos aspectos relativos no sólo a la tipología estructural, sino que además al proceso de la corrosión a través de un índice de corrosión (IC) y un índice estructural (IE).

Está diseñado especialmente para administraciones públicas o privadas, que posean un parque importante de estructuras, y para aquellos propietarios o comunidades de vecinos cuyo primer grado de prioridad sea establecer un nivel de intervención en función de recursos generalmente limitados, o para el caso de realizar una evaluación preliminar de estructuras singulares.

Aún cuando, la teoría empleada en el desarrollo de los índices de corrosión y estructural puede ser fácilmente asignada a obras públicas como puentes, diques, represas u otras obras, es necesario destacar que estos índices han sido graduados, por el momento, exclusivamente para edificaciones donde cada elemento posee una clara distinción estructural. En consecuencia, su aplicación a puentes o grandes estructuras, aunque posible, debe ser tomada con precaución y analizada en detalle por el equipo evaluador.

Por otra parte, el Método Detallado consiste en un peritaje riguroso de la estructura, elemento a elemento, teniendo en cuenta la corrosión de las armaduras en la sección mixta acero-hormigón, y sirve también para establecer la función de reducción de la capacidad portante con el tiempo, debido a la exposición de los agresivos.

La información requerida para determinar una curva representativa, es considerablemente mayor que la necesaria para el ordenamiento de elementos estructurales en diferentes rangos, y para ello se ha

comenzado a partir de una amplia experimentación con elementos corroídos que ha permitido establecer las expresiones para el cálculo que aparecen en las Secciones 6.2 a la 6.4 del Capítulo 6 del presente Manual. En consecuencia, este método tiene como base fundamental el conocimiento de la reducción de las secciones de acero de refuerzo y del hormigón, así como la determinación de la velocidad de corrosión representativa, que contribuye a la posibilidad de predecir su evolución futura.

#### A.1.4.2 Método Simplificado

Tres son las labores que hay que realizar al utilizar esta metodología de evaluación, están secuenciadas en el tiempo y corresponden, en primer lugar a una inspección suficientemente detallada de la estructura que permita la obtención de los parámetros necesarios para la evaluación posterior, y en segundo lugar la fase de evaluación que incluye la etapa de pronosis y la clasificación del nivel de daño con el tiempo.

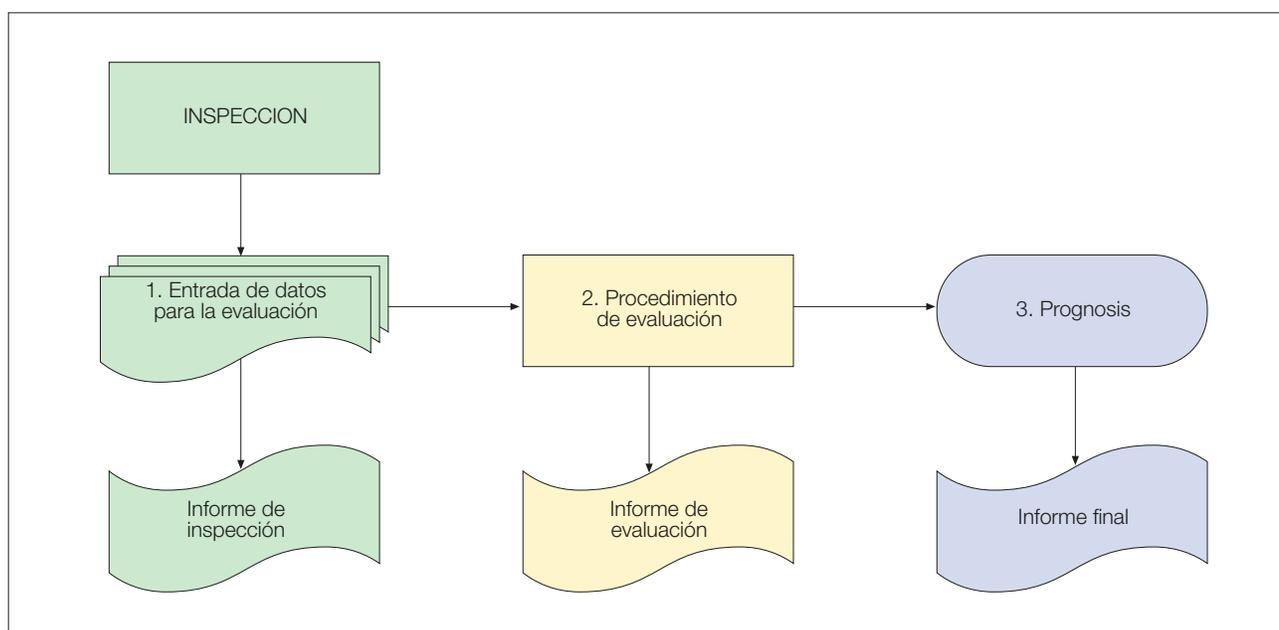


Figura A.1.2: Esquema Resumido de las Etapas de Inspección

El principal propósito que tiene la fase de inspección, es establecer el origen del daño estructural y la recopilación de los datos necesarios para el desarrollo de la metodología simplificada que se propone, en donde el primer paso es identificar el mecanismo de deterioro que está sufriendo la estructura. Para el caso propuesto en este Anexo, nos limitaremos exclusivamente al deterioro causado por la corrosión de las armaduras embebidas en el hormigón y a la evaluación de sus efectos en los distintos elementos en la estructura.

El procedimiento de evaluación se basa esencialmente en identificar la agresividad ambiental y el nivel de daños actuales mediante el uso de dos índices; el índice de corrosión IC, que trata de representar los daños actuales y futuros, y el índice estructural IE que es un indicador de la sensibilidad del elemento estructural a la corrosión de las armaduras. Ambos factores son componentes que hay que tener en cuenta en la evaluación de un tercer índice, denominado Índice de Daño Estructural IDE, el cual proporciona un resumen del estado actual y futuro de la estructura.

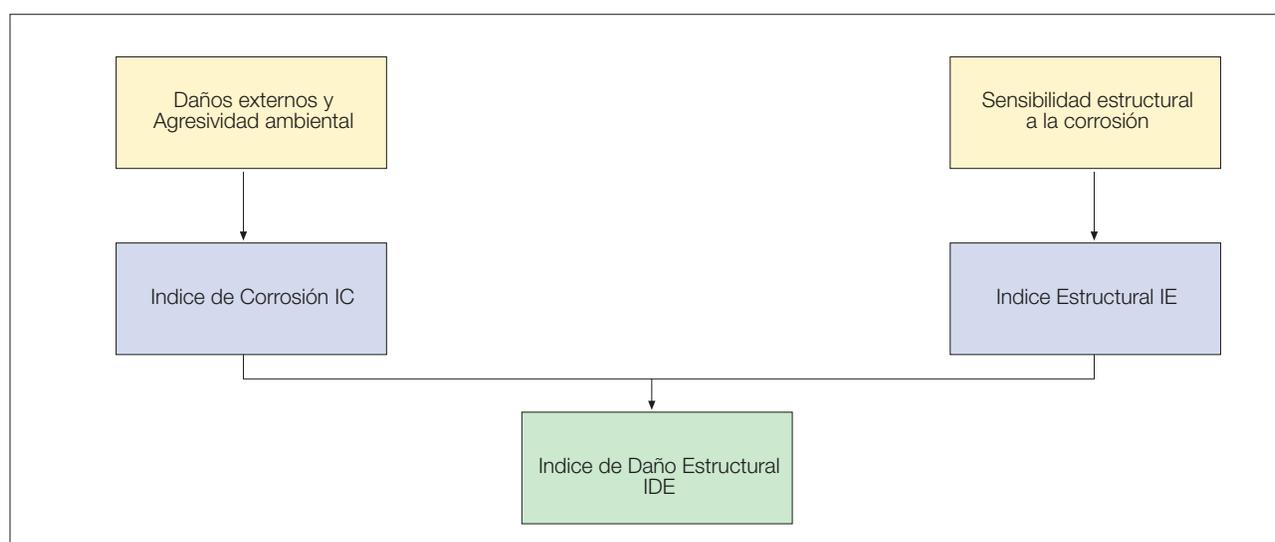


Figura A.1.3: Dependencia del Índice de Daño Estructural IDE

El índice de corrosión IC se calcula por los dos medios siguientes:

- Mediante la graduación de cuatro niveles del registro de los indicadores de daño ID y su puntuación desde un valor mínimo = 1 hasta un valor máximo = 4, y
- Mediante la graduación de la agresividad ambiental AA por medio de los ambientes de exposición clasificados en cualquiera de las normativas de diseño de estructuras.

El índice estructural IE es un indicador semi-empírico

que tiene en cuenta los dos factores siguientes; la sensibilidad del elemento a la corrosión de las armaduras y el efecto de la corrosión de las armaduras en la capacidad portante de éste. Su cálculo se realiza por los tres medios siguientes:

- De acuerdo a los detalles de las armaduras de los elementos.
- Conforme al grado de hiperestatismo de la estructura y,
- Según el nivel de sollicitación del elemento con respecto a su capacidad portante.

La consideración conjunta del índice de corrosión IC y del índice estructural IE, proporcionan la clasificación definitiva del elemento, o del conjunto de elementos, en cuatro niveles que van desde una situación muy

severa a una situación despreciable. En la figura A.1.4 a continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso completo de evaluación simplificada.

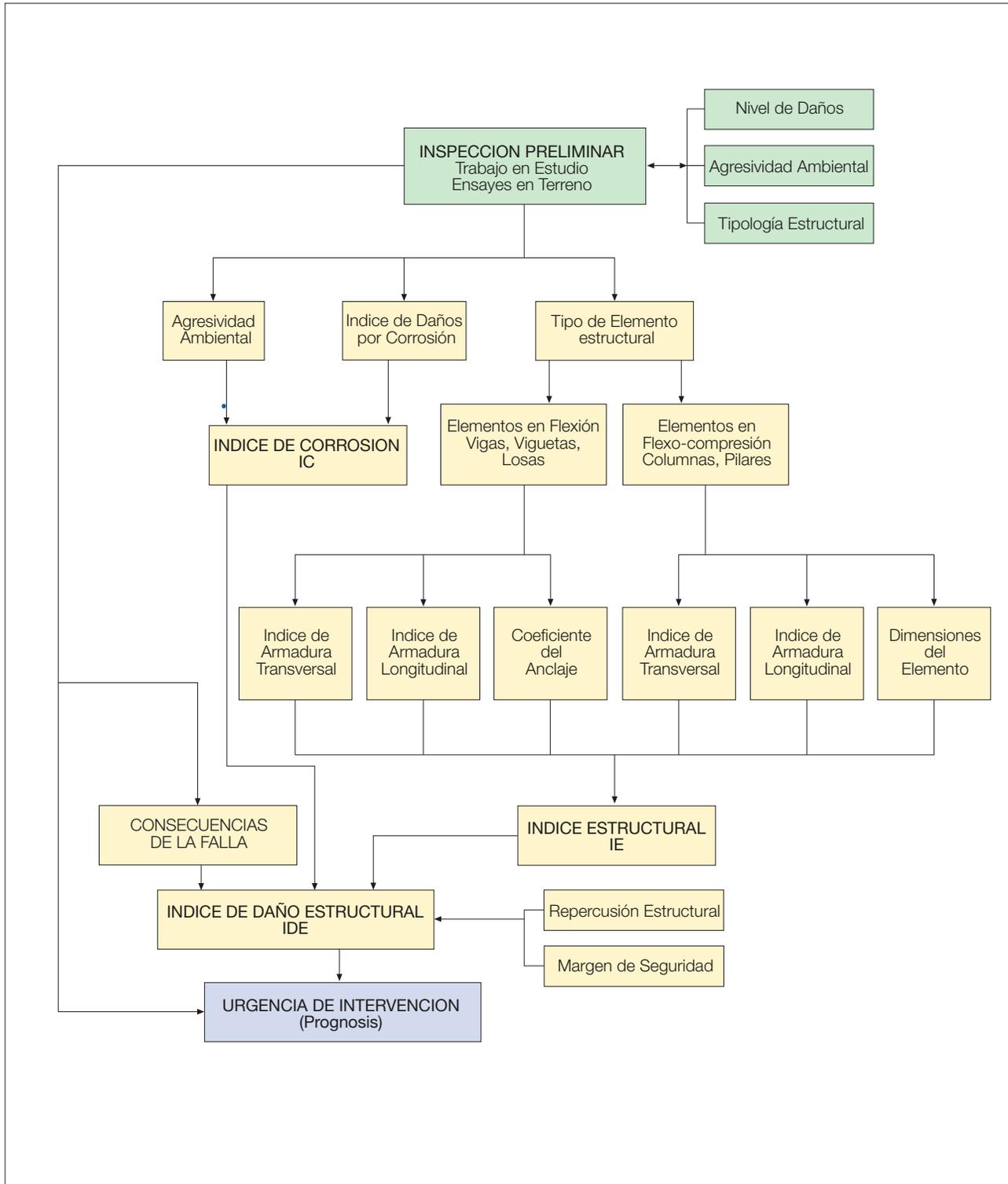


Figura A.1.4: Procesos que se deben Cumplir para la Evaluación Simplificada

## I. Fases de la evaluación simplificada

De acuerdo al diagrama de la Figura A.1.4, se puede establecer que las fases principales de la evaluación son la inspección, identificada en color verde en la figura, la evaluación de la estructura propiamente tal, identificada en amarillo, y la prognosis en azul pálido, las cuales son descritas en los párrafos siguientes.

## II. Fase de inspección

Se refiere a la recopilación de los datos necesarios para el cálculo del índice de daño estructural IDE, la que debe considerar tres etapas durante la inspección y que pueden ser desarrolladas en forma simultánea; una inspección preliminar o visual, el trabajo de estudio o de oficina y los ensayos en terreno o sobre la estructura. En el caso que el número de datos necesarios para la evaluación sea insuficiente, es recomendable vincular la inspección preliminar con los ensayos en terreno, después del estudio de la estructura en la oficina.

## III. Inspección preliminar o visual

Esta etapa pretende identificar en la estructura los aspectos siguientes:

- Si la corrosión se está o no produciendo actualmente y,
- En el caso que la corrosión se esté produciendo actualmente, cual es el daño que ésta ha producido, en cuyo caso los elementos que determinarán la calificación final de la estructura, así como el establecimiento de lotes, deberán estar basados en los tres aspectos que se indican:

a) Tipología estructural: En aquellos casos donde sea necesario, se deberá identificar y clasificar el tipo de elemento estructural. Esta identificación deberá considerar

cada elemento resistente en la estructura y su funcionamiento como tal. Por ejemplo, en puentes sus cepas y estribos (tipología y dimensiones), calzada o tablero, columnas, etc., y en edificación sus fundaciones, columnas, muros, vigas, etc.

b) Identificación de la agresividad ambiental: Existen numerosas posibilidades para efectuar una calificación de la agresividad del medio ambiente en función de las clases de exposición a los agresivos, entre las cuales podemos destacar las señaladas en el Código ACI 318 y aquellas establecidas por las disposiciones europeas EN206 y EHE, entre muchas otras, lo que nos permitirá calcular consecuentemente el índice de daño estructural IDE.

c) Identificación del nivel de daño: En primer lugar se deberá diferenciar el origen de los daños causados, mediante las tres posibilidades siguientes:

- i) Daños debidos al funcionamiento estructural del elemento, como fisuras inclinadas o verticales en las zonas de corte o flexión respectivamente.
- ii) Daños debidos al efecto de la corrosión de las armaduras, como fisuración paralela a las armaduras, descascaramiento, presencia de manchas o pérdida del recubrimiento (spalling).
- iii) Daños debidos a reacciones del hormigón con agentes agresivos como sulfatos u otros agentes agresivos.

d) Agrupación en lotes: Finalmente, de acuerdo a la clasificación establecida en los tres puntos anteriores (a, b y c), se agrupará toda la estructura en lotes, y en cada uno de ellos se realizarán las medidas y ensayos necesarios para determinar el índice de daño estructural IDE y este índice será representativo de todo el lote.

El concepto de lote implica que todas las características y propiedades de los materiales del lote, así como los niveles de degradación de éstos con el tiempo van a ser semejantes. Así, los resultados obtenidos en elementos

pertenecientes a un lote serán inmediatamente extrapolados al conjunto de éste, es por ello que la agrupación en lotes se deberá hacer de la forma más homogénea posible.

#### IV. Trabajo de Oficina

Los principales puntos a desarrollar en esta etapa son:

i) La recopilación de datos previos sobre la estructura, para lo cual se debe solicitar toda la información posible sobre el proyecto, como la memoria de cálculo, planos, especificaciones, etc. Es muy probable que esta información no esté disponible en el momento necesario ni en la mayoría de los casos, sin embargo la existencia de cualquier información reducirá de forma significativa el plazo de respuesta, el tiempo de recopilación de datos de la estructura en terreno y los costos de la inspección, además que mejorará el nivel y calidad de la evaluación. Otra información mínima complementaria disponible debería ser la siguiente:

- Edad de la estructura
- Tipología de la estructura y disposición de los elementos resistentes, con el objetivo de tener conocimiento de la forma de transmisión de las cargas a las fundaciones.
- Cambios estructurales que se hayan efectuado durante la vida en servicio de la estructura, ya sea por ampliaciones, remodelaciones u otros motivos.
- Cantidad de reparaciones realizadas y su naturaleza y extensión.
- Inspecciones realizadas con anterioridad y sus resultados.
- Pruebas de carga y sus resultados.

ii) La identificación de la agresividad del medio ambiente de acuerdo a las características de exposición de cada elemento, en función de los datos obtenidos de la inspección visual, asignándolo a una clase de

exposición de acuerdo a lo señalado en el párrafo b) del punto inspección preliminar o visual.

iii) La clasificación del tipo y la extensión de los daños, con el propósito de identificar el deterioro por la corrosión de las armaduras embebidas en el hormigón, para lo cual será necesario el levantamiento del mapa de daños a partir de la inspección visual.

Para determinar el índice de corrosión IC, en cada lote se deberán localizar los daños y agrupar de acuerdo a los seis indicadores de daños por corrosión IDC siguientes:

- a) La profundidad de penetración de los agresivos  $X_{CO_2}$ ,  $X_{CL^-}$  (frente de carbonatación o concentración de cloruros)
- b) El recubrimiento de las armaduras,  $r$
- c) La fisuración y pérdida del recubrimiento (spalling),  $C_R$
- d) La presencia de manchas de óxido en la superficie y pérdida del diámetro de la armadura si existiera,  $f$
- e) Los valores de la intensidad de corrosión,  $I_{CORR}$ ,  $Y$
- f) Los valores de la resistividad eléctrica del hormigón,  $r$

#### V. Ensayes en terreno

En el procedimiento simplificado el número de ensayos y medidas en terreno a realizar deberá ser el mínimo, de los cuales se proponen los siguientes:

- a) Geometría del elemento: Los elementos estudiados, o los lotes representativos, deberán ser inspeccionados para determinar sus dimensiones geométricas reales, incluyendo el espesor del recubrimiento, diámetros y número de barras.
- b) Resistencia del material: En aquellos casos que se desee determinar el margen de seguridad, es necesaria una verificación de las resistencias del acero y hormigón. En caso de no existir antecedentes escritos que permitan esta verificación de la resistencia de los materiales, como son los certificados de calidad, se podrá hacer una

estimación de ellas para lo cual se sugieren tres formas de obtener un valor representativo para el cálculo del margen de seguridad.

- Ensayes de laboratorio a partir de testigos de hormigón o muestras de acero.
- Valores nominales a partir de los planos y memoria de cálculo.
- Resistencias mínimas prescritas por la normativa vigente en la época de construcción.

- c) Detalle de las armaduras: En aquellos casos donde no sea posible obtener el detalle de las armaduras de los elementos que forman el lote, el uso de pachómetros, que son localizadores digitales de barras que detectan la orientación hasta una profundidad máxima de 300 milímetros, permitirá determinar el número y disposición de las armaduras. En el caso de existencia de planos éstos datos servirán para contrastar lo detectado por este instrumento.
- d) Profundidad de penetración de los agresivos: En el caso de la carbonatación del recubrimiento, el ensaye de la fenolftaleína o el de la timolftaleína permiten obtener el avance del frente del agresivo. Cabe mencionar que la fenolftaleína es el indicador más comúnmente utilizado y su rango de viraje está entre pH 8,2 y pH 9,8 varía su tonalidad de incoloro a violeta rojizo, mientras que la timolftaleína, menos utilizada, con un rango de viraje del pH entre 9,3 y 10,5 varía su tonalidad de incolora a azul. En el caso de penetración de cloruros, bien de origen marino o bien por estar presentes en el hormigón, el mejor procedimiento es la realización de perfiles completos o determinaciones puntuales de cloruros, para lo cual es necesario la extracción de testigos de la estructura.
- e) Medidas de corrosión: La velocidad de corrosión representativa  $I_{\text{corr}}^{\text{rep}}$  y por cálculo la penetración del ataque, se efectúa a partir de tres tipos de ensayos. La medida de la intensidad de corrosión, la medida de la pérdida de sección del acero, y la medida de la

resistividad. Mientras el primero entrega un valor instantáneo de la velocidad de corrosión, el segundo informa de la importancia del ataque y el tercero da una indicación de la humedad en la estructura (ver la Sección 6.2.5 del Capítulo 6).

## VI. Evaluación de la estructura

La evaluación simplificada de la estructura se divide en dos partes, por un lado el estado actual, es decir la Diagnósis, y por el otro la evolución con el tiempo o Prognósis, que es un acontecimiento anticipado de algo que no ha sucedido. Los modelos básicos son casi los mismos en ambos eventos, aunque el efecto del tiempo sólo se incluye en la fase de prognósis.

El objetivo de la fase de diagnóstico en el procedimiento simplificado de evaluación, consiste en una calificación del estado actual de la estructura y se establece en función del índice de daño estructural IDE, sobre la base de los datos obtenidos de la inspección y los ensayos en terreno, combinados con una metodología semi empírica fundamentada en la ponderación de diversos factores, entre los que se encuentran el nivel de los agresivos, la velocidad de corrosión  $I_{\text{corr}}$ , el nivel de las armaduras, el grado de las sollicitaciones de la estructura y la repercusión estructural.

La fase de prognósis establecida es una clasificación de la urgencia de intervención, sea una nueva inspección o la reparación de la estructura. En el caso de requerir más información, tal como la capacidad portante con el tiempo o una estimación de la vida residual, es necesario recurrir a una Evaluación Detallada.

Es importante destacar, que para todos los efectos estructurales es necesario que dentro del equipo de profesionales encargados de la evaluación participe un

ingeniero calculista responsable, quién siempre deberá hacer prevalecer la normativa vigente en el país, aplicar los códigos adecuados y tomar todas las decisiones explícitas é implícitas relacionadas con su especialidad.

**VII. Diagnósis de la estructura**

Para cumplir con el análisis de evaluación de la estructura es necesario definir y dar valores, categorías, grados o niveles a los parámetros siguientes:

- Índice de daño estructural IDE
- Índice de corrosión IC
- Indicadores de la agresividad del ambiente AA
- Indicadores de daños por corrosión IDC
- Índice estructural IE
- Consecuencias de la falla
- Redistribuciones de esfuerzos y,
- Margen de seguridad MS (índice opcional

**VIII. Índice de daño estructural IDE**

El Índice de daño estructural IDE se determina a partir de dos factores fundamentales, por un lado el Índice de

corrosión IC deducido de la agresividad del ambiente AA y por el otro lado del nivel de daño que actualmente presenta la estructura mediante los indicadores de daños por corrosión IDC. Las categorías o niveles adoptados para este Índice se muestran más adelante.

**IX. Índice de corrosión IC**

El Índice de corrosión IC informa sobre el daño actual debido a la corrosión y sobre la velocidad de deterioro. A partir de ambos conceptos, el proceso de corrosión se ha graduado en cuatro niveles generales que son:

- Nivel 1 : Sin corrosión, N
- Nivel 2 : Corrosión baja, B
- Nivel 3 : Corrosión moderada, M
- Nivel 4 : Corrosión alta, A

La calificación de una estructura en uno de estos cuatro niveles generales se realiza a partir del IC y como lo expresamos anteriormente, este se determina a partir de la agresividad ambiental AA y del valor obtenido de los indicadores de daños por corrosión IDC como se muestra en la Figura A.1.5.

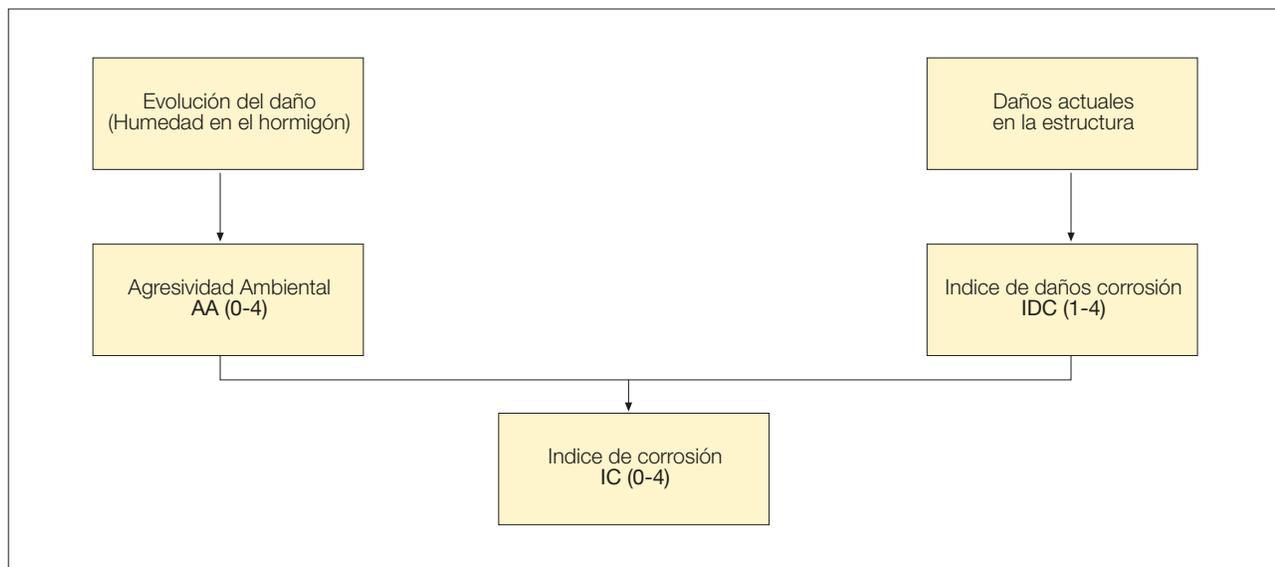


Figura A.1.5: Cálculo del Índice de Corrosión IC.

Los indicadores de daños por corrosión IDC se presentan en la tabla a continuación, en donde se podrá apreciar que se han seleccionado seis indicadores,

que no solo reflejan el estado actual de la estructura, sino la evolución previsible del deterioro mediante los cuatro niveles establecidos (I al IV).

Tabla A.1.1 Indicadores de daños por Corrosión				
Indicador	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV
Profundidad de carbonatación ( $X_{CO_2}$ )	$X_{CO_2} = 0$	$X_{CO_2} < r$	$X_{CO_2} = r$	$X_{CO_2} > r$
Nivel de cloruros ( $X_{CL^-}$ )	$X_{CL^-} = 0$	$X_{CL^-} < r$	$X_{CL^-} = r$	$X_{CL^-} > r$
Fisuración por corrosión en el recubrimiento r (w)	Sin fisuras	Fisuras < 0,3 mm	Fisuras > 0,3 mm	Fisuración generalizada y Spalling
Resistividad kΩ cm (ρ)	> 100	50 - 100	10 - 50	< 10
Pérdida de sección (φ)	< 1%	1 - 5%	5 - 10%	> 10%
Intensidad de corrosión $\mu A/cm^2$ ( $I_{corr}$ )	< 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0

El Índice de daños por corrosión IDC se calcula a partir de asignar puntos del 1 al 4 a los cuatro niveles establecidos (Nivel I al Nivel IV) y realizando la media aritmética de la suma de todos los indicadores, tal como lo señala la expresión siguiente:

$$IDC = \frac{\sum_{i=1}^6 \text{Nivel del Indicador}_i}{6} \quad [A.1.1]$$

Por otra parte, el valor o peso de la agresividad ambiental AA se determinará también otorgándole puntos del 1 al 4 a las clases de exposición indicadas en la Tabla A.1.2, cuyas descripciones detalladas del ambiente corresponden a lo expresado en la Tabla 6.2.5.4 del Capítulo 6, la cual está basada en las disposiciones europeas EN206.

Tabla A.1.2

Valores del Factor de Agresividad Ambiental EN206

Designación o Descripción del Ambiente	A	B.1	B.2	B.3	B.4	C.1	C.2	C.3	D.1	D.2	D.3
Valor AA	0	1	1	2	3	2	3	4	2	3	4

El Índice de corrosión IC se puede determinar, promediando los valores del Índice de daños por corrosión IDC y de los de agresividad ambiental AA para casos que exigen rigurosidad según la expresión [A.1.2], o mediante los Índices recomendados para

el caso de una evaluación simplificada, clasificadas en las disposiciones españolas en la EHE, que se señalan en la Tabla A.1.3.

$$\text{Índice de Corrosión} = \frac{AA + IC}{2} \quad [A.1.2]$$

Tabla A.1.3

Índices de Corrosión IC y Nivel de Corrosión

Nivel de Corrosión	Valor del Índice
Corrosión muy baja	0 - 1
Corrosión baja	1 - 2
Corrosión media	2 - 3
Corrosión alta	3 - 4

X. Índice estructural IE

Las consecuencias de la corrosión de las armaduras embebidas en el hormigón son muy variadas y dependen de diversos factores, tales como la sección y esfuerzos de ésta, el nivel y tipo de las armaduras, etc, por lo que

el Índice estructural IE intenta compilar todos estos factores para calificar la estructura lo más adecuadamente posible diferenciando en forma general aquellos elementos sometidos a flexión de los sometidos a flexo-compresión, tal como se muestra en la Figura A.1.6 siguiente.

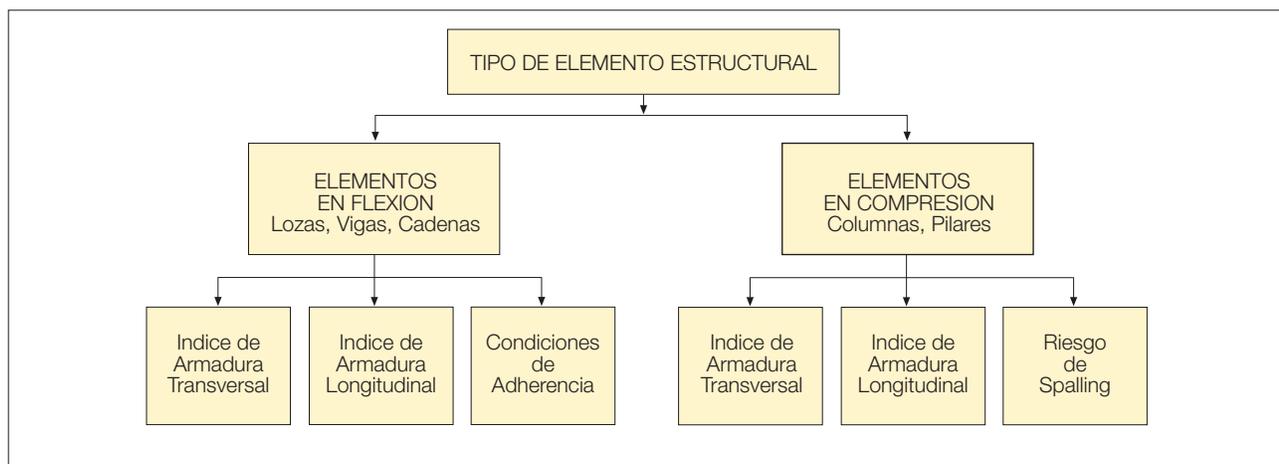


Figura A.1.6: Fases para calificar el Índice Estructural IE

**a) Elementos sometidos a flexión**

Solo para efectos de determinar el Índice estructural IE, en primer lugar se debe determinar el Índice de la armadura transversal, para lo cual hay que considerar

los parámetros siguientes, que servirán de entrada para localizarlo en la tabla a continuación.

- El diámetro de la armadura transversal
- La distancia de separación entre los cercos o estribos

**Tabla A.1.4**

Índice de la Armadura Transversal para elementos en Flexión

$\phi_t$	Separación de los cercos o estribos			Sin cercos o estribos
	$st \leq 0,5 d$	$st > 0,5 d$ (4 ramas)	$st > 0,5 d$	
$> 8 \text{ mm}$	1	1	2	1
$\leq 8 \text{ mm}$	2	2	3	1

**Donde:**

$\phi_t$  = Diámetro de la armadura transversal, mm

$d$  = Canto efectivo de la sección, mm

$s_t$  = Separación entre los estribos, mm

Una vez que el Índice de armadura transversal ha sido obtenido, se debe determinar el Índice estructural de la armadura longitudinal para los elementos sometidos a flexión, Tabla A.1.5, que en principio define dos grandes categorías en función del diámetro de las barras que forman la armadura:

- Barras de diámetro  $\geq 20 \text{ mm}$
- Barras de diámetro  $< 20 \text{ mm}$

A continuación se consideran dos subcategorías dentro de cada diámetro, dependiente de la cuantía de armadura en tracción, debido a que las vigas con una cuantía reducida a flexión son bastante más sensibles a una

pequeña corrosión de sus barras:

- Baja cuantía para  $\rho_1 < 1,0\%$
- Alta cuantía para  $\rho_1 > 1,5\%$

**Importante:**

Para los valores anteriormente presentados como también para los intermedios de  $\rho_1$ , siempre será el ingeniero estructural miembro del equipo evaluador, quién deberá decidir en que tipo de clasificación final situar su elemento.

Además, en el caso que la cuantía de la armadura longitudinal en tracción  $\rho_1$  sea alta, se deberá tener en cuenta la cuantía de la armadura longitudinal en compresión  $\rho_2$  debido al riesgo de una posible pérdida o estallido del recubrimiento de hormigón (spalling). En los casos en que  $\rho_2 > 0,5\%$  el Índice estructural IE deberá ser el mismo que el establecido para las cuantías bajas de  $\rho_1$ , salvo que el ingeniero responsable decida otra cosa.

**Tabla A.1.5**

Índice Estructural IE de la Armadura Longitudinal en Vigas (\*)

Índice de la Armadura Transversal (**)	Armadura Longitudinal, mm			
	$\phi \geq 20$		$\phi < 20$	
	Alta Cuantía	Baja Cuantía	Alta Cuantía	Baja Cuantía
1	I	II	II	III
2	II	III	III	IV
3	III	IV	IV	IV

(\*) Se deberá considerar también el detalle de la armadura en compresión  
 (\*\*) Consultar la tabla A.1.4

El índice estructural IE definido en la tabla anterior, corresponde a situaciones en las que algunas barras de la armadura principal son ancladas en puntos intermedios del elemento y podrían ser sensibles a una falla por adherencia. En el caso que todas las barras de tracción estén ancladas en los extremos del elemento, el índice IE podrá ser reducido, en general en una unidad, moviendo para ello la columna un lugar hacia la izquierda, siempre y cuando lo autorice el ingeniero calculista del equipo evaluador.

En el caso que los datos de armaduras requeridos en la Tabla A.1.5 no estén disponibles, o su obtención resulte demasiado onerosa o difícil, la Tabla A.1.6 siguiente muestra una clasificación de elementos a flexión aplicable para el caso de una evaluación simplificada, que obviamente representa un nivel de precisión obtenido considerablemente menor. En consecuencia se deberá aplicar este criterio con cautela y contar con la anuencia especial del ingeniero estructural del equipo evaluador.

**Tabla A.1.6**

Versión Simplificada del Índice Estructural IE en Vigas

Armado Transversal	Viga plana		Vigas de canto, losas, viguetas	
	$(h < b)$			
	Sección de apoyo	Sección de centro de vano	Sección de apoyo	Sección de centro de vano
Sin cercos	-	-	I	II
Alta densidad	II	III	III	IV
Baja densidad	III	IV	IV	IV

**b) Elementos sometidos a flexo-compresión**

El procedimiento para estos elementos de soporte, como son por ejemplo las columnas y pilares, es similar al utilizado en el caso de las vigas, por lo tanto una vez determinado el Índice de la armadura se determina el Índice estructural IE, teniendo en consideración los mismos parámetros de

diámetro y espaciamiento de los cercos o estribos, y tiene como propósito interpretar el mayor o menor riesgo de pandeo de las armaduras longitudinales. Para tal efecto, en la Tabla A.1.7 siguiente se presentan los valores del Índice de armaduras transversales en función de los parámetros anteriores.

**Tabla A.1.7****Índice de la Armadura Transversal para elementos en Compresión**

$\phi_t$	$\lambda = \text{espaciamiento de cercos} / \phi \text{barras principales}$	
	$\lambda \leq 10$	$10 > \lambda$
$> 8$	1	2
$\leq 8$	2	3

Una vez obtenido el Índice de armadura transversal, el Índice estructural IE se obtiene entrando en la Tabla A.1.8 en función del armado longitudinal. Esta Tabla tiene como objetivo tener en cuenta la menor o mayor posibilidad que se produzca el desprendimiento del recubrimiento por corrosión de las armaduras principales, ya que en los casos en que las dimensiones del elemento soportante sean pequeñas, por ejemplo secciones de 300 a 400 milímetros, la pérdida de capacidad resistente por este efecto puede ser muy importante.

El riesgo del elemento de perder el recubrimiento o estallido (spalling), se debe tener en consideración a través del espaciamiento de las barras longitudinales de la armadura

del elemento soportante y de las características y dimensiones de la sección de la columna o pilar soportante, para lo cual se definen los parámetros siguientes:

- h: Relación entre la sección reducida del elemento soportante (sección bruta del elemento soportante menos la sección que resulta de no considerar el recubrimiento y el diámetro de los estribos o cercos), con respecto a la sección bruta del soporte.
- Espaciamiento entre las barras longitudinales o verticales del elemento soportante, por ejemplo columna o pilar. Cuando menos espaciadas estén las barras longitudinales o verticales, más posibilidad existe que se produzca la pérdida o estallido del recubrimiento en la sección del hormigón (spalling).

**Tabla A.1.8****Índice Estructural IE de la Armadura Longitudinal en elementos Soportantes**

Índice de la Armadura Transversal(*)	$\eta = \text{Índice de pérdida del recubrimiento o estallido}$			
	$\eta \geq 0,75$		$\eta < 0,75$	
	Espaciamiento		Espaciamiento	
	$\geq 5 \phi$	$< 5 \phi$	$\geq 5 \phi$	$< 5 \phi$
1	I	I	II	III
2	I	II	III	IV
3	III	IV	IV	IV

(\*) Relación entre la sección reducida y la sección bruta del elemento soportante.

**Tabla A.1.9**
**Versión Simplificada del Índice Estructural IE en elementos Soportantes**

Armado Transversal	Dimensión mínima del elemento soportante, a			
	a > 400mm		a ≤ 400 mm	
Espaciamiento	Alta separación entre las barras verticales	Barras verticales poco espaciadas	Alta separación entre las barras verticales	Barras verticales poco espaciadas
Estribos poco espaciados	I	II	III	IV
Estribos muy espaciados	II	III	IV	IV

Del mismo modo que para los elementos sometidos a flexión, en el caso que los datos de armaduras requeridos no estén disponibles, o su obtención resulte demasiado onerosa o laboriosa, la Tabla A.1.9 muestra una clasificación de elementos soportantes aplicable para el caso de una evaluación simplificada. Esta tabla se ha establecido en función de los datos de armado y las dimensiones de la sección de hormigón y se deberá aplicar con criterio y cautela y contar con la autorización del ingeniero estructural miembro del equipo evaluador.

#### c) Consecuencias de la falla

Debemos destacar que la importancia estructural se establece en función de las consecuencias de la falla de la estructura, las cuales son tenidas en cuenta al establecer el valor final del Índice de daño estructural IDE, y pueden ser las siguientes:

- Leves: En donde las consecuencias de la falla de la estructura no son serias o bien son lo suficientemente pequeñas.
- Significativas: En el caso de haber riesgo para la vida o importantes daños materiales.

#### d) Redistribuciones de esfuerzos

La existencia o no de un cierto grado de hiperestaticidad en la estructura puede representar un cambio significativo en la influencia del nivel de corrosión y en la reducción de la capacidad portante del elemento en consideración.

Vale decir que para estructuras estáticamente determinadas o isostáticas, la falla local en una de las secciones del elemento implicaría la falla inmediata de la estructura, mientras que en aquellos casos en que existan otras secciones que puedan soportar la carga, los esfuerzos podrán redistribuirse.

#### e) Valor del Índice de daño estructural IDE

Las clasificaciones de los tipos de estructura, secciones y corrosión se combinan en la Tabla A.1.10 que proporciona el valor final del Índice de daño estructural, el cual está graduado en cuatro niveles:

- Despreciable (D)
- Medio (M)
- Severo (S)
- Muy severo (MS)

Tabla A.1.10

## Indice de Daño Estructural IDE

Indice de Corrosión	Indice Estructural IE							
	I		II		III		IV	
	Consecuencias de una posible falla							
	Leve	Significativa	Leve	Significativa	Leve	Significativa	Leve	Significativa
0 - 1	D	D	D	D	D	M	M	M
1 - 2	M	M	M	M	M	S	M	S
2 - 3	M	S	M	S	S	MS	S	MS
3 - 4	S	MS	S	MS	S	MS	MS	MS

IDE: D, despreciable - M, medio - S, severo - MS, muy severo

Como se puede apreciar en la tabla, para cada nivel del Índice estructural IE, se proponen dos columnas en función de las consecuencias previsibles de la posible falla de la estructura.

Por otra parte, la posible redistribución de esfuerzos se tiene en cuenta mediante una reducción del Índice de daño estructural IDE obtenido directamente de la tabla anterior. En el caso que la estructura permita la redistribución de esfuerzos, se reducirá el nivel del Índice en una unidad, por ejemplo de medio a despreciable.

#### f) Margen de seguridad MS

El margen de seguridad MS del elemento es un Índice opcional y en general escasamente solicitado para ser incorporado a la evaluación. Sin embargo, si se desea conocerlo por alguna razón o sospecha se debe considerar primeramente el tipo de sollicitación al cual está sometido el elemento, flexión o flexo-compresión, dado que se determina de manera distinta para cada uno de estos modos de falla.

Para este efecto, será el ingeniero estructural del equipo evaluador el que deberá determinarlo, generalmente en base a los esfuerzos últimos del elemento y a los esfuerzos característicos de la evaluación u otra metodología de cálculo acorde con las normas y prácticas chilenas.

En resumen, para el caso de vigas y elementos a flexión, se recomienda que el margen de seguridad sea el mínimo entre el valor correspondiente al margen de cortante y al margen de flexión, y para columnas y elementos sometidos a compresión este debería ser igual o mayor al cociente entre los esfuerzos últimos, calculado teniendo en cuenta los posibles momentos flectores, y los esfuerzos característicos de la evaluación.

No obstante lo anterior y como un antecedente solamente informativo y de estimación, podemos decir que el margen de seguridad se puede clasificar en tres grandes grupos, así como se muestra en la Tabla A.1.11.

Tabla A.1.11

## Márgenes de Seguridad Informativos o Estimados

Margen de Seguridad	Bajo(*)	Medio	Alto
MS	$1,4 < MS < 2,0$	$2,0 < MS < 3,0$	$MS > 3,0$

(\*) En el caso que se detecten valores de MS inferiores de 1,4 se deberá proceder inmediatamente a una evaluación detallada de la estructura.

## XI. Prognosis

En el método simplificado, la evaluación del comportamiento de la estructura en el tiempo solo se tiene en consideración por medio de establecer un plazo de intervención o una futura inspección de la estructura. Solamente el método detallado proporciona el comportamiento de la evolución de la capacidad portante con el tiempo, y por lo tanto la seguridad del elemento en el tiempo.

Una vez que se ha obtenido el Índice de daño estructural IDE, según la tabla siguiente, y se ha corregido de acuerdo a la posible redistribución de esfuerzos y del margen de seguridad optativo calculado, podemos verificar la urgencia de intervención o reparación a partir de los intervalos en

años recomendados que se muestran en la Tabla A.1.12. El tipo de intervención dependerá del resultado obtenido de la evaluación, el cual describimos y recomendamos de manera general en los tres párrafos a continuación.

- Para estructuras cuyo período de intervención esté por encima de 5 años, se recomienda una inspección de la estructura al pasar este tiempo, midiendo si es posible las velocidades de corrosión.
- Para estructuras cuya urgencia de intervención está situada entre 2 y 5 años, se recomienda una evaluación detallada dentro del período señalado.
- Para estructuras cuya urgencia de intervención resulte menor de 2 años, lo más probable es que requiera una reparación urgente, aunque la mejor opción será el recálculo de la estructura mediante una evaluación detallada.

Tabla A.1.12 Urgencia de Intervención o Reparación	
IDE	Años
Despreciable	> 10
Medio	5 - 10
Severo	2 - 5
Muy severo	0 - 2

## XII. Informe de evaluación

Por último, con los datos recopilados durante la fase de inspección, ensayos realizados y la evaluación simplificada, será necesario preparar un informe final que deberá contener al menos la información siguiente:

- Una descripción de la estructura que contemple su tipología, carga muerta y sobrecarga estimada, dimensiones de los elementos resistentes, tipo de fundaciones, cierros, etc.
- Definición de los lotes de ensayos teniendo en consideración la tipología estructural, el nivel de daño y la agresividad ambiental.
- Una descripción escrita y visual de los daños observados para cada lote estructural, como es la fisuración, descascaramiento del recubrimiento (spalling), manchas de óxido, etc.
- La diagnosis y estado actual de la estructura, estableciendo si dichos daños se han producido por corrosión de las armaduras o no y definiendo las características del tipo de corrosión, como son la carbonatación del hormigón, excesivo nivel de cloruros en el hormigón, velocidad de corrosión representativa, etc.
- Los datos necesarios para realizar el análisis simplificado propuesto en el punto Evaluación de la Estructura y secciones siguientes, la definición de las armaduras, características de los materiales, valores de los Índices obtenidos, etc.
- El cálculo del Índice de daño estructural IDE y del nivel de corrosión.

### A.1.4.3 Método Detallado

Aún cuando en esta oportunidad no consideraremos en profundidad el desarrollo de este método de evaluación como parte de esta sección del anexo, hemos creído de interés presentar, a lo menos, una descripción general de las fases que componen esta metodología de inspección y un esquema del proceso general a seguir en la evaluación detallada en la figura siguiente.

En síntesis podemos decir que la evaluación detallada considera a la estructura como un todo, es decir que al momento de realizar un recálculo de la estructura se tiene en cuenta las características particulares o singulares de los materiales como parte fundamental del comportamiento estructural, de tal forma que se realice dicho recálculo mediante la aplicación de métodos clásicos pero teniendo en cuenta las modificaciones en las propiedades mecánicas y en la geometría, tanto del acero como del hormigón.

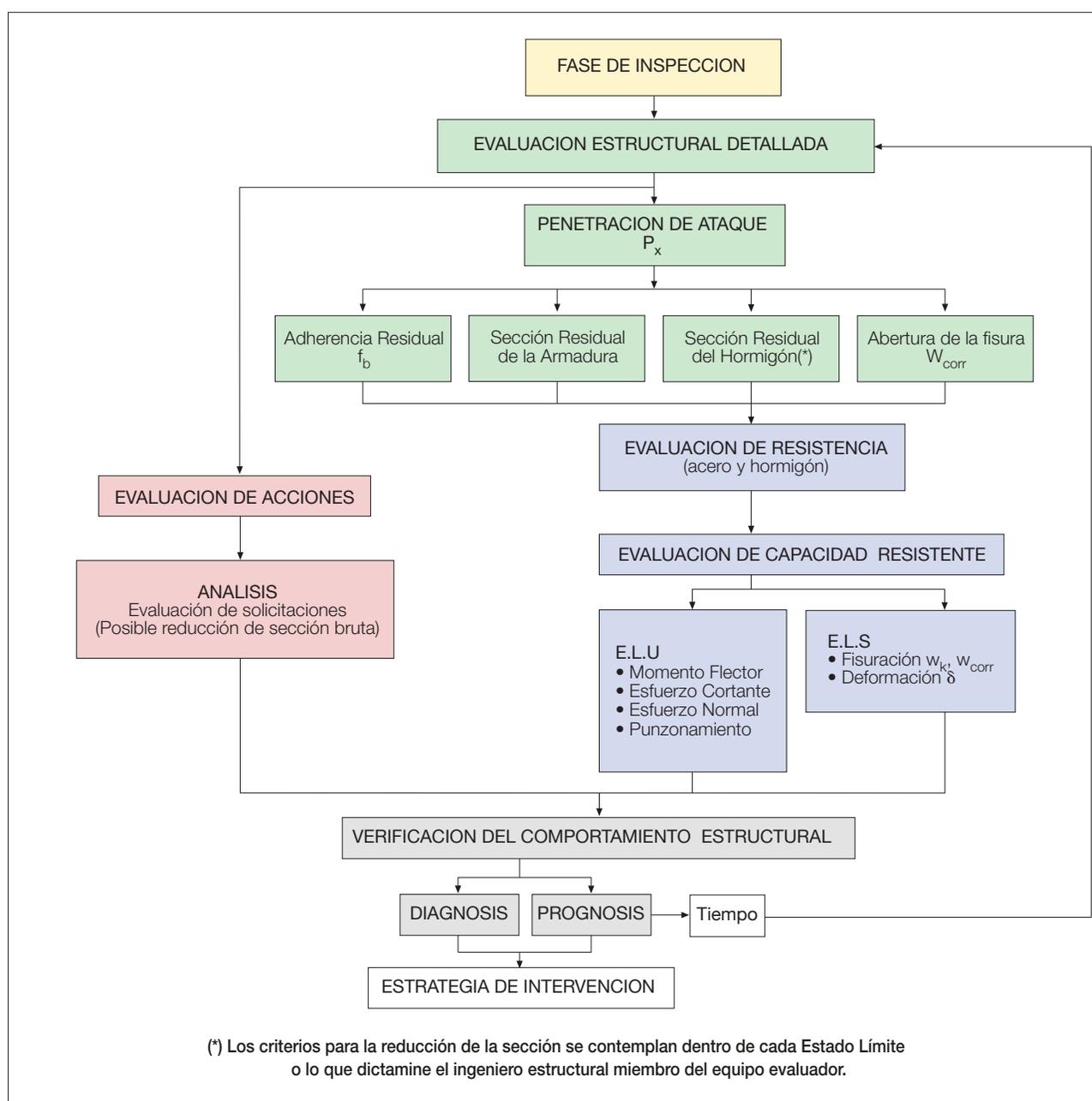


Figura A.1.7: Procesos que se deben Cumplir para la Evaluación Detallada

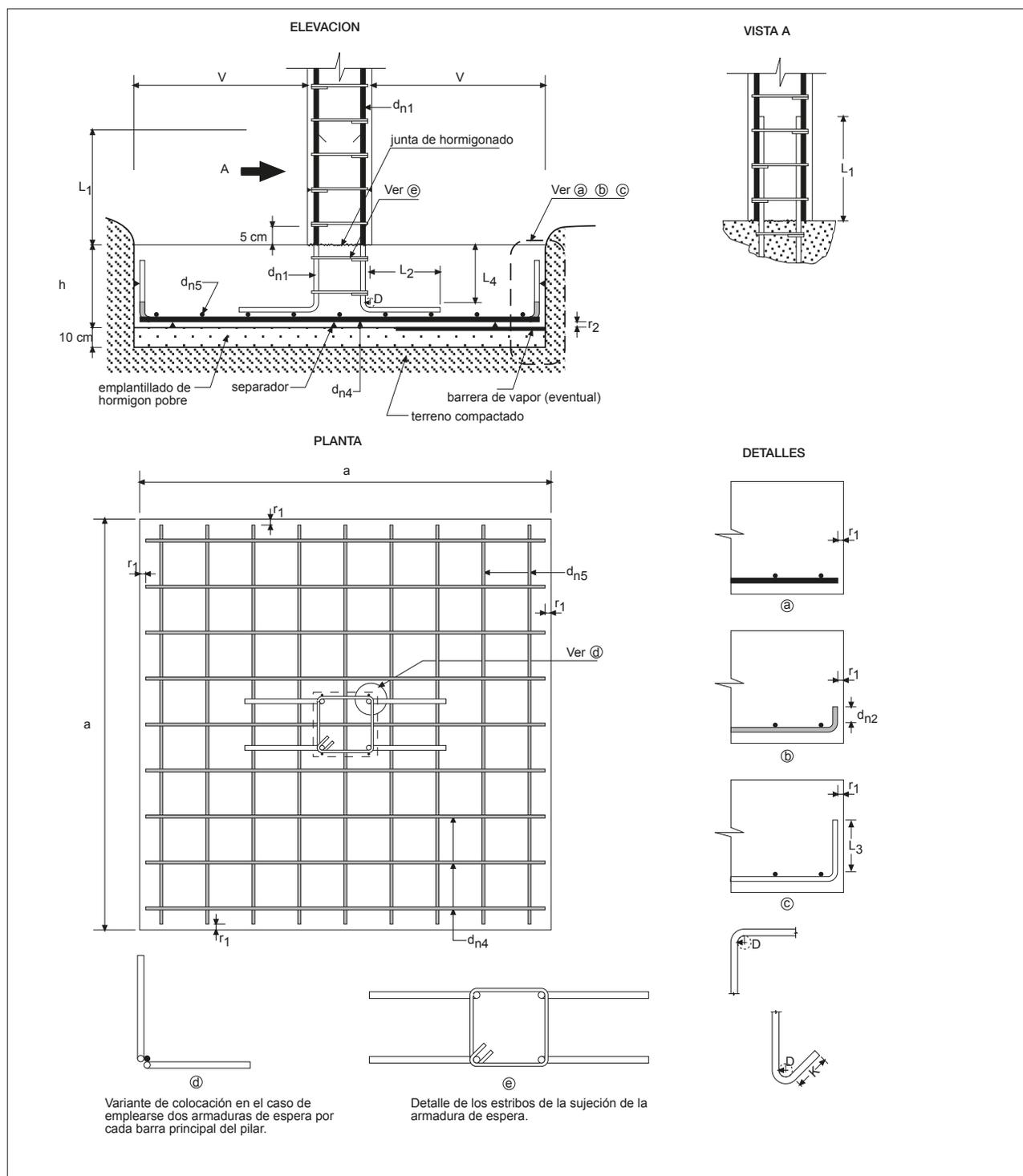
En el diagrama anterior se pueden distinguir cinco fases principales:

- Fase de inspección que permite recopilar todos aquellos aspectos relevantes y concernientes a la estructura y su entorno.
- Determinación de los efectos de la corrosión sobre el hormigón y el acero, y en concreto como afecta el deterioro a la adherencia, a la sección de las armaduras, a la geometría de la sección de hormigón y a la fisuración del recubrimiento.
- Evaluación de las acciones y análisis, considerando las posibles reducciones de las secciones brutas.
- Determinación de la capacidad resistente a partir de las propiedades de los materiales, modificadas por el efecto de la corrosión.
- Verificación del comportamiento estructural, tanto en el estado actual o diagnosis como en el futuro o prognosis, a partir de la aplicación de la Teoría de los Estados Límite, u otro método que considere apropiado el ingeniero estructural miembro del equipo evaluador.

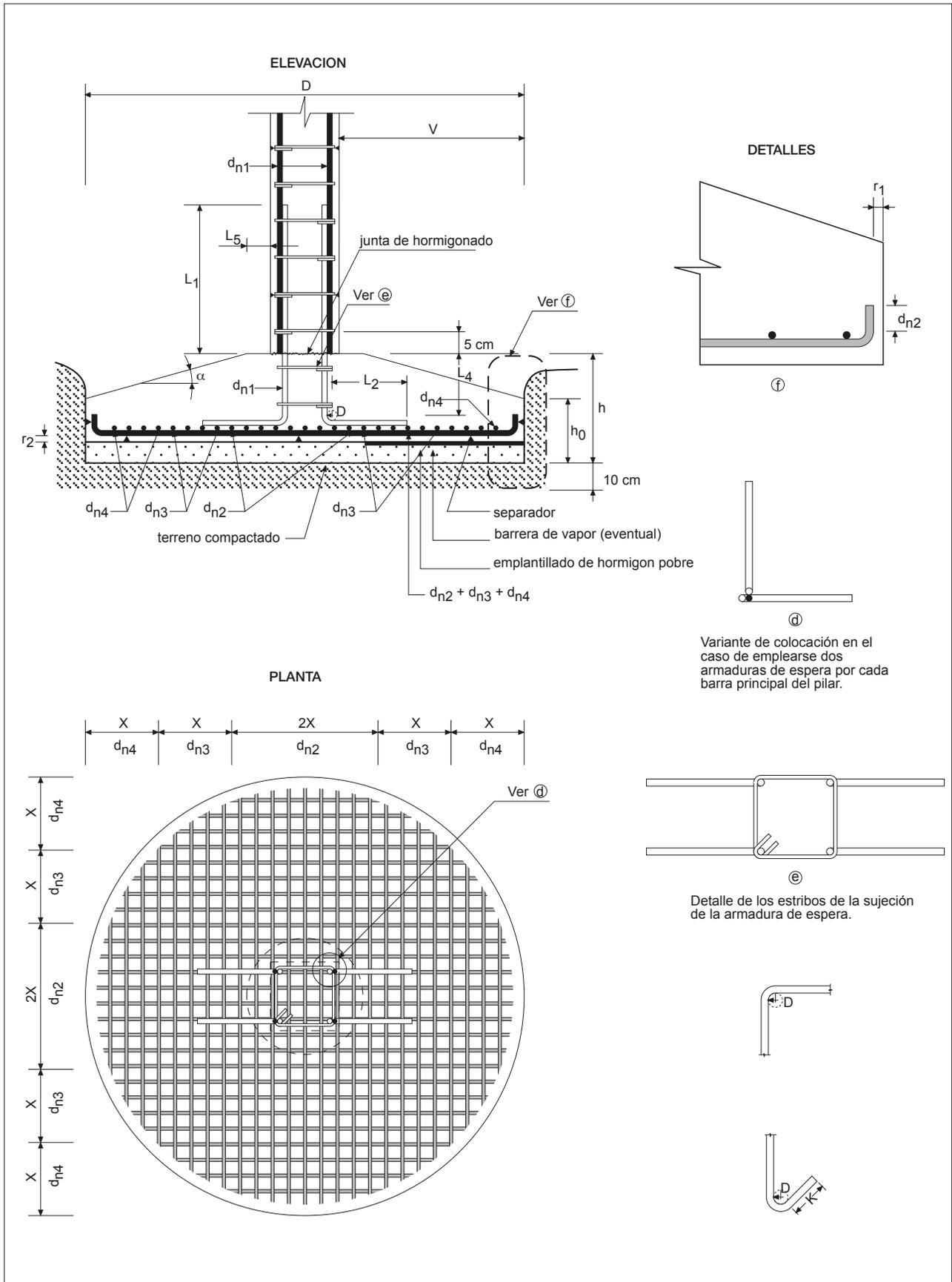
## A.2 DETALLES CONSTRUCTIVOS EN OBRAS DE HORMIGON ARMADO

La incorporación de las ilustraciones siguientes es una selección de algunos detalles que tienen por objetivo ser

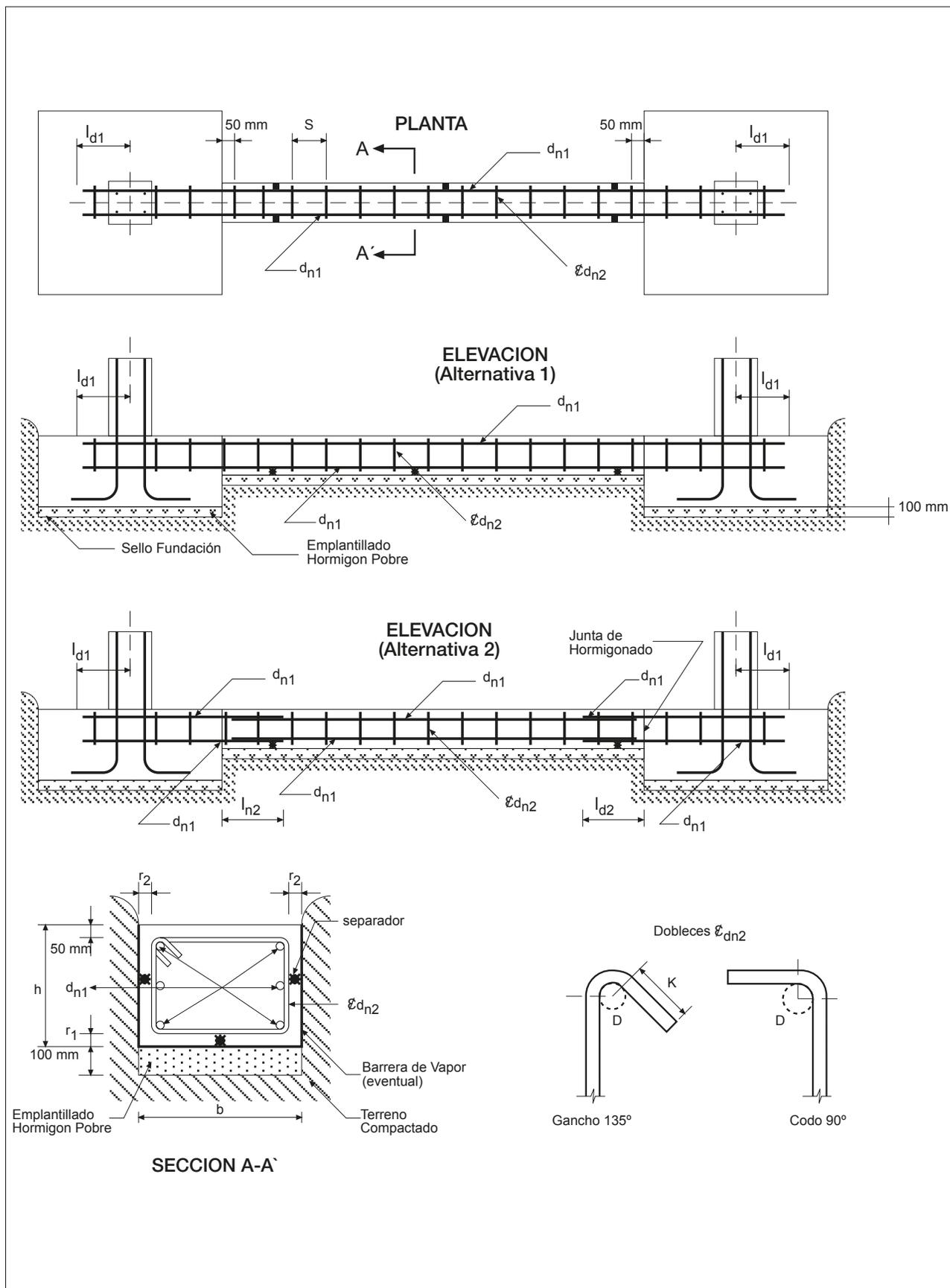
un complemento para la mejor interpretación de los planos de detalle de las estructuras de hormigón armado, en aquellas circunstancias en que existan dudas o ausencia de antecedentes que permitan materializar apropiadamente la obra.



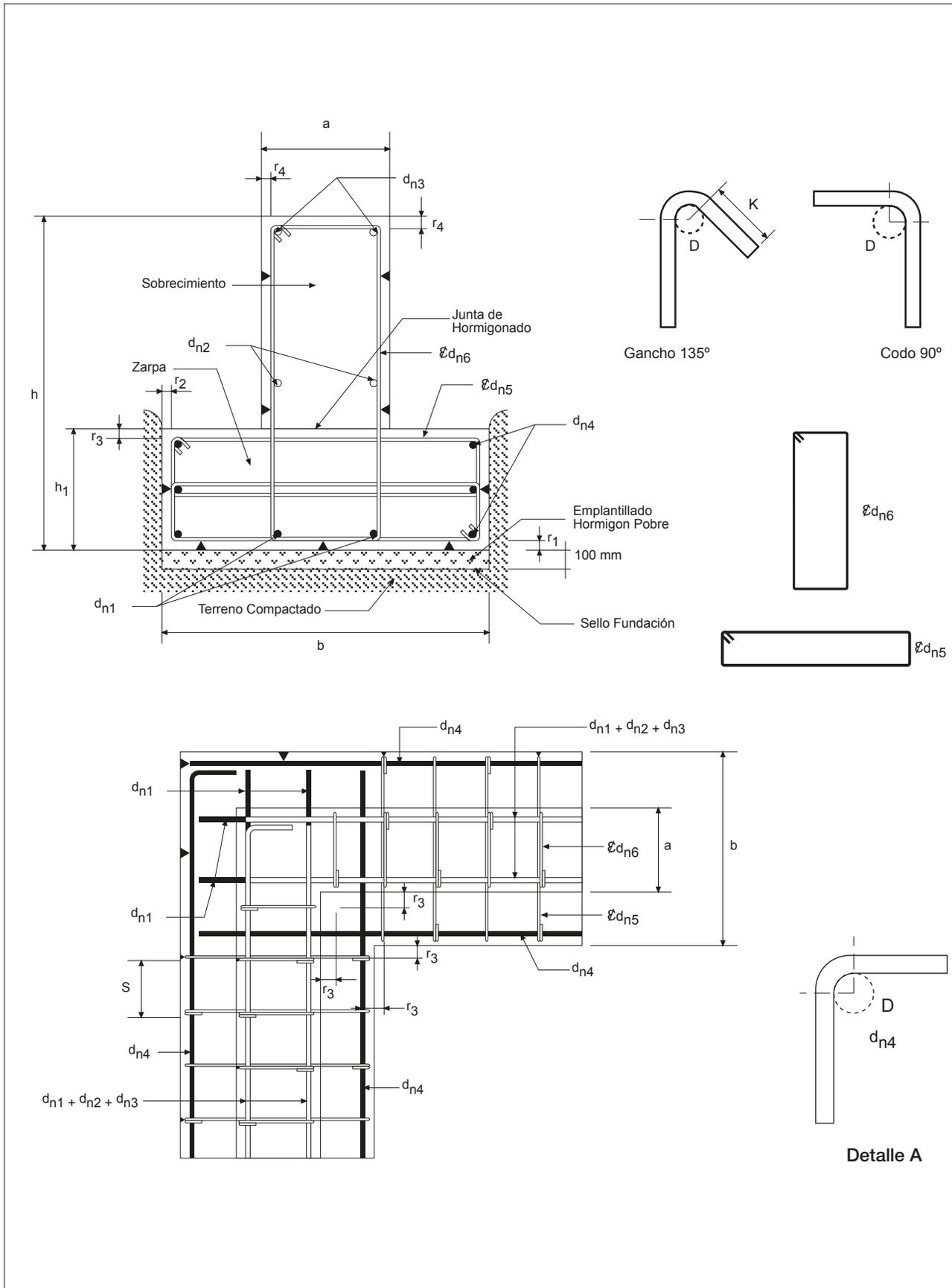
Zapata Cuadrada o Rectangular.



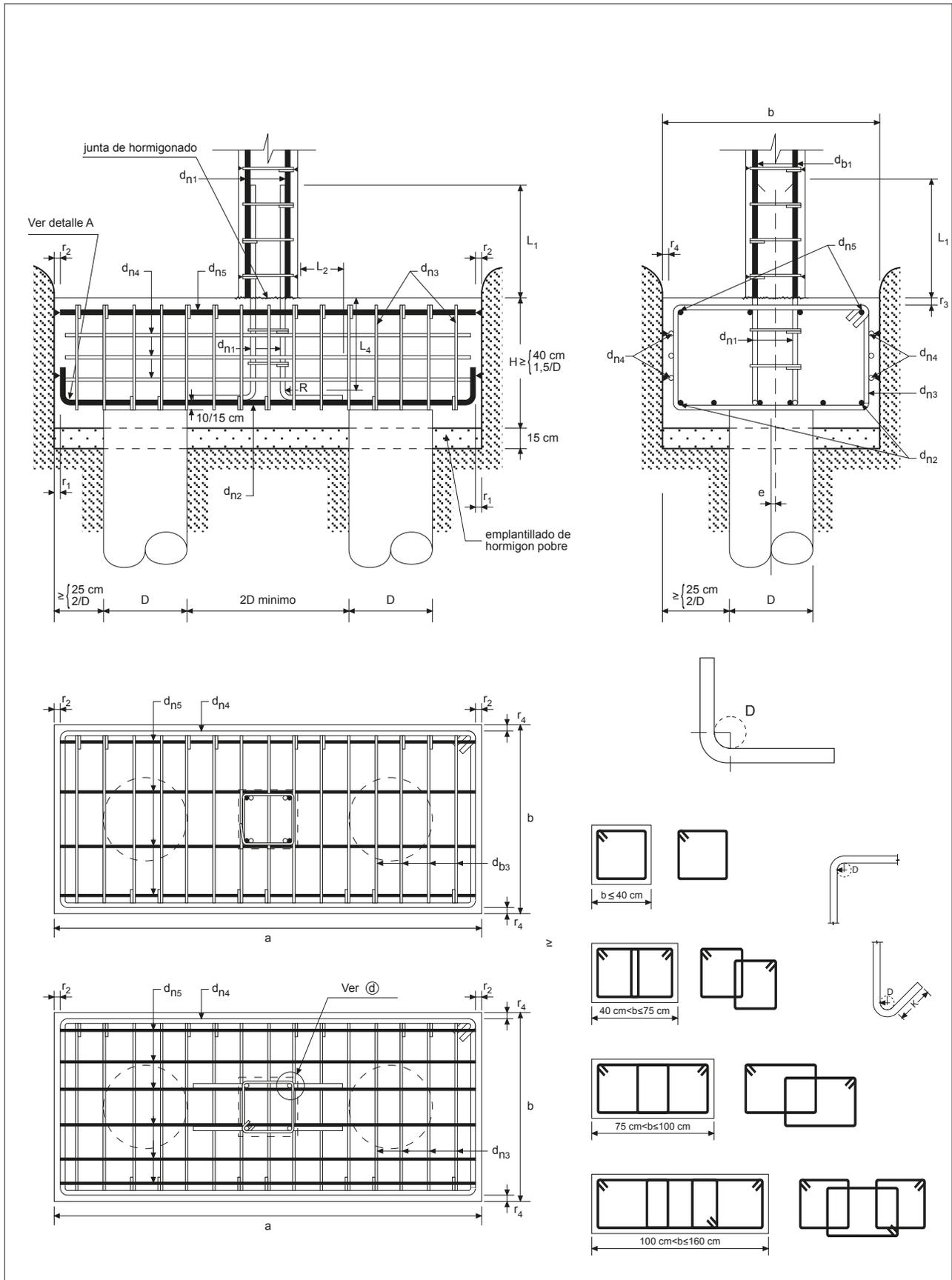
Zapata Circular



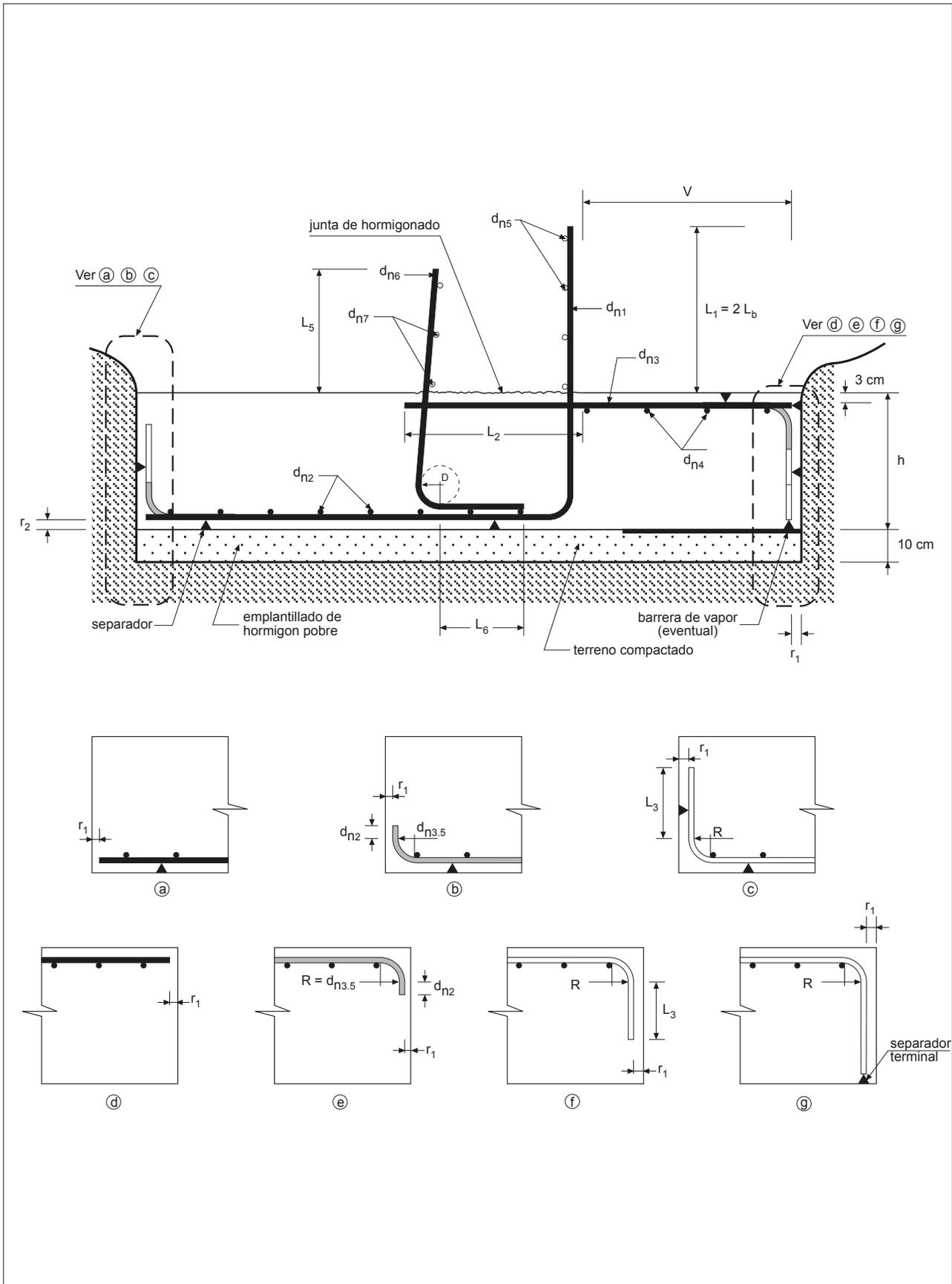
Viga de Fundación entre Zapatas.



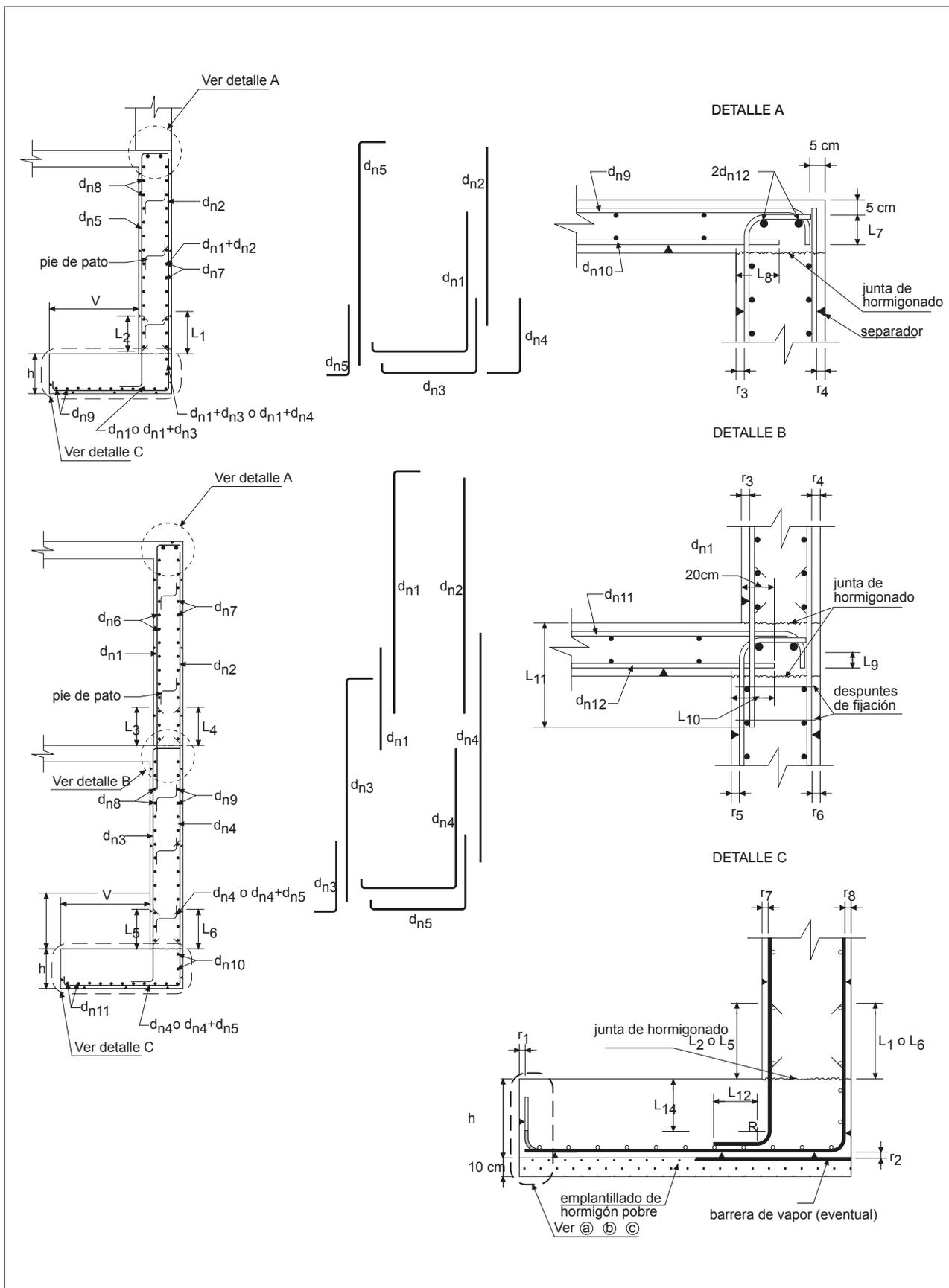
Fundación Corrida Zarpa y Sobrecimiento.



Encepado de dos pilotes.

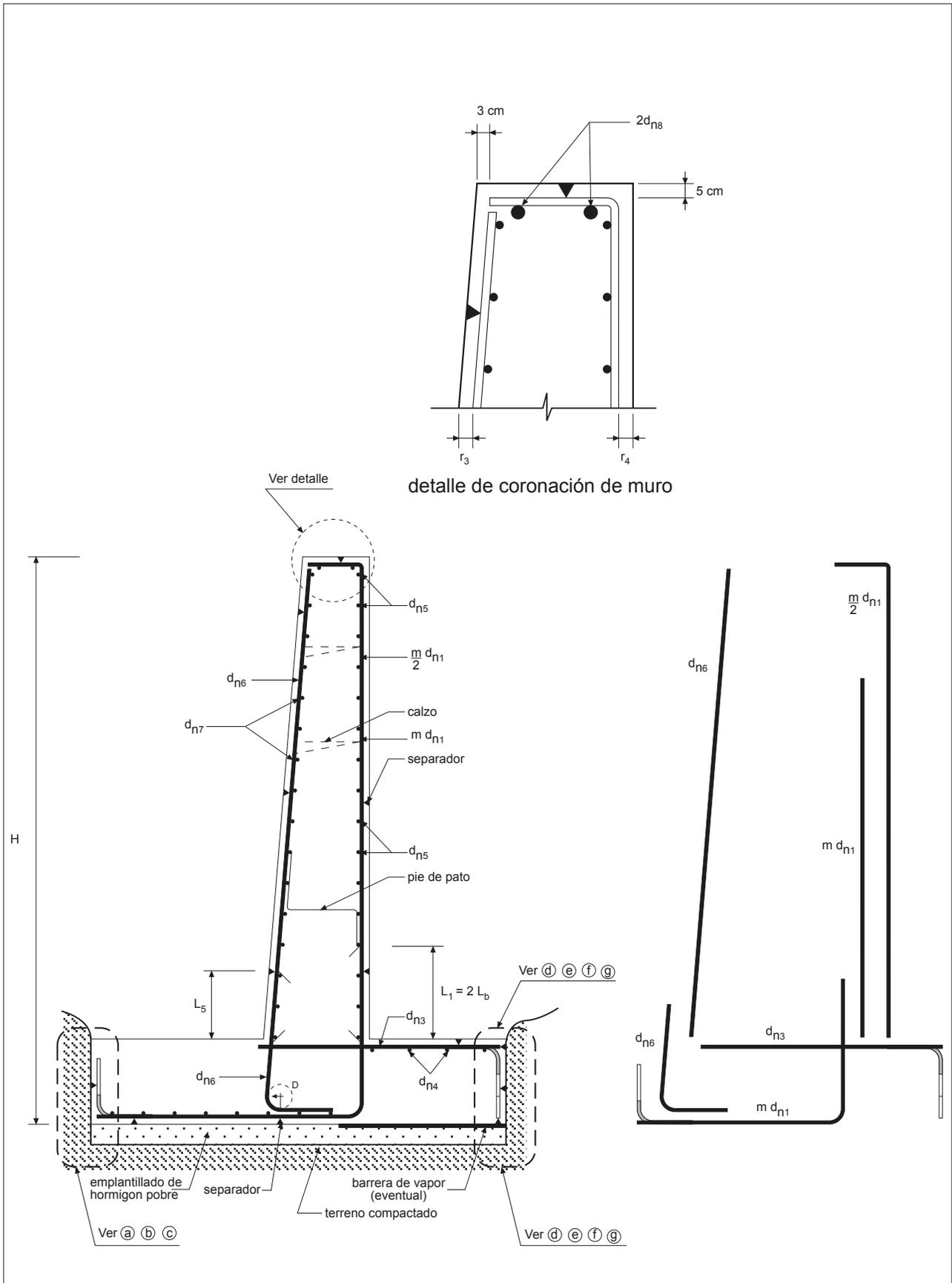


Cimientos Muro Mensula.



Muros de Subterráneo.





Alzados Muro Mensula.

### A.3 SINTESIS DE LAS EXIGENCIAS Y PROHIBICIONES MAS IMPORTANTES

El presente anexo, tiene como finalidad presentar en forma extractada las exigencias, recomendaciones, prohibiciones y restricciones más importantes mencionadas en el presente manual, con el propósito de servir, además, como material de consulta rápida para alguno de los temas y conceptos específicos abordados en el texto.

#### 1. Función e Identificación del Acero de Refuerzo para Hormigón

##### 1.1. Exigencias y Recomendaciones

- Las estructuras de hormigón armado sometidas a esfuerzos de tracción o esfuerzos combinados, siempre deben estar provistas de armaduras de refuerzo.
- Las armaduras longitudinales deben estar confinadas mediante amarras, estribos o zunchos.
- Siempre se debe utilizar la calidad o grado del acero especificado en los planos del proyecto.
- Sólo se deberá utilizar la cantidad y diámetros de las barras especificadas en los planos del proyecto.
- Los encargados de la obra deberán exigir a sus proveedores de acero, la entrega del Certificado de Calidad del Acero de Refuerzo para Hormigón, el cual deberá ser emitido por algún organismo autorizado por el Estado y que deberá contener todos los antecedentes detallados en el capítulo 1 del presente manual.

##### 1.2 Prohibiciones y Restricciones

- Jamás se deberá utilizar una calidad de acero de refuerzo para hormigón que no sea la expresamente especificada en los planos del proyecto estructural.
- Está prohibido reemplazar las cantidades, diámetros y

posiciones de las barras especificadas en los planos, a menos que se cuente con la autorización del ingeniero calculista responsable del proyecto.

#### 2. Transporte, Recepción, Descarga y Almacenamiento del Acero

##### 2.1. Exigencias y Recomendaciones

- Los paquetes o atados de barras se deberán amarrar convenientemente, y su carga sobre la rampa del camión deberá ser repartida en forma uniforme.
- Previo a la recepción conforme del material, verificar la calidad, peso y cantidad del acero con lo dicho en la guía de despacho correspondiente.
- Se recomienda descargar las barras o atados desde el transporte, con la mayor celeridad posible, en forma lateral y lo más cerca del lugar de almacenamiento.
- Se recomienda hacer descansar sobre cuartones los paquetes o atados de barras.
- Utilizar estrobos adecuados para tomar los atados de barras, cuando sean descargados mediante grúa.
- Conocer, respetar y hacer respetar las señales manuales cuando se mueven cargas importantes mediante grúa.
- Almacenar las barras ordenadamente, en casilleros identificados con tarjetas o letreros visibles, según sus diámetros y calidad.

##### 2.2 Prohibiciones y Restricciones

- Las barras no deben exceder el largo normal de la rampa o plataforma del transporte.
- No ingresar a bodega el acero despachado por el proveedor, si existen diferencias entre lo que dice la guía de despacho y lo real recibido.
- No tomar desde las amarras de alambre los paquetes o atados de barras, si son descargados con grúa.

- No dejar las barras o rollos de acero en contacto directo con el terreno.
- No dejar barras sobresalientes en los casilleros de almacenamiento.

### 3. Descripción e Identificación de los Planos y Especificaciones

#### 3.1. Exigencias y Recomendaciones

- Tener presente que, siempre, las cotas priman sobre las escalas indicadas en los planos.
- Se recomienda solicitar al proyectista que indique en todos sus planos, el número de revisión y si es apto y está autorizado para construcción.
- Se recomienda verificar que el plano que se está utilizando sea el de última revisión.
- En los planos generales de construcción, se debe incluir toda la información que permita la ubicación de los diferentes elementos estructurales de hormigón, y la posición, diámetros y cantidades de las barras que componen la armadura dentro de dicho elemento.
- Los planos de detalle deben contener todos los antecedentes de las barras componentes de la armadura, tales como posición, diámetros, cantidades, formas y dimensiones parciales y totales.
- En los planos de estructuras o ingeniería, tal como en la práctica norteamericana, las barras componentes de la armadura se identifican mediante un código de números.
- Los planos de estructuras o ingeniería deben incluir un listado detallado de las barras, con todas las medidas, parciales y totales, y un detalle con sus formas o figuras correspondientes.
- Se recomienda utilizar algún formulario especial para efectuar las ubicaciones, y otro para realizar el aprovechamiento de los cortes de las barras, según los largos en que son suministradas por el proveedor, con el objeto de reducir al máximo las pérdidas por despuntes.

#### 3.2 Prohibiciones y Restricciones

- Si faltare alguna cota en los planos, queda prohibido adoptar su dimensión de acuerdo a la escala señalada por el proyectista.
- Queda prohibido hacer correcciones a los planos, de cualquier tipo o naturaleza, sin la previa autorización escrita del ingeniero calculista.
- En cualquier etapa de la faena de enfierradura, se recomienda no utilizar planos que no sean los de última revisión y que no estén autorizados y aptos para construcción.

### 4. Mano de Obra, Rendimientos y Seguridad

#### 4.1. Exigencias y Recomendaciones

- Todas las actividades de enfierradura, deben ser realizadas por maestros y ayudantes de la especialidad enfierradores, los que serán supervisados por sus respectivos capataces y por el jefe de obra.
- La calificación de los enfierradores será la que quede determinada por el grado de instrucción, conocimientos y experiencia que posea cada uno de ellos.
- Todos los trabajadores deberán respetar los deberes y funciones propios del oficio, según el nivel que tengan dentro de la especialidad enfierradores.
- El rendimiento de la mano de obra tradicional para la fabricación o corte y doblado de las barras depende, fundamentalmente, de la forma de entrega del suministro (rollos o barras rectas), calidad del acero y de los diámetros.
- El rendimiento de la mano de obra del método industrializado de corte y doblado (C&D) para la fabricación de las armaduras depende exclusivamente, de la capacidad instalada en equipos y maquinarias que tenga la industria.

- El rendimiento de la mano de obra para el armado e instalación depende, principalmente, del tipo de elemento de enfierradura (columna, losa, viga, etc), su ubicación en el edificio y de la mezcla de diámetros que componen dicha armadura.
- Para medir el rendimiento de la mano de obra tradicional se recomienda utilizar, indistintamente y el que más se acomode en la práctica, el concepto de kilos por hombre-día (kg/HD) o el de horas-hombre por kilo (HH/kg).
- Se recomienda a los jefes de obra y capataces de enfierradores que, permanentemente, exijan, supervisen y controlen el uso correcto y oportuno de los elementos de protección personal de los maestros y ayudantes enfierradores, especialmente los relacionados con las manos, la cara y la vista.
- A los trabajadores que realicen su actividad en altura, se les deberá exigir, permanentemente, el uso de un cinturón de seguridad, tipo arnés, con cola de vida.
- Se recomienda a todos los trabajadores tener especial cuidado al transitar por las escalas, carreras andamios y áreas abiertas no protegidas.
- Se deberá exigir a los trabajadores que mantengan las áreas de trabajo y circulación limpias, despejadas y libres de restos de materiales y obstáculos.

#### 4.2 Prohibiciones y Restricciones

- Se prohíbe que trabajadores que no sean de la especialidad de enfierradores, realicen tareas propias de este oficio.
- Se prohíbe a los maestros o ayudantes enfierradores, que pertenezcan a una categoría inferior a su calificación, efectuar funciones de trabajadores de la especialidad que sean de una categoría superior, a menos que sean autorizados por su jefe inmediato.
- Se prohíbe a los maestros y ayudantes enfierradores, preparar listas de materiales faltantes, o solicitarlos, si no cuentan con la autorización previa de su jefe inmediato.
- No estará permitido trabajar, a cualquier trabajador, sin

el debido equipo de seguridad personal, o sin las ropas de trabajo que proporciona la empresa.

- Queda prohibido a todos los trabajadores, circular o entrar a cualquier recinto de trabajo especialmente definido como peligroso, sin estar autorizado para ello y fumar, en los lugares que se hayan señalado como prohibidos.

### 5. Fabricación de las Armaduras

#### 5.1 Exigencias y Recomendaciones

- Se recomienda programar y coordinar la fabricación de las armaduras en forma continua, para no atrasar aquellas faenas relacionadas con el avance de la estructura.
- El corte y doblado de las barras mediante el sistema tradicional debe ser efectuado, exclusivamente, por los maestros enfierradores de primera o de segunda.
- Los ayudantes de enfierradores podrán, solamente, secundar a los maestros en la preparación y transporte del material durante la etapa de fabricación.
- Los enfierradores deberán usar las herramientas, equipos y maquinarias adecuados a su oficio.
- Se exigirá que previo al inicio de la fabricación de las armaduras, se deberá retirar de las barras las escamas de laminación sueltas, aceites y grasas o barro adherido.
- Efectuar el corte, siempre, en ángulo recto con respecto al eje de las barras y con ellas perfectamente estiradas.
- Para el método tradicional, se recomienda cortar las barras de diámetros mayores a 12 mm mediante guillotinas, cizallas o cortafríos y las de menores diámetros con napoleones.
- Cortar y doblar las barras solamente en frío, a menos que el ingeniero calculista autorice aplicarles temperatura y siempre que estas actividades sean realizadas por personas calificadas y sean debidamente controladas.
- Respetar, permanentemente, las tolerancias de corte y fabricación establecidas en las especificaciones y planos

del proyecto o por la norma.

- Se tendrá en consideración que, de acuerdo a normas, los dobleces de las barras se describen en términos del diámetro interior de doblado.
- Los maestros enfierradores deberán respetar, estrictamente, las formas, diámetros, dimensiones y calidad del acero de las barras especificadas en los planos del proyecto.
- Es de suma importancia que se respeten los diámetros mínimos de doblado de las barras, y sus medidas, establecidos en las especificaciones y planos del proyecto o por las normas.

## 5.2 Prohibiciones y Restricciones

- Se prohibirá que los enfierradores inicien la fabricación de las armaduras con barras que se encuentren sucias con grasas o aceites, que contengan rebabas o escamas sueltas de laminación o no se encuentren perfectamente estiradas.
- No es recomendable limpiar las barras de acero hasta lograr una superficie pulida, más bien es contraproducente por razones de adherencia.
- Se prohíbe cortar las barras con equipos de oxicorte o mediante electrodos.
- Queda estrictamente prohibido que los enfierradores cambien los diámetros y calidad del acero de las barras y que modifiquen las formas y medidas estipuladas por el ingeniero calculista, en las especificaciones y planos del proyecto.
- No es aceptable exceder las tolerancias para el corte y fabricación establecidas en las especificaciones y planos del proyecto de estructuras o en la norma.
- No se aceptará realizar dobleces de barras con diámetros menores a los estipulados en las especificaciones y planos del proyecto de estructuras o por la norma.
- Quedará prohibido utilizar barras dobladas que presenten grietas o fisuras.
- En general, estará prohibido doblar barras que se

encuentren embebidas en el hormigón, si no se cuenta con la autorización previa del ingeniero calculista, y calentarlas a temperaturas superiores a 420°C para efectuar los dobleces.

## 6. Armado e Instalación de las Armaduras

### 6.1 Exigencias y Recomendaciones

- El armado e instalación de las armaduras deberá ser efectuado por los maestros enfierradores de primera o de segunda mediante el uso de las herramientas y equipos adecuados, y los ayudantes podrán secundarlos, solamente, en el transporte y en la instalación de las amarras, polines y separadores.
- Las armaduras deberán instalarse lo suficientemente firmes, para que se mantengan en su posición y conserven los espesores de recubrimiento especificados, antes de hormigonar.
- Respetar las longitudes de anclaje y de empalmes por traslazo indicadas en los planos del proyecto o las establecidas en la norma.
- La longitud de anclaje de barras rectas traccionadas no podrá ser inferior a 300 mm y de 200 mm para barras comprimidas.
- La longitud de anclaje de barras traccionadas que tengan un gancho normal de 90° o 180°, no podrá ser inferior a 150 mm ni menor a 8 veces el diámetro de la barra.
- La armadura traccionada se deberá extender más allá de los Puntos de Inflexión, en una longitud igual al mayor valor dado por; la altura efectiva  $h$  del elemento de hormigón ó 12 veces el diámetro de la barra.
- En las zonas de momento positivo, con el fin de considerar eventuales cambios en la magnitud de los momentos, se exigirá respetar las proporciones y longitudes mínimas de anclaje establecidas en las especificaciones y planos del proyecto o las estipuladas en la norma.

- Para las zonas de momento negativo, se deberán mantener las proporciones y longitudes mínimas del anclaje embebido en el hormigón indicadas en los planos del proyecto o las estipuladas en la norma, para barras con ganchos normales o barras rectas.
- Los empalmes entre barras sólo se permiten cuando lo requieran y autoricen las especificaciones y planos del proyecto.
- Cuando se traslapen barras, tomar la precaución que los empalmes adyacentes queden escalonados, a lo menos, cada 60 cm en el mismo plano.
- Para el empalme por traslapo de barras traccionadas, mantener las longitudes especificadas en los planos del proyecto o las establecidas en la norma, las cuales, en cualquier caso, no podrá ser inferior a 300 mm de largo.
- Para el empalme por traslapo de barras comprimidas, mantener las longitudes especificadas en los planos del proyecto o las establecidas en la norma, las cuales, en cualquier caso, no podrá ser inferior a 200 mm de largo.
- Cuando se traslapen barras de distinto diámetro sometidas a esfuerzo de compresión, la longitud debe ser la mayor entre; la longitud de desarrollo de la barra de tamaño mayor, o la longitud de traslape de la barra de diámetro menor.
- Elegir el tipo adecuado de amarra con alambre, conforme con alguno de los modelos indicados en la sección correspondiente de este manual y de acuerdo a la exigencia que el caso requiera.
- Para materializar efectivamente las amarras, se recomienda instalar la cantidad indicada en la sección correspondiente de este manual y utilizar alambre negro de 1,6 a 2,1mm de diámetro.
- Se deberá respetar el espaciamiento libre entre barras paralelas especificado en los planos del proyecto, recomendándose en su defecto las medidas mínimas indicadas por la norma.
- El espaciamiento libre entre barras deberá ser el mayor posible para permitir trabajar con el vibrador.

- Las barras de las armaduras deben ser amarradas, ancladas, soportadas y espaciadas convenientemente del moldaje, mediante la instalación de amarras, trabas, soportes y separadores adecuados en cantidad y posición, antes de hormigonar.

## 6.2 Prohibiciones y Restricciones

- En general, no estará permitido utilizar, conjuntamente, diferentes calidades de acero en un mismo elemento de hormigón estructural, a menos que los planos y especificaciones del proyecto indiquen expresamente lo contrario.
- Queda estrictamente prohibido que los enfierradores tomen decisiones propias, sin previa consulta y autorización, en el caso que existieran dudas de interpretación o falta de antecedentes suficientes en los planos y especificaciones del proyecto estructural.
- Los ganchos no son efectivos como anclaje de barras comprimidas, por lo tanto no deben ser utilizados.
- Queda prohibido efectuar empalmes soldados de barras, a menos que esté especificado en los planos del proyecto y se obtenga, además, la certificación y aprobación del IDIEM, DICTUC u otro organismo autorizado por el Estado.
- No utilizar conexiones mecánicas para el empalme de barras, si no están especificadas en los planos o no son aprobadas previamente por el ingeniero calculista.
- No utilizar espaciamientos libres entre barras longitudinales que sean menores de 2,5 cm para vigas, de 4 cm para pilares o de 1,3 veces el tamaño máximo del agregado pétreo del hormigón.
- No se deberá iniciar la faena de hormigonado si las armaduras no han sido verificadas en cuanto a sus anclajes, correcta posición y capacidad de soporte.

## 7. Protección de las Armaduras contra la Corrosión

### 7.1. Exigencias y Recomendaciones

- Los recubrimientos de hormigón, como protección contra la corrosión o el fuego, deben medirse desde la superficie o cara del hormigón, hasta la superficie exterior del acero, incluidos los estribos y amarras.
- La protección contra la corrosión debe aplicarse según el criterio de exposición directa y de acuerdo a las condiciones ambientales imperantes; normales o severas.
- Se deberán respetar los espesores de recubrimiento de hormigón especificados en los planos del proyecto o en su defecto, utilizar los mínimos establecidos por la norma y recomendados para los casos más comunes usados en Chile.
- Utilizar separadores de moldaje o soportes de barras para mantener los recubrimientos de hormigón, especificados en los planos del proyecto
- Respetar las resistencias al fuego, para los tipos de edificios y elementos de construcción, definidos en la Ordenanza General de Construcción o especificadas en los planos.
- Los elementos o materiales con valores inferiores a 15 minutos de rating de fuego, se clasifican como no resistentes al fuego.
- Si a un mismo elemento, le corresponden dos o más resistencias al fuego, por cumplir diversas funciones a

la vez, siempre se deberá satisfacer la mayor de las exigencias.

- Los recubrimientos mínimos de hormigón, como protección de las armaduras contra el fuego, deben ser los indicados por los planos del proyecto, o en su defecto se deberá consultar con el ingeniero calculista y solicitar su autorización para utilizar los valores mínimos indicados en las secciones corresponden en el presente manual.
- Siempre utilizar un espesor de recubrimiento de hormigón, igual al mayor valor dado entre el establecido como protección contra la corrosión y el para el fuego.

### 7.2. Prohibiciones y Restricciones

- No considerar como parte del recubrimiento protector mínimo contra la corrosión de las armaduras y contra el fuego, los estucos, pavimentos o revestimientos de cualquier naturaleza.
- No considerar las zonas que lleven un labrado o roturado, posterior al hormigonado, como sectores exentos de protección de las armaduras.
- No se permitirá la existencia de grietas o fisuras en elementos estructurales verticales y horizontales que soporten carga o en separaciones de cualquier naturaleza, con el propósito de evitar la penetración de agentes agresivos del ambiente y la propagación de llamas o gases propios de la combustión durante un incendio.

#### A.4 GLOSARIO DE CONCEPTOS RELATIVOS A LA CORROSION

**Acuoso:** Medio que contiene agua, en que ésta actúa como electrolito o conductor iónico de la corriente.

**Adherencia:** Fuerza de unión entre el hormigón y el acero.

**Aditivo:** Sustancia que se incorpora al hormigón, antes o durante el amasado, en una proporción adecuada relativa al peso del cemento, con una finalidad concreta.

**Agente Agresivo:** Componente del medio al que le es atribuible la acción corrosiva sobre el acero.

**Agrietamiento:** Roturas en el hormigón que siguen una trayectoria única o ramificada.

**Agua Salobre:** Agua con un moderado contenido de sales disueltas, inferior al agua de mar.

**Aireación Diferencial:** Diferente concentración de oxígeno en zonas distintas de un mismo material, que puede ocasionar corrosión localizada del metal.

**Amasado:** Operación que se realiza para lograr una mezcla homogénea de los materiales que constituyen el hormigón.

**Anodo:** Zona del metal donde tiene lugar la reacción de oxidación. Lugar donde se produce la corrosión de la armadura (zona activa).

**Anodo de Sacrificio:** Metal activo empleado como ánodo en sistemas de protección catódica.

**Aridos:** Materiales generalmente inertes, naturales o no, y de forma estable, apropiados para la confección de morteros y hormigones.

**Caída Ohmica:** Diferencia de potencial entre dos puntos de una resistencia por la que pasa una corriente.

**Capa Pasivante:** Película, de espesor de unas decenas de angstroms, de óxidos, oxígeno absorbido, o muchas veces de naturaleza desconocida, que al formarse sobre el metal reducen la velocidad de corrosión.

**Carbonatación del Hormigón:** Disminución del pH producido por la reacción de los componentes ácidos del medio (atmósfera, dióxido de azufre y dióxido de carbono, principalmente) con la fase líquida intersticial del hormigón.

**Cátodo:** Zona del metal donde tiene lugar la reacción de reducción (zona pasiva).

**Cemento:** Conglomerante hidráulico de naturaleza inorgánica y mineral, que finamente molido y convenientemente amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece a causa de las reacciones de hidrólisis y de hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como bajo agua.

**Cenizas Volantes:** Residuos sólidos recogidos por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales térmicas alimentadas con carbonos pulverizados.

**Control de Corrosión:** Mantenimiento de la velocidad de corrosión y de la forma de ataque en el sistema acero-hormigón, en un nivel y forma tolerable y a un costo aceptable.

**Corriente de Polarización:** Corriente que induce a un cambio de potencial del electrodo.

**Corriente Impresa:** Corriente continua suministrada por una fuente externa al sistema electroquímico, que sirve para la protección catódica de una instalación.

**Corrosión:** Interacción destructiva de un metal/aleación, por reacción química o electroquímica con el medio ambiente que lo rodea.

**Corrosión Atmosférica:** Corrosión de un metal/aleación por especies químicas presentes en la atmósfera, generalmente al aire libre.

**Corrosión Galvánica:** Corrosión del acero debida al contacto eléctrico con otro material de actividad diferente, y expuestos en el mismo medio.

**Corrosión Uniforme:** Corrosión uniformemente distribuida sobre la superficie del metal, que se desarrolla a una velocidad similar en todos los puntos de dicha superficie.

**Corrosión por Corrientes Vagabundas:** Corrosión debida a corrientes erráticas que se escapan de instalaciones eléctricas, penetran en el metal y lo corroen en el punto de salida hacia el medio que lo rodea.

**Corrosión por Picadura:** Ataque corrosivo muy localizado que produce una penetración apreciable en el metal.

**Corrosividad:** Agresividad o potencial corrosivo de un medio.

**Curado:** Proceso a través del cual ocurren las reacciones químicas necesarias para la formación de la matriz del

aglomerante en el hormigón.

**Degradación del Hormigón:** Pérdida o reducción de las propiedades físico-químicas del hormigón.

**Delaminación o Descascaramiento:** Desprendimiento de fragmentos del hormigón, a causa de las tensiones generadas por la corrosión del acero o por las dilataciones y contracciones diferenciales.

**Densidad de Corriente:** Intensidad de corriente por unidad de superficie del electrodo.

**Ductilidad:** Capacidad que poseen los componentes de un sistema estructural de moverse alternadamente en el dominio inelástico, sin pérdida apreciable de su capacidad resistente.

**Durabilidad:** Término referido a una estructura que indica la vida en servicio, remanente de la misma.

**Eflorescencia:** Sal soluble en agua exudada y depositada en el exterior del hormigón.

**Electrodo:** Metal en contacto con un medio electrolítico.

**Electrolito:** Medio que conduce la corriente a través de la movilidad de los iones contenidos en él.

**Escorias:** Subproductos resultantes de la combinación de las gangas de los minerales metálicos, o del refino de los metales, con los fundentes y materiales de afino empleados en los procesos metalúrgicos.

**Espesor de Recubrimiento:** Distancia libre mínima entre cualquier punto de la superficie lateral de una barra y el paramento más próximo del elemento de hormigón armado.

**Exudación:** Fenómeno según el cual se produce una acumulación progresiva, en la superficie de una masa de hormigón fresco, de parte del agua de la mezcla al realizar la compactación o vibrado y que genera la sedimentación del hormigón.

**Factor de Picadura:** Relación entre la penetración de la picadura más profunda y la penetración media calculada a partir de la pérdida de peso o masa lineal del material.

**Fragilización por Hidrógeno:** Pérdida de ductilidad causada por la entrada de hidrógeno en el acero.

**Grieta o Fisura:** Hendidura o abertura que se forma en el hormigón.

**Herrumbre:** Producto de corrosión del hierro y aleaciones de base hierro, de color pardo rojizo o rojizo, compuesto

principalmente por óxido férrico.

**Hidrófobo:** Radical químico  $\text{OH}^-$ , de naturaleza básica.

**Humedad Crítica:** Valor de la humedad relativa por encima de la cual se hace patente la corrosión atmosférica del acero la cual, por encima de este umbral, aumenta de manera acentuada con el grado de humedad.

**Humedad Relativa (HR):** La relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera a una temperatura dada y la cantidad requerida para la saturación a la temperatura indicada.

**Impregnación del Hormigón:** Incorporación de las moléculas de un líquido a los poros e intersticios del hormigón endurecido.

**Inhibidor de Corrosión:** Sustancia o mezclas de sustancias que adicionadas en concentraciones mínimas en el medio, son capaces de reducir de manera eficaz la velocidad de corrosión del acero.

**Inmunidad:** Estado en el que se elimina la corrosión, por imposición a la superficie metálica de potenciales más negativos que el potencial de equilibrio de la semireacción anódica de oxidación.

**Juntas de Dilatación:** Espacio que se deja entre dos elementos estructurales continuos para permitir el movimiento libre de cada uno de ellos.

**Lixiviación del Hormigón:** Proceso de extracción de componentes solubles, por percolación de agua, a través del hormigón.

**Material Puzolánico:** Producto natural o artificial capaz de combinarse con la cal grasa, hidráulica o de hidrólisis de cementos, a la temperatura ambiente y en presencia de agua, para formar compuestos hidráulicos semejantes a los originados en la hidratación de los constituyentes del clínker Pórtland.

**Medio Ambiente:** Entorno o condiciones físicas y químicas de un material o sistema.

**Medio Industrial:** Entorno en el cual existe alta contaminación con  $\text{SO}_2$ , material en forma de partículas y otros contaminantes.

**Medio Marino:** Entorno en el cual los principales factores corrosivos son las partículas de  $\text{NaCl}$  que el viento dispersa.

**Medio Rural:** Entorno que casi no posee contaminantes químicos fuertes, pero puede contener polvos orgánicos e

inorgánicos. Sus constituyentes principales son la humedad y gases como CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.

**Medio Urbano:** Entorno que se caracteriza por la presencia de SO<sub>2</sub>, polvo, gran cantidad de CO<sub>2</sub>, hollín y otros contaminantes.

**Metal Activo:** Se refiere a la dirección negativa del potencial del electrodo. Metal que se está corroyendo o tiene tendencia a corroerse.

**Metal Noble:** Metal que normalmente se encuentra en la naturaleza en su forma elemental. También se denominan así a aquellos metales o aleaciones que presentan muy baja tendencia a reaccionar en un medio específico.

**Nidos:** Espacios vacíos de corta extensión en el hormigón, generalmente ocasionados por un vibrado inadecuado.

**Oxidación:** Pérdida de electrones de un metal/aleación en una reacción. En un sistema electroquímico tienen lugar en el ánodo.

**Pasivación:** Reducción de la velocidad de oxidación de un metal, por la formación de productos de reacción sobre su superficie.

**Pasivante:** Agente que produce la pasivación y que hace variar el potencial del metal hacia valores más positivos o nobles.

**Percolación:** Acción de hacer pasar un fluido a través de un material.

**pH:** Medida de la acidez o alcalinidad de una solución. En estricto rigor, es el logaritmo negativo de la concentración iónica de hidrógeno en la solución;  $\text{pH} = -\log C_{\text{H}}$ , en donde el valor 7 de pH corresponde a una solución neutra, los valores inferiores a medios ácidos y los superiores a alcalinos.

**Pila de Concentración:** Pila de corrosión cuya diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo se debe a diferencias en la concentración de uno o más constituyentes electroquímicamente reactivos, como el oxígeno disuelto en el electrolito.

**Polarización:** Variación del valor del potencial de un electrodo debido al paso de corriente, a consecuencia de efectos tales como la transferencia de carga, transporte, reacción química, etc. El potencial de un ánodo se desplaza hacia valores más positivos y el de un cátodo hacia valores más negativos o activos. Si esta variación es muy pequeña se dice que el electrodo no es polarizable.

**Porosidad:** Cociente entre el volumen de los poros y el volumen aparente del hormigón. Porcentaje de huecos formados por canales visibles o invisibles en el hormigón.

**Poros Capilares:** Intersticios entre los granos o partículas constituyentes del medio sólido discontinuo, como es el hormigón.

**Potencial del Electrodo:** Diferencia de potencial de un metal, medida con relación a un electrodo de referencia, sin caída ohmica.

**Potencial de Equilibrio:** Potencial de un electrodo en una disolución en estado de equilibrio.

**Potencial de Corrosión:** Es el potencial de un metal que se corroe en un medio dado, como es el hormigón, sin flujo de corriente externa.

**Protección Catódica:** Reducción o eliminación del fenómeno de corrosión de una superficie metálica, por medio de una polarización que desplace su potencial hasta valores menos oxidantes, mediante el uso de ánodos de sacrificio o de corriente impresa.

**Protección por Sacrificio:** Disminución de la corrosión de un metal por acoplamiento con otro metal más anódico.

**Puzolana Natural:** Principalmente rocas tobáceas, volcánicas, vítreas, de naturaleza traquítica alcalina o pumacita. También las harinas fósiles de naturaleza silícica, como la diatomita.

**Red de Grietas:** Conjunto de grietas en forma de mallas poligonales, a veces limitadas a la superficie del cuerpo.

**Repasivación:** Fenómeno constante de la recuperación al estado pasivo, en toda la superficie de un metal que lo había perdido localmente al corroerse por picaduras.

**Sales de Deshielo:** Sales usadas con el propósito de bajar el punto de congelación del hielo.

**Semipila:** Sistema formado por un metal en contacto con un electrolito. Entre el metal y la disolución se establece una diferencia de potencial, y la unión de dos semipilas da lugar a una pila.

**Velocidad de Corrosión:** Valor medido del efecto de la corrosión por unidad de tiempo y de superficie. Generalmente se expresa como pérdida de peso por unidad de superficie y tiempo, o penetración por unidad de tiempo.

## A.5 CONVERSION DE UNIDADES

Tabla A.5.1					
Factores de Conversión de Unidades					
Cantidad	Multiplicar		por	Para obtener	
Longitud Espesor	centímetro	cm	0,3937	pulgada	in
	decímetro	dm	0,3281	pié	ft
	kilómetro	km	0,6215	milla terrestre	mill t
	metro	m	1,0936	yarda	yd
	micra	$\mu$	0,001	milímetro	mm
	milímetro	mm	$10^{-3}$	metro	m
	milla náutica	mill n	1,852	kilómetro	km
	pié	ft	12,0	pulgada	in
	pulgada	in	2,540	centímetro	cm
	milésima de pulgada	mils	$2,54 \times 10^{-2}$	milímetro	mm
yarda	yd	36,0	pulgada	in	
Area	centímetro cuadrado	cm <sup>2</sup>	0,1550	pulgada cuadrada	in <sup>2</sup>
	hectárea	há	$10^4$	metro cuadrado	m <sup>2</sup>
	metro cuadrado	m <sup>2</sup>	10,76	pié cuadrado	ft <sup>2</sup>
	milímetro cuadrado	mm <sup>2</sup>	$10^{-2}$	centímetro cuadrado	cm <sup>2</sup>
	pié cuadrado	ft <sup>2</sup>	$9,29 \times 10^{-2}$	metro cuadrado	m <sup>2</sup>
	pulgada cuadrada	in <sup>2</sup>	6,452	centímetro cuadrado	cm <sup>2</sup>
	yarda cuadrada	yd <sup>2</sup>	9,0	pié cuadrado	ft <sup>2</sup>
Volumen	centímetro cúbico	cm <sup>3</sup>	$6,102 \times 10^{-2}$	pulgada cúbica	in <sup>3</sup>
	galón Británico	gl (b)	4,546	litro	lt
	litro	lt	0,2642	galón US	gl (a)
	metro cúbico	m <sup>3</sup>	35,31	pié cúbico	ft <sup>3</sup>
	milímetro cúbico	mm <sup>3</sup>	$10^{-3}$	centímetros cúbicos	cm <sup>3</sup>
	pié cúbico	ft <sup>3</sup>	0,02832	metro cúbico	m <sup>3</sup>
	pulgada cúbica	in <sup>3</sup>	16,39	centímetros cúbicos	cm <sup>3</sup>
Masa	miligramo	mg	$10^{-3}$	gramo	g
	gramo	g	$35,27 \times 10^{-3}$	onza (avoidupois)	oz-av
	kilogramo	kg	2,205	libra (avoidupois)	lb-av
	tonelada métrica	t	$10^3$	kilogramos	kg
	tonelada corta	tc	$2 \times 10^3$	libra (avoidupois)	lb-av
	onza (avoidupois)	oz-av	28,35	gramo	g
	libra (avoidupois)	lb-av	0,4536	kilogramo	kg
Masa/unidad de longitud	kilogramo/metro	kg/m	0,6720	libra/pié	lb/ft
	kilogramo/metro	kg/m	$5,6 \times 10^{-2}$	libra/pulgada	lb/in
	libra/pié	lb/ft	1,488	kilogramo/metro	kg/m
	libra/pulgada	lb/in	17,86	kilogramo/metro	kg/m

**Tabla A.5.1**
**Factores de Conversión de Unidades**

Cantidad	Multiplicar		por	Para obtener	
Masa/unidad de volumen Densidad	gramo/centímetro cúbico	g/cm <sup>3</sup>	36,13 x 10 <sup>-3</sup>	libra/pulgada cúbica	lb/in <sup>3</sup>
	kilogramo/metro cúbico	kg/m <sup>3</sup>	62,43 x 10 <sup>-3</sup>	libra/pié cúbico	lb/ft <sup>3</sup>
	libra/pulgada cúbica	lb/in <sup>3</sup>	27,68	gramo/centímetro cúbico	g/cm <sup>3</sup>
	libra/pié cúbico	lb/ft <sup>3</sup>	16,02	kilogramo/metro cúbico	kg/m <sup>3</sup>
Fuerza	kilogramo-fuerza	kgf	9,807	Newton	N
	kilogramo-fuerza	kgf	2,205	libra-fuerza	lbf
	Newton	N	0,1020	kilogramo-fuerza	kgf
	libra-fuerza	lbf	0,4536	kilogramo-fuerza	kgf
Fuerza/unidad de Area Presión Tensión	kilogramo-fuerza / cm cuadrado	kgf/cm <sup>2</sup>	98,07 x 10 <sup>-3</sup>	mega pascal	MPa
	kilogramo-fuerza/cm cuadrado	kgf/cm <sup>2</sup>	14,22	libra-fuerza/pulgada cuadrada	psi
	mega pascal	MPa	10,20	kilogramo-fuerza/cm cuadrado	kgf/cm <sup>2</sup>
	libra-fuerza/pulgada cuadrada	psi	7,03 x 10 <sup>-2</sup>	kilogramo-fuerza/cm cuadrado	kgf/cm <sup>2</sup>
Momento Flector Torque	kilogramo-fuerza x metro	kgf x m	9,807	Newton x metro	N x m
	kilogramo-fuerza x metro	kgf x m	7,233	libra-fuerza x pié	lbf x ft
	Newton x metro	N x m	0,1020	kilogramo-fuerza x metro	kgf x m
	libra-fuerza x pié	lbf x ft	0,1383	kilogramo-fuerza x metro	kgf x m
Angulo	grado	°	17,45 x 10 <sup>-3</sup>	radián	Rad
	radián	rad	57,30	grado	°
Temperatura	grado Fahrenheit	°F	(°F-32)/1,8	grado Celsius	°C
	grado Celsius	°C	1,8x°C+32	grado Fahrenheit	°F

Tabla A.5.2

## Area, Masa y Perímetro Nominal - Barras de Refuerzo AZA para Hormigón

d <sub>n</sub> mm		Número de barras									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	Area cm <sup>2</sup>	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03
	Masa kg/m	0,395	0,790	1,185	1,580	1,975	2,370	2,765	3,160	3,555	3,950
	Perímetro cm	2,51	5,027	7,540	10,05	12,57	15,08	17,59	20,11	22,62	25,13
10	Area cm <sup>2</sup>	0,79	1,57	2,356	3,142	3,927	4,712	5,498	6,283	7,069	7,854
	Masa kg/m	0,617	1,234	1,851	2,468	3,085	3,702	4,319	4,936	5,553	6,170
	Perímetro cm	3,14	6,283	9,425	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42
12	Area cm <sup>2</sup>	1,13	2,262	3,393	4,524	5,655	6,786	7,917	9,048	10,18	11,31
	Masa kg/m	0,888	1,776	2,664	3,552	4,440	5,328	6,216	7,104	7,992	8,880
	Perímetro cm	3,77	7,540	11,31	15,08	18,85	22,62	26,39	30,16	33,93	37,70
16	Area cm <sup>2</sup>	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11
	Masa kg/m	1,58	3,160	4,740	6,320	7,900	9,480	11,06	12,64	14,22	15,80
	Perímetro cm	5,03	10,05	15,08	20,11	25,13	30,16	35,19	40,21	45,24	50,27
18	Area cm <sup>2</sup>	2,54	5,089	7,634	10,18	12,72	15,27	17,81	20,36	22,90	25,45
	Masa kg/m	2,00	4,000	6,000	8,000	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00
	Perímetro cm	5,65	11,31	16,96	22,62	28,27	33,93	39,58	45,24	50,89	56,55
22	Area cm <sup>2</sup>	3,80	7,603	11,40	15,21	19,01	22,81	26,61	30,41	34,21	38,01
	Masa kg/m	2,98	5,960	8,940	11,92	14,90	17,88	20,86	23,84	26,82	29,80
	Perímetro cm	6,91	13,82	20,73	27,65	34,56	41,47	48,38	55,29	62,20	69,12
25	Area cm <sup>2</sup>	4,91	9,817	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18	49,09
	Masa kg/m	3,85	7,700	11,55	15,40	19,25	23,10	26,95	30,80	34,65	38,50
	Perímetro cm	7,85	15,71	23,56	31,42	39,27	47,12	54,98	62,83	70,69	78,54
28	Area cm <sup>2</sup>	6,16	12,32	18,47	24,63	30,79	36,95	43,10	49,26	55,42	61,58
	Masa kg/m	4,83	9,660	14,49	19,32	24,15	28,98	33,81	38,64	43,47	48,30
	Perímetro cm	8,80	17,59	26,39	35,19	43,98	52,78	61,58	70,37	79,17	87,96
32	Area cm <sup>2</sup>	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42
	Masa kg/m	6,31	12,62	18,93	25,24	31,55	37,86	44,17	50,48	56,79	63,10
	Perímetro cm	10,05	20,11	30,16	40,21	50,27	60,32	70,37	80,42	90,48	100,5
36	Area cm <sup>2</sup>	10,18	20,36	30,54	40,72	50,89	61,07	71,25	81,43	91,61	101,8
	Masa kg/m	7,99	15,98	23,97	31,96	39,95	47,94	55,93	63,92	71,91	79,90
	Perímetro cm	11,31	22,62	33,93	45,24	56,55	67,86	79,17	90,48	101,8	113,1
40	Area cm <sup>2</sup>	12,56	25,12	37,68	50,24	62,80	75,36	87,92	100,5	113,0	125,6
	Masa kg/m	9,87	19,7	29,6	39,5	49,4	59,2	69,1	79,0	88,8	98,7
	Perímetro cm	12,6	25,2	37,8	50,4	63,0	75,6	88,2	101	113	126

## A.6 PROPIEDADES GEOMETRICAS DE SECCIONES

### A.6.1 Nomenclatura Empleada

Símbolo	Definición
---------	------------

A	= Área, superficie, sección
---	-----------------------------

$A_m$	= Superficie lateral, manto
-------	-----------------------------

$A_o$	= Superficie exterior
-------	-----------------------

b	= Ancho
---	---------

D,d	= Diámetro, diagonal
-----	----------------------

h	= Altura
---	----------

L	= Longitud, largo
---	-------------------

Símbolo	Definición
---------	------------

R,r	= Radio
-----	---------

S,s	= Recorrido, espesor
-----	----------------------

P	= Perímetro
---	-------------

V	= Volúmen
---	-----------

$\alpha, \beta, \gamma$	= Ángulos
-------------------------	-----------

$\pi$	= Constante: 3,14159...
-------	-------------------------

## A.6.2 Superficies

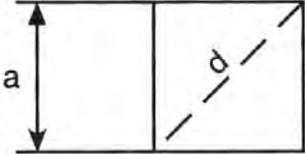
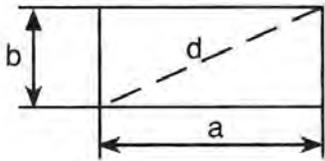
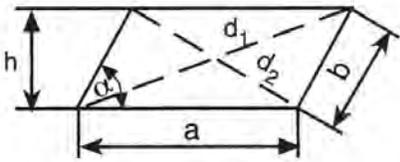
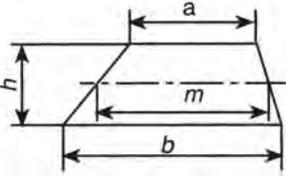
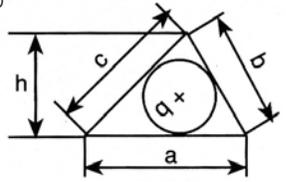
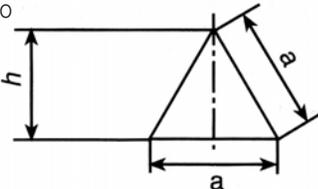
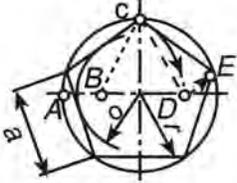
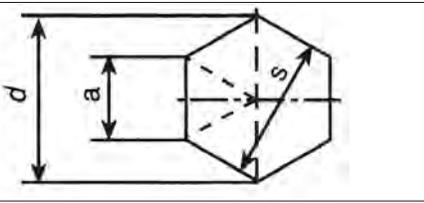
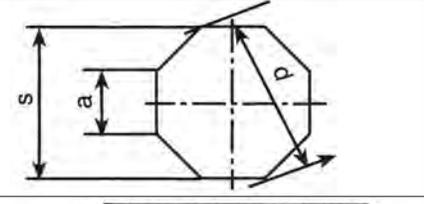
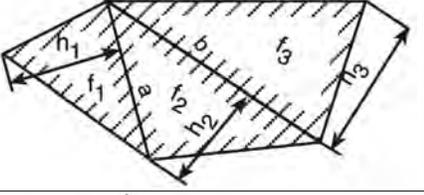
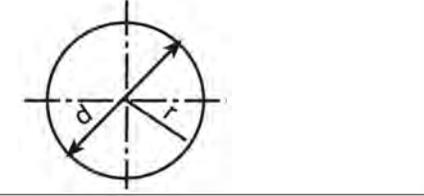
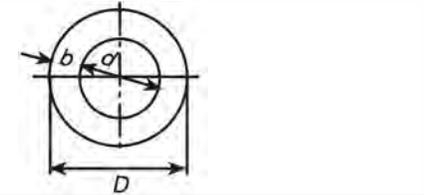
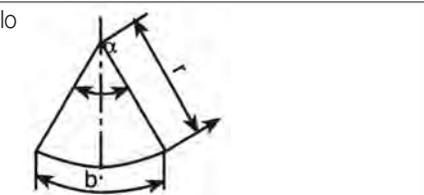
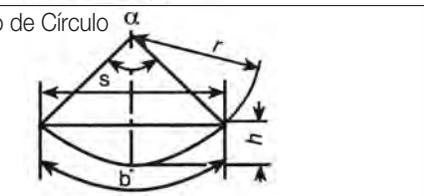
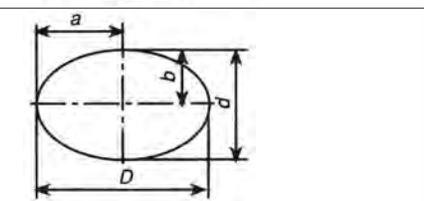
Tabla 6.1	
Figura	Fórmula
Cuadrado 	$A = a^2$ $a = \sqrt{A}$ $d = a\sqrt{2}$
Rectángulo 	$A = a * b$ $d = \sqrt{a^2 + b^2}$
Paralelogramo 	$A = a * h = a * \text{sen } \alpha$ $d_1 = \sqrt{(a + h * \cot \alpha)^2 + h^2}$ $d_2 = \sqrt{(a - h * \cot \alpha)^2 + h^2}$
Trapecio 	$A = \frac{a+b}{2} h = m * h$ $M = \frac{a+b}{2}$
Triángulo Escaleno 	$A = \frac{a * h}{2} \quad h = q * s$ $= \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$ $s = \frac{a+b+c}{2}$
Triángulo Equilátero 	$A = \frac{a^2 \sqrt{3}}{4}$ $h = \frac{a \sqrt{3}}{2}$
Pentágono 	$A = \frac{5}{8} r^2 \sqrt{10 + 2\sqrt{5}}$ $a = \frac{1}{2} r \sqrt{10 - 2\sqrt{5}}$ $q = \frac{1}{4} r \sqrt{6 + 2\sqrt{5}}$

Tabla 6.1 (conclusión)

Figura	Fórmula
<p>Hexágono</p> 	$A = 3 \cdot \frac{a^2 \sqrt{3}}{2}$ $d = 2 \cdot a$ $= 1,155 \cdot s$ $s = 0,866 \cdot d$
<p>Octágono</p> 	$A = 2 \cdot a \cdot s = 0,833 \cdot s^2$ $a = 2 \cdot s \sqrt{d^2 - s^2}$ $a = 0,415 \cdot s$ $s = 0,924 \cdot d$ $d = 1,083 \cdot s$
<p>Polígono</p> 	$A = f_1 + f_2 + f_3$ $= \frac{a \cdot h_1 + b \cdot h_2 + c \cdot h_3}{2}$
<p>Círculo</p> 	$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = r^2 \cdot \pi$ $= \sim 0,785 \cdot d^2$ $U = 2 \cdot r \cdot \pi = d \cdot \pi$
<p>Anillo</p> 	$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$ $= (d + b) b \cdot \pi$ $b = \frac{D - d}{2}$
<p>Segmento de Círculo</p> 	$A = r^2 \cdot \frac{\pi \cdot \alpha^\circ}{360^\circ} = r^2 \cdot \alpha$ $= \frac{b \cdot r}{2}$ $b = \frac{r \cdot \pi \cdot \alpha^\circ}{180^\circ}$ $a = \frac{\alpha^\circ \cdot \pi}{180^\circ} (\triangleq \text{Medida del arco})$
<p>Corte de Segmento de Círculo</p> 	$s = 2 \cdot r \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$ $A = \frac{h}{6 \cdot s} (3h^2 + 4s^2) = r^2 \cdot \frac{\alpha - \sin \alpha}{2}$ $r = \frac{h + s^2}{2 \cdot 8 \cdot h}$ $h = r(1 - \cos \frac{\alpha}{2}) = s \tan \frac{\alpha}{4}$ $a = \text{Medida de arco } (\triangleq \text{ver Segmento de Círculo})$
<p>Elipse</p> 	$a = \frac{D \cdot d \cdot \pi}{4} = a \cdot b \cdot \pi$ $U \approx \frac{D + d}{2} \pi$ $= \pi (a + b) \left[ 1 + \frac{1}{4} \lambda^2 + \frac{1}{64} \lambda^4 + \frac{1}{256} \lambda^6 + \frac{25}{16384} \lambda^8 + \dots \right], \text{ Donde } \lambda = \frac{a - b}{a + b}$

## A.6.3 Cuerpos

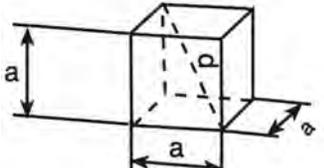
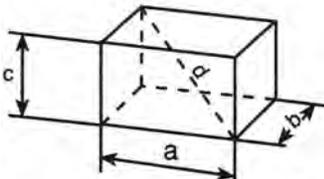
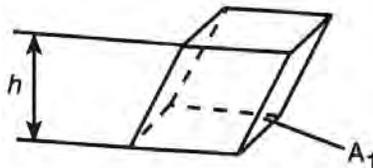
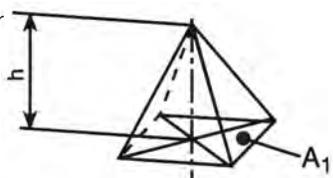
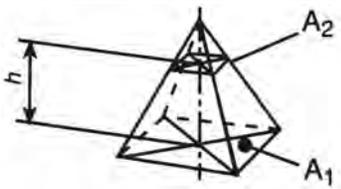
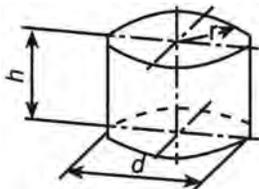
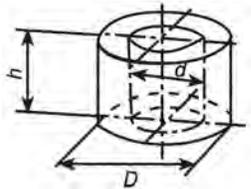
Tabla 6.2		
	Figura	Fórmula
Cubo		$V = a^3$ $A_o = 6 * a^2$ $d = a\sqrt{3}$
Prisma Recto		$V = a * b * c$ $A_o = 2 (ab + ac + bc)$ $d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$
Prisma Oblicuo		$V = A_1 * h$
Pirámide Rectangular		$V = \frac{A_1 * h}{3}$
Pirámide Truncada		$V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 * A_2})$ $\approx h \frac{A_1 + A_2}{2}$
Cilindro		$V = \frac{d^2 * \pi * h}{4}$ $A_m = 2 * r * \pi * h$ $A_o = 2 * r * \pi * (r + h)$
Cilindro Hueco		$V = \frac{h * \pi * (D^2 - d^2)}{4}$

Tabla 6.2 (continuación)

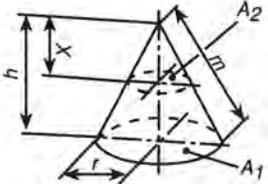
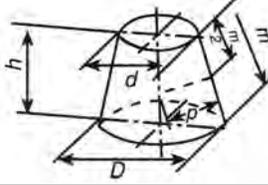
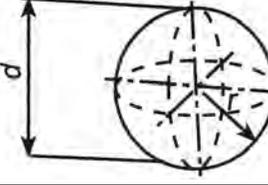
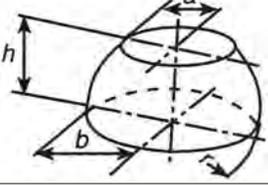
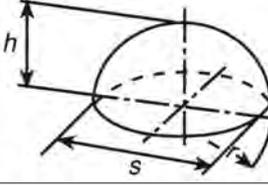
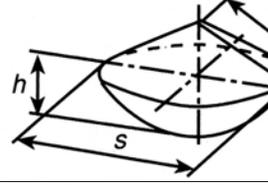
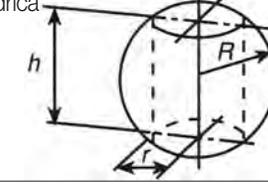
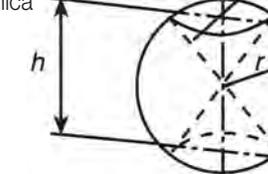
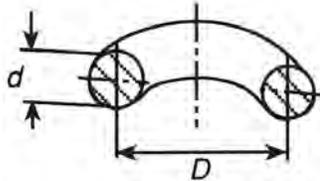
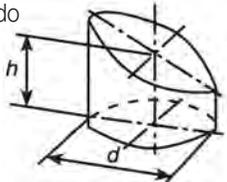
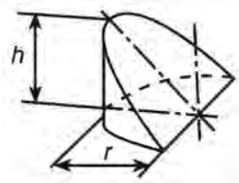
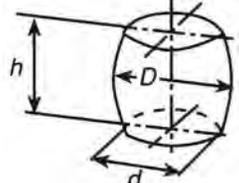
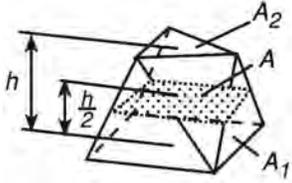
Figura	Fórmula
<p>Cono</p> 	$V = \frac{r^2 * p * h}{3}$ $A_m = r * p * h$ $A_o = r * p * (r + m)$ $M = \sqrt{h^2 + r^2}$ $A^2 : A_1 = x^2 : h^2$
<p>Cono Truncado</p> 	$V = \frac{p * h}{12} (D^2 + Dd + d^2)$ $A_m = \frac{p * m}{2} (D + d) = 2pph$ $m = \sqrt{\frac{(D - d)^2}{2} + h^2}$
<p>Esfera</p> 	$V = \frac{4}{3} r^3 * \pi = \frac{1}{6} d^3 * \pi$ $= \sim 4,189 * r^3$ $A_0 = 4 * \pi * r^2 = \pi * d^2$
<p>Segmento de Esfera</p> 	$V = \frac{\pi * h}{6} (3a^2 + 3b^2 + h)$ $A_m = 2 * r * \pi * h$ $A = \pi(2rh + a^2 + b^2)$
<p>Segmento de Esfera</p> 	$V = \frac{\pi * h}{6} (3s^2 + h^2)$ $= \pi * h^2 (r - \frac{h}{3})$ $A_m = 2 * p * r * h$ $= \frac{\pi}{4} (s^2 + 4h^2)$
<p>Segmento de Esfera</p> 	$V = \frac{2}{3} * h * r^2 * \pi$ $A_0 = \frac{\pi * r}{2} (4h + s)$
<p>Esfera con Perforación Cilíndrica</p> 	$V = \frac{\pi * h^3}{6}$ $A_0 = 2 * \pi * h * (R + r)$
<p>Esfera con Perforación Cónica</p> 	$V = \frac{2 * r^2 * \pi * h}{3}$ $A_0 = 2 * r * \pi (h + \sqrt{r^2 + \frac{h^2}{4}})$

Tabla 6.2 (conclusión)	
Figura	Fórmula
<p>Anillo Circular</p> 	$V = \frac{D \cdot \pi^2 \cdot d^2}{4}$ $A_0 = D \cdot d \cdot \pi^2$
<p>Cilindro con Corte Inclinado</p> 	$V = \frac{d^2 \cdot \pi \cdot h}{4}$
<p>Segmento de Cilindro</p> 	$V = \frac{2 \cdot r^2 \cdot h}{3}$ $A_m = 2 \cdot r \cdot h$ $A_0 = A_m + \frac{r^2 \cdot \pi}{2} + \frac{\pi \cdot \sqrt{r^2 + h^2}}{2}$
<p>Barril</p> 	$V = \frac{h \cdot \pi \cdot (2D^2 + d^2)}{12}$
<p>Prismatoide</p> 	$V = \frac{h}{6} (A_1 + A_2 + 4 \cdot A)$

A.6.4 Formulas Trigonómicas

**Triángulo Rectángulo ABC**

Radio AD = AB = AH = 1

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$a^2 = c^2 - b^2$$

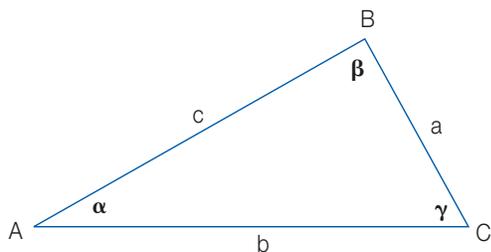
$$b^2 = c^2 - a^2$$

$\text{sen } \alpha = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}} = \frac{BC}{AB} = \frac{DF}{AF} = \frac{BC}{AF}$   
 $\text{cos } \alpha = \frac{\text{cateto adyacente}}{\text{hipotenusa}} = \frac{AC}{AB} = \frac{AD}{AF} = \frac{AC}{AF}$   
 $\text{tg } \alpha = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}} = \frac{BC}{AC} = \frac{DF}{AD} = \frac{DF}{AD}$   
 $\text{cosec } \alpha = \frac{1}{\text{sen } \alpha} = \frac{AB}{BC} = \frac{AF}{DF} = \frac{AG}{DF}$   
 $\text{sec } \alpha = \frac{1}{\text{cos } \alpha} = \frac{AB}{AC} = \frac{AF}{AD} = \frac{AF}{AD}$   
 $\text{ctg } \alpha = \frac{1}{\text{tg } \alpha} = \frac{AC}{BC} = \frac{AD}{DF} = \frac{HG}{DF}$

$\text{sen}^2 \alpha + \text{cos}^2 \alpha = 1$   
 $\text{sec}^2 \alpha - \text{tg}^2 \alpha = 1$   
 $\text{cosec}^2 \alpha - \text{ctg}^2 \alpha = 1$

Datos	Se obtiene					
	$\alpha$	$\beta$	a	b	c	Area
a,b	$\text{tg } \alpha = \frac{a}{b}$	$\text{tg } \beta = \frac{b}{a}$		b	$\sqrt{a^2 + b^2}$	$\frac{ab}{2}$
$\alpha, c$	$\text{cos } \alpha = \frac{a}{c}$	$\text{cos } \beta = \frac{a}{c}$		$\sqrt{c^2 - a^2}$		$\frac{a\sqrt{c^2 - a^2}}{2}$
$\alpha, a$		$90^\circ$		$a \text{ ctg } \alpha$	$\frac{a}{\text{sen } \alpha}$	$\frac{a^2 \text{ctg} \alpha}{2}$
$\alpha, b$		$90^\circ - \alpha$	$b \text{ tg } \alpha$		$\frac{b}{\text{cos } \alpha}$	$\frac{b^2 \text{tg} \alpha}{2}$
$\alpha, c$		$90^\circ - \alpha$	$c \text{ sen } \alpha$	$c \text{ cos } \alpha$		$\frac{c^2 \text{sen } 2\alpha}{4}$

## Triángulo Escaleno ABC



$$a^2 = c^2 - b^2 - 2bc \cos \alpha$$

$$b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos \beta$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma$$

$$s = \frac{a + b + c}{2}$$

$$K = \sqrt{\frac{(s-a)(s-b)(s-c)}{s}}$$

Dados	Se obtiene					
	$\alpha$	$\beta$	a	b	c	Area
a, b, c	$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{K}{s-a}$	$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{K}{s-b}$	$\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = \frac{K}{s-c}$			sK
a, $\alpha$ , $\beta$			$180 - (\alpha + \beta)$	$\frac{a \operatorname{sen} \beta}{\operatorname{sen} \alpha}$	$\frac{a \operatorname{sen} \gamma}{\operatorname{sen} \alpha}$	
a, b, $\alpha$		$\operatorname{sen} \beta = \frac{b \operatorname{sen} \alpha}{a}$			$\frac{b \operatorname{sen} \gamma}{\operatorname{sen} \beta}$	
a, b, $\gamma$	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a \operatorname{sen} \gamma}{b-a \cos \gamma}$				$\sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma}$	$\frac{a b \operatorname{sen} \gamma}{2}$



Acero Sostenible®

**ACEROS AZA S.A.**

La Unión 3070, Renca, Santiago - Chile

Código Postal 746 4522

Teléfono: +56 22641 8683

[www.aza.cl](http://www.aza.cl)

