



# Manual de Armaduras de Refuerzo para Hormigón

Fabricación - Instalación - Protección



**GERDAU AZA®**





# Manual de Armaduras de Refuerzo para Hormigón

Fabricación - Instalación - Protección

# Manual de Armaduras de Refuerzo para Hormigón Fabricación - Instalación - Protección

Autor:

Carlos Rondon S.M.

Editor:

Jorge Manríquez P.

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 Gerdau AZA S.A.

Diseño y Producción Gráfica:

Dos C

Dirección de Arte:

Soledad Casenave

Diseño Gráfico:

Gabriel Aiquel

Fotografía:

Francisco Aguayo

Jorge Brantmayer

Matías del Campo

Impresión:

M y M Servicios Gráficos S.A.

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

La Unión 3070, Renca. Santiago de Chile.

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

Inscripción en Propiedad Intelectual N° 104.913

1ª Edición: 2.000 ejemplares, Julio de 2005

Impreso en Chile - Printed in Chile

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

- Manual de Cálculo de Hormigón Armado
- Manual de Diseño para Angulos Estructurales L-AZA
- Detalles Estructurales con Perfiles Angulo L-AZA
- Compendio de Normas para Productos de Acero
- Catálogo Técnico de Barras y Perfiles Laminados

Para consultas sobre nuestros productos y servicios, visite nuestra página web:

[www.gerdauaza.cl](http://www.gerdauaza.cl)

# Presentación

Gerdau AZA S.A., empresa perteneciente al Grupo Gerdau, se complace en presentar a la comunidad de profesionales, docentes y estudiantes de los sectores de la ingeniería, arquitectura y la construcción civil, una nueva edición 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, 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, y 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 AZA para hormigón y 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 capítulos 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

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 ilustraciones 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 é 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 mas a todos ellos, un sincero reconocimiento por el respaldo y la confianza que han depositado en Gerdau 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 Gerdau 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 DE LAS BARRAS DE REFUERZO AZA PARA HORMIGON	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, CALIDADES Y CARACTERISTICAS DEL ACERO DE REFUERZO AZA PARA HORMIGON	19
1.2.1	Identificación	19
1.2.2	Calidades del Acero de Refuerzo AZA para Hormigón	20
1.2.3	Relaciones Tensión-Deformación	21
1.2.4	Características del Acero de Refuerzo AZA para Hormigón	22
1.2.5	Certificado de Calidad	25
1.3	TRANSPORTE, RECEPCION, DESCARGA Y ALMACENAMIENTO	26
1.3.1	Transporte	26
1.3.2	Recepción	26
1.3.3	Descarga	26
1.3.4	Almacenamiento	29
1.4	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	30
<b>Capítulo 2</b>	<b>FUNCION DEL ACERO DE REFUERZO E INTERPRETACION DE LOS PLANOS DE DISEÑO Y ESPECIFICACIONES</b>	<b>31</b>
2.1	FUNCIONES DEL ACERO DE REFUERZO PARA HORMIGON	33
2.1.1	Introducción	33
2.1.2	Definiciones	34
2.2	DESCRIPCION E INTERPRETACION DE LOS PLANOS Y ESPECIFICACIONES	39
2.2.1	Generalidades	39
2.2.2	Planos de Conjunto	39
2.2.3	Planos de Detalle	42
2.2.4	Planos de Estructuras	43



2.2.5	Ejemplos de Armaduras	45
2.2.6	Cubicación de las Armaduras	47
2.2.7	Pérdidas Materiales por Corte	50
2.2.8	Cuantías Estimadas de Acero	53
2.3	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	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	63
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	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 DEL MATERIAL	75
4.4	CORTE	76
4.5	TOLERANCIAS DE CORTE	77
4.6	DOBLADO DE LAS BARRAS	78
4.6.1	Introducción	78
4.6.2	Ganchos Normales	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	81

4.7.2	Estribos Normales y Ganchos de Amarra	82
4.7.3	Ganchos Sismicos	83
4.8	TOLERANCIAS DE FABRICACION	84
4.9	RENDIMIENTOS PARA LA FABRICACION DE ARMADURAS	88
4.9.1	Mano de Obra Método Tradicional	88
4.9.2	Método Industrializado de Corte y Doblado	89
4.9.3	Ejemplos de Rendimientos para la Fabricación de Armaduras	90
4.9.4	Comparación de los Métodos de Fabricación	93
4.10	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	94
<b>Capítulo 5</b>	<b>ARMADO E INSTALACION DE LAS ARMADURAS</b>	<b>95</b>
5.1	GENERALIDADES	97
5.2	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	98
5.3	LONGITUD DE DESARROLLO	99
5.3.1	Introducción	99
5.3.2	Desarrollo para Barras Rectas en Tracción	99
5.3.3	Desarrollo para Ganchos Estándar en Tracción	104
5.3.4	Desarrollo para Barras Rectas en Compresión	108
5.3.5	Desarrollo de la Armadura en Flexión	111
5.3.6	Desarrollo de la Armadura para Momento Positivo	112
5.3.7	Desarrollo de la Armadura para Momento Negativo	113
5.3.8	Desarrollo de la Armadura del Alma	114
5.4	BARRAS DOBLADAS POR CAMBIO DE SECCION DE COLUMNAS	116
5.5	ARMADURA TRANSVERSAL PARA ELEMENTOS EN COMPRESION	117
5.5.1	Zunchos	117
5.5.2	Amarras	118
5.6	ARMADURA TRANSVERSAL PARA ELEMENTOS EN FLEXION	119
5.7	EMPALME DE BARRAS	119
5.7.1	Empalmes por traslape de Barras en Tracción	121
5.7.2	Empalmes por Traslape de Barras en Compresión	126
5.8	FIJACIONES PARA LAS ARMADURAS	127
5.8.1	Amarras con Alambre	127
5.8.2	Amarras Prefabricadas	128
5.8.3	Cantidad de Amarras	128

5.8.4	Conexiones Mecánicas	130
5.9	ESPACIAMIENTO MINIMO ENTRE BARRAS	132
5.10	SEPARADORES Y SOPORTES	133
5.11	RENDIMIENTOS DE MANO DE OBRA PARA EL ARMADO E INSTALACION	137
5.12	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	139
<b>Capítulo 6</b>	<b>PROTECCION DE LAS ARMADURAS</b>	<b>141</b>
6.1	INTRODUCCION	143
6.2	CORROSION DE LAS BARRAS DE REFUERZO	146
6.2.1	Introducción	146
6.2.2	Definiciones Básicas	146
6.2.3	Limpieza Superficial del Acero	149
6.2.4	Medición de la Corrosión	153
6.2.5	Medición Cuantitativa de la Corrosión	156
6.2.5.1	Velocidades de corrosión medidas en terreno	158
6.2.5.2	Relación entre la intensidad y el potencial de corrosión	162
6.2.5.3	Pérdida de sección de las barras	162
6.2.5.4	Velocidades de corrosión en ausencia de medidas en terreno	164
6.2.5.5	Tasa de oxidación	165
6.2.6	Medición Cualitativa de la Corrosión	171
6.3	AGENTES AGRESIVOS	173
6.3.1	Exposición a Congelación y Deshielo	173
6.3.2	Exposición a Sulfatos	174
6.3.3	Carbonatación del Hormigón	180
6.6.3.1	Profundidad de Carbonatación	181
6.3.4	Exposición a Iones Cloruro	185
6.6.4.1	Velocidad de penetración de los Cloruros	187
6.4	REQUISITOS BASICOS DE DURABILIDAD PARA EL HORMIGON ARMADO	190
6.4.1	Consideraciones Generales	190
6.4.2	Período de Iniciación	190
6.4.2.1	Difusión	190
6.4.2.2	Absorción	191
6.4.2.3	Permeabilidad	191
6.4.3	Período de Propagación, Vida útil y Residual	191

6.4.4	Durabilidad del Hormigón y el Agua	195	
6.5	RECUBRIMIENTOS DE LAS ARMADURAS	200	
6.5.1	Recubrimientos de Hormigón	200	
6.5.2	Armaduras Galvanizadas	202	
6.5.2.1	Generalidades	202	
6.5.2.2	Reacciones químicas	203	
6.5.2.3	Adherencia de las barras galvanizadas	206	
6.6	PROTECCION CONTRA EL FUEGO	207	
6.6.1	Introducción	207	
6.6.2	Metodologías de Diseño Clásicas	210	
6.6.3	Carga Térmica y Flujo de Calor	213	
6.6.4	Norma SFPE-04	213	
6.6.5	Propiedades del Hormigón Armado a Temperaturas Elevadas	216	
6.6.5.1	Capacidad de resistencia o soporte	217	
6.6.5.2	Aislamiento térmico y recubrimiento	223	
6.7	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	230	
<b>Anexos</b>	A.1	INSPECCION Y EVALUACION DE LAS ARMADURAS	233
	A.1.1	Introducción	233
	A.1.2	Defectos o Fallas y Práctica General	233
	A.1.3	Juntas de Hormigonado	235
	A.1.4	Procedimientos de Inspección y Evaluación	237
	1.	Introducción	237
	2.	Método Simplificado	238
	2.1	Fases de evaluación simplificada	241
	2.2	Evaluación de la estructura	243
	2.3	Prognosis	252
	2.4	Informe de evaluación	253
	3.	Método Detallado	254
	A.2	DETALLES CONSTRUCTIVOS EN OBRAS DE HORMIGON ARMADO	256
	A.3	SINTESIS DE LAS EXIGENCIAS Y PROHIBICIONES MAS IMPORTANTES	265
	A.4	GLOSARIO DE CONCEPTOS RELATIVOS A LA CORROSION	271
	A.5	CONVERSION DE UNIDADES	275
	A.6	PROPIEDADES GEOMETRICAS DE SECCIONES	278



Certificación ISO 9001



Certificación ISO 14001



Sistemas de Gestión Certificados

Productos y procesos de calidad reconocida y certificada



## Capítulo 1

# Información General

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





## 1.1 PROCESO DE FABRICACION Y CONTROL DE CALIDAD DE LAS BARRAS DE REFUERZO AZA PARA HORMIGON

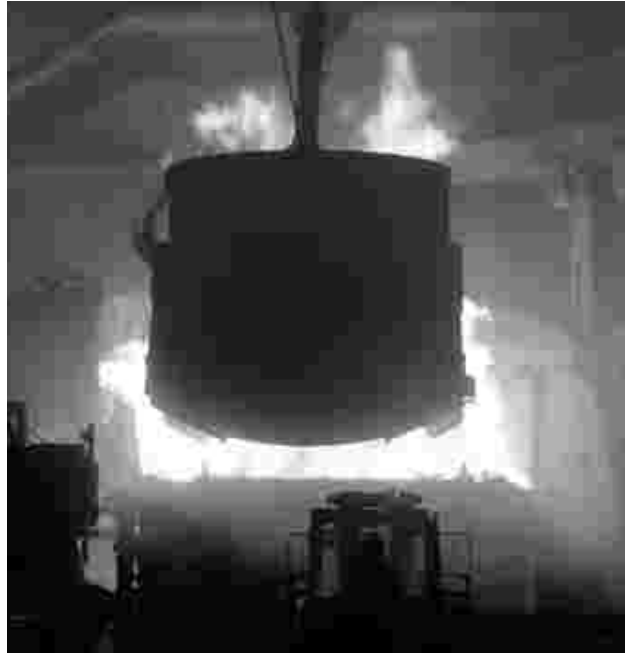
### 1.1.1 Proceso de Fabricación del Acero AZA

En Gerdau AZA, 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 45.000 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, las diferentes calidades del acero AZA se obtienen, de un



Operación de Carga de Horno Eléctrico, Planta Colina, Gerdau AZA.

cuidadoso control de la composición y mediante la adición de ferroaleaciones, como el ferromanganeso y ferrosilicio, aprovechando la mayor 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 de sección.



Líneas de colada continua de acería, Planta Colina, Gerdau AZA.

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

Luego de esto, 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 AZA para hormigón, 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, la calidad o grado del acero y el diámetro nominal del producto.

En su planta ubicada en la comuna de Colina, Gerdau 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, 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 a las normas vigentes.

#### 1.1.4 Control de Calidad y Certificación

Todo el proceso de fabricación de las barras de refuerzo AZA para hormigón, está certificado bajo las normas ISO 9002, ISO 14001 y OHSAS 18001; de esta forma, a lo largo de todas las etapas de fabricación del producto existen monitoreos, mediciones y ensayos de los procesos.

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 a los actuales estándares.

La certificación de calidad de todas las partidas en Gerdau AZA, da cumplimiento a la normativa legal vigente en Chile, cuyo Decreto N°1.229, del Ministerio de Obras Públicas de Junio de 1940, establece los procedimientos para certificar las barras de refuerzo para hormigón.

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 Gerdau 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 ruptura. Otro importante ensaye a que son

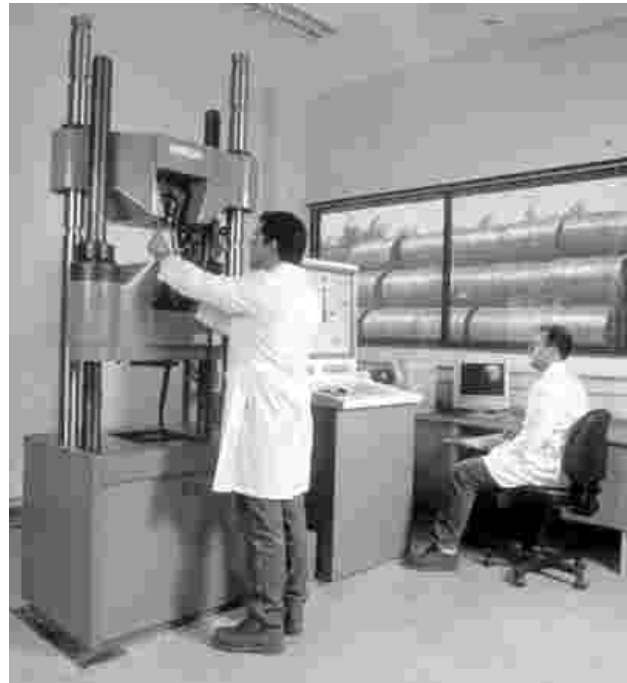


Sala de Control de Laminación, Planta Colina, Gerdau AZA.

sometidas las barras de refuerzo AZA, 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.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se verifica el cumplimiento con la norma oficial chilena NCh 204.Of77, "Acero - Barras Laminadas en Caliente para Hormigón Armado", vigente por el Decreto N°029, de fecha 10 de Enero de 1978, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, publicado en el Diario Oficial del 31 de Enero de 1978, y se procede a certificar las partidas. La aprobación de los lotes, permite la certificación y autorización del uso de las partidas de acero de refuerzo, en obras de hormigón armado.

Los resultados de los ensayos, se presentan en 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.



Laboratorio de Ensayes Mecánicos de IDIEM, en Gerdau AZA.

Periódicamente y como una medida adicional de control, se efectúa un análisis estadístico de las propiedades mecánicas sobre toda la producción de barras y a cada una de las coladas producidas.

## 1.2 IDENTIFICACION, CALIDADES Y CARACTERISTICAS DEL ACERO DE REFUERZO AZA PARA HORMIGON

### 1.2.1 Identificación




Gerdau AZA, en sus instalaciones ubicadas en Santiago, produce y comercializa barras de acero de refuerzo para hormigón, tanto en barras rectas, en largos normales de 6 a 12 m, como rollos de 1.500 kilogramos de peso, aproximadamente. Estas barras pueden ser:

Barra redonda lisa: Es aquella cuya sección transversal es uniforme en todo su largo. En Chile, sólo se fabrica en la calidad de acero A44-28H y en el diámetro de 6 mm.

Barra con resaltes: Es la barra con nervios longitudinales (a lo largo) y con 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.

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 Gerdau AZA, la calidad o grado del acero y el diámetro correspondiente.

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

Tabla 1.2.1 Identificación del Acero de Refuerzo AZA para Hormigón				
Grado del Acero	Diámetro Nominal mm	Formas de entrega	Identificación	
			Diámetro Nominal y Grado del Acero	Marca de Origen
A44-28H	6 <sup>(1)</sup> , 8, 10 y 12 6 <sup>(1)</sup> a 36	Rollo Recta		
A63-42H	8, 10 y 12 8 a 36	Rollo Recta		

<sup>(1)</sup> La barra de 6 mm es lisa y no lleva identificación en relieve



Descripción del producto

Peso del paquete

Número de colada

Fecha y hora de fabricación

Sello indica que los sistemas de gestión están certificados de acuerdo a Normas ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001

Además de lo anterior, Gerdau AZA, identifica el contenido de todos los atados o paquetes de barras rectas y rollos, mediante una etiqueta plástica, con todos los datos concernientes a la fabricación de las partidas del producto.

### 1.2.2 Calidades del Acero de Refuerzo AZA para Hormigón

Además de la calidad que pueda tener el hormigón, es también importante la calidad o 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 indican los planos respectivos.

Gerdau AZA fabrica en Chile, fundamentalmente, dos grados o calidades de acero de refuerzo para hormigón: A44-28H y A63-42H.

Conforme a las denominaciones adoptadas por el Instituto Nacional de Normalización, la letra A significa "acero al carbono" y la letra H indica que "su uso es para hormigón". Los números se refieren, respectivamente, a la resistencia de rotura a la tracción y al límite de fluencia mínimo por tracción.

Tabla 1.2.2

Propiedades Mecánicas Mínimas del Acero de Refuerzo AZA para Hormigón

Grado del Acero	Resistencia a la Tracción ( $R_m$ )		Límite de Fluencia ( $R_e$ )		Alargamiento Mínimo (%)
	MPa	kgf/mm <sup>2</sup>	MPa	kgf/mm <sup>2</sup>	
A44-28H	440	44,9	280	28,6	18
A63-42H	630	64,2	420	42,8	$\frac{7000 - K}{R_m} \geq 8\%$
máximo			580	59,1	

Norma Chilena NCh 204 Of. 77: Barras laminadas en caliente para hormigón armado:

a) Son requisitos en esta norma, 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 ( ), cuyo valor se indica a continuación:

(mm): 6 8 10 12 16 18 22 25 28 32 36

K : 3 2 1 0 0 0 1 2 3 4 5

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.

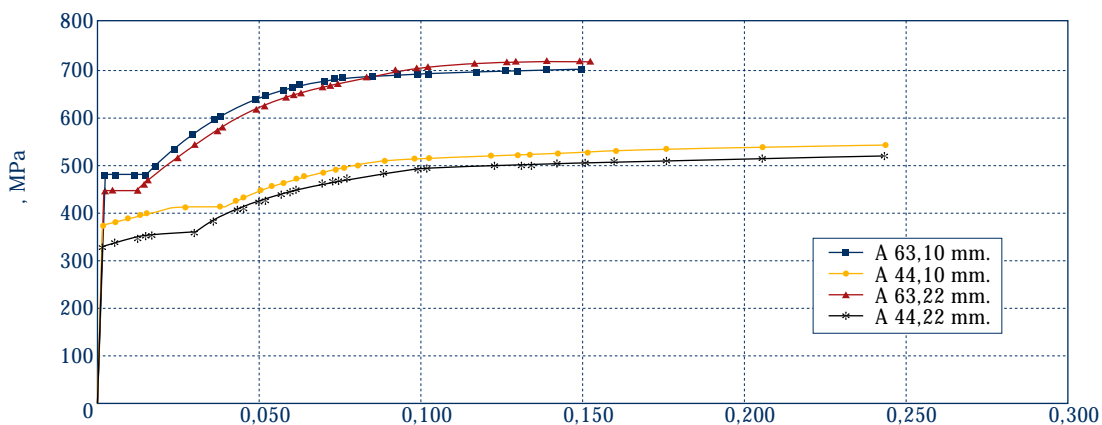
En el gráfico siguiente se muestran los resultados de ensayes de tracción, en barras de refuerzo AZA para hormigón, para las calidades o grados A44-28H y A63-

42H, con curvas comparativas a modo de referencia, en barras de 10 y 22 mm de diámetro.

En el caso de las barras de acero A44-28H, 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 la calidad o grado A63-42H, es normal que el fenómeno de fluencia a tensión constante se observe menos marcado que en los aceros de menor resistencia.

Gráfico 1.2.3.1

Curvas Tensión-Deformación Barras de Refuerzo AZA para Hormigón



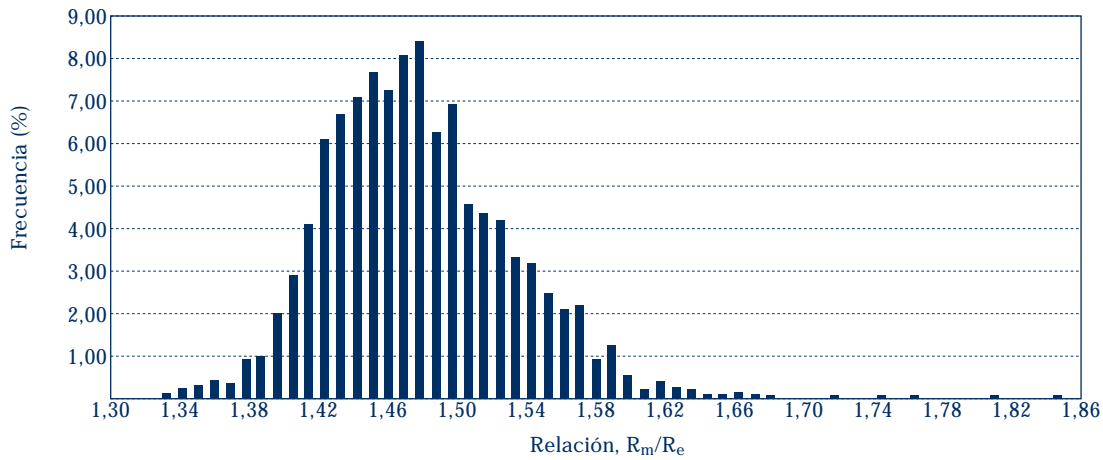
Fuente: Laboratorio de Ensayos IDIEM

Otra importante característica, en especial en el comportamiento sísmico del hormigón armado en la flexión, es que la norma oficial chilena NCh204.Of77 establece que en los aceros calidad A63-42H debe cumplirse, además, una relación  $R_m/R_e \geq 1,33$ .

Al respecto, en el gráfico que sigue se muestra la distribución de esta relación, que exhiben todas las barras de refuerzo AZA para hormigón en la calidad o grado A63-42H, donde se observa que la media supera en un 10% el valor mínimo de la norma.

Gráfico 1.2.3.2

Curva de Distribución Relación  $R_m/R_e$  Barras de Refuerzo AZA A63-42H



#### 1.2.4 Características del Acero de Refuerzo AZA para Hormigón

De acuerdo a la norma chilena NCh 204.Of77, en la tabla 1.2.4.1, de la página siguiente, se incluyen los diámetros normales nominales y pesos nominales de las barras de acero de refuerzo para hormigón, usados corrientemente en la construcción.



Tabla 1.2.4.1

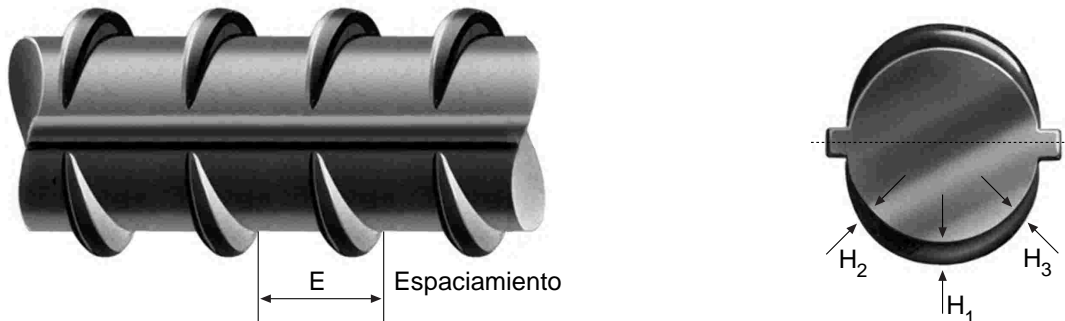
Diámetros Nominales Normales y Masas Nominales de las Barras de Refuerzo AZA para Hormigón

Características Nominales				Dimensiones de los resaltes		
Diámetro <sup>(1)</sup>	Sección <sup>(2)</sup>	Perímetro <sup>(3)</sup>	Masa <sup>(4)</sup>	Espaciamiento	Altura media H	Ancho base A
mm	cm <sup>2</sup>	cm	kg/m	medio E	media H	base A
				máximo	mínima	máxima
mm	cm <sup>2</sup>	cm	kg/m	mm	mm	mm
6	0,283	1,89	0,222	-	-	-
8	0,503	2,51	0,395	5,6	0,32	2,0
10	0,785	3,14	0,617	7,0	0,40	2,5
12	1,13	3,77	0,888	8,4	0,48	3,0
16	2,01	5,03	1,58	11,2	0,64	4,0
18	2,54	5,65	2,00	12,6	0,72	4,5
22	3,80	6,91	2,98	15,4	1,10	5,5
25	4,91	7,85	3,85	17,5	1,25	6,25
28	6,16	8,80	4,83	19,6	1,40	7,0
32	8,04	10,05	6,31	22,4	1,60	8,0
36	10,2	11,31	7,99	25,2	1,80	9,0

Norma chilena NCh 204.Of77: Barras laminadas en caliente para hormigón armado:

- 1) El diámetro nominal se determina a través de la masa lineal de las barras, de acuerdo a la expresión  $d_n = 12,74\sqrt{M}$ . Donde  $d_n$  = diámetro de la barra (mm) y  $M$  = masa lineal (kg/m), la cual acepta una tolerancia de  $\pm 6\%$  para una barra con resaltes individual.
- 2) Sección nominal  $S_n$  (cm<sup>2</sup>) =  $\frac{0,7854}{100} d_n^2$  ( en mm)
- 3) Perímetro nominal  $P_n$  (cm) =  $\frac{3,1416}{10} d_n$  ( en mm)
- 4) Masa nominal  $M_n$  (kg/m) =  $0,785 S_n$  ( $S_n$  en cm<sup>2</sup>)

Barra de Refuerzo AZA para Hormigón



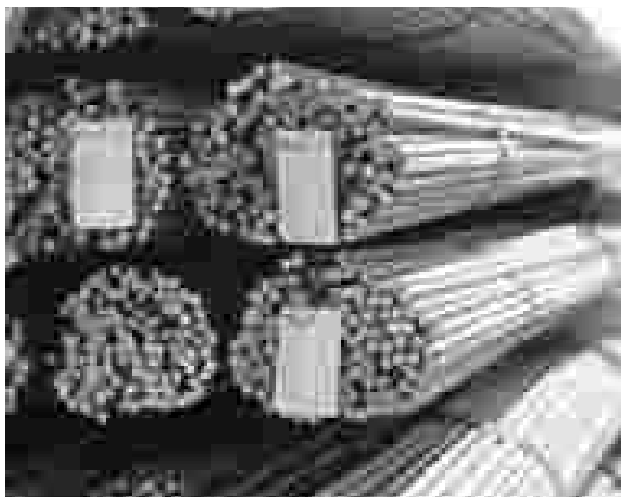
En la siguiente tabla, se describe en forma detallada la especificación normal para la entrega. No obstante lo anterior, Gerdau AZA puede suministrar otros largos de barras, incluso mayores a 12 m, los cuales estarán sujetos a consulta previa.

Tabla 1.2.4.2

Especificación de la Entrega

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
6	80	125	1.500	6.757	6 y 12
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					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

- (1) Diámetro mínimo del rollo
- (2) Diámetro máximo del rollo
- (3) Otros largos especiales estarán sujetos a previa consulta a Gerdau AZA
- (\*) Las barras de 7 a 11 m de largo, serán a pedido



Barras.



Rollos.


1.2.5 Certificado de Calidad

A requerimiento del ingeniero estructural responsable del proyecto, arquitecto, la empresa constructora o del inspector técnico, Gerdauf 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 ensayo 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.

A continuación, 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.



INFORME DE ENSAYO N.º **332502 - 17**


CLIENTE DIRECCION CLIENTE LABORATORIO DIRECCION LABORATORIO CONTROL N.º FECHA DE PRODUCCION PRODUCCION CONTROLADA DIÁMETRO NOMINAL CALIDAD TURNO COLADA	: GERDAUF AZA S.A. : La Unión 3070, Renca - Santiago : Laboratorio Idiem Colina : Panamericana Norte Km.19 - Colina: : 1005 : 28.2.2005 : 60,512 kg : 18 mm : A63-42H (Barra con resaltes) : Noche : 27889
---	--

- NCh200.Of72 Productos metálicos - Ensayo de tracción  
 - NCh201.Of68 acero - Ensayo de doblado de planchas de espesor superior o igual a 3 mm. barras y perfiles

Tabla N°1: Resultados ensayos mecánicos

Probeta N°	Tensión		Razón Rm/Re	Alargamiento de Ruptura %	Dobladura en Frío B/M
	Fluencia(Re) MPa	Máxima(Rm) MPa			
1	467	747	1.60	15.0	B
2	435	692	1.59	17.0	B
3	432	692	1.60	17.5	B
4	435	691	1.59	17.5	B
5	436	695	1.59	18.0	B
6	432	689	1.60	15.5	B

OBSERVACIONES : Corresponde a un Remate del Comité N° 932



DECLARACIÓN :Las probetas ensayadas pertenecientes a la colada 27889 cumplen los requisitos de la norma NCh204.Of77 Acero - Barras laminadas en caliente para hormigón armado.  
 Valdimir Forcés  
 Jefe de Sección  
 Investigación y Ensayos de Estructuras

FECHA ENSAYO : 01.03.2005  
 FECHA INFORME: 01.03.2005

PLAZA ERCILLA 883 - Casilla 1420 - Santiago • Fono: (56-2) 696 7238 - 676 4151 • Fax: (56-2) 671 8979  
<http://www.idiem.uchile.cl> • e-mail: idiem@idiem.uchile.cl

Certificado de Calidad IDIEM barras para hormigón.

### 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.



Camión rampa cargado con barras para hormigón AZA.

#### 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.



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 cuartones de madera espaciados cada 2,0 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 ó descarga se realice mediante grúa, hay que prevenir que ambos extremos del paquete sean



Carga ó descarga del acero desde un camión mediante grúa

levantados al mismo tiempo, para evitar posibles accidentes, 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 estrobo formado con cables de acero y ganchos de seguridad adecuados, tal como se muestra en la ilustración.

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.

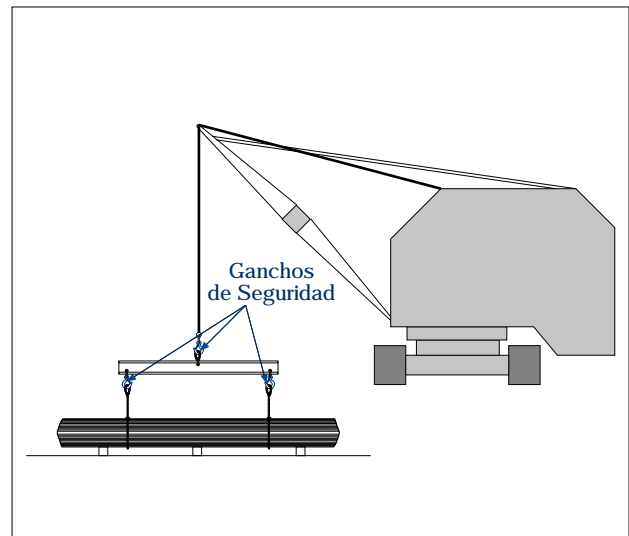
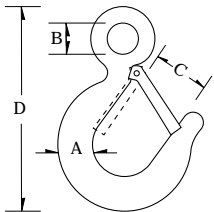


Ilustración 1.3.3.: Grúa, estrobo, cuerdas y ganchos de seguridad.

**Tabla 1.3.3.1**

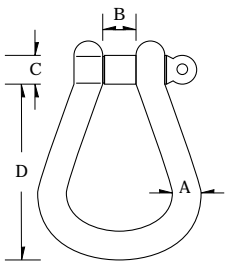
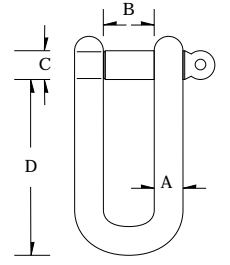
**Dimensiones Aproximadas Ganchos Estándar (mm)**

	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.



Anaqueles o Casilleros de Almacenamiento de Barras AZA para Hormigón



Almacenamiento de las barras sobre cuarterones

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 2 m 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: Gerdau Aza, Primera Edición, 2004
- Departamento de Acería Gerdau Aza
- Departamento Laminación Gerdau Aza
- La Conquista del Acero: Fritz Toussaint, Editorial Stahleiesen MBH, Dusseldorf
- Norma Chilena NCh 200.Of72: Instituto Nacional de Normalización (INN)
- Norma Chilena NCh 204.Of77: 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 flexión y 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 y flexiones por el acero.

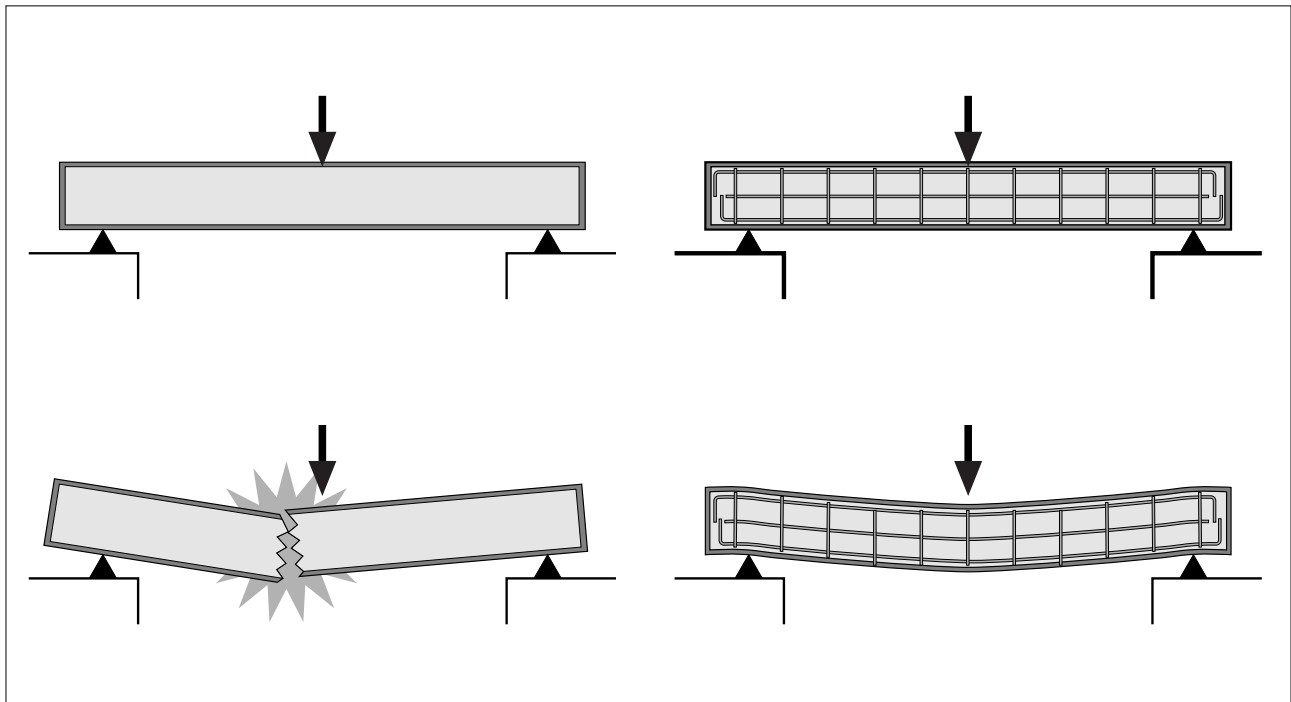


Figura 2.1.1: Ejemplos de vigas con y sin armaduras sometidas a cargas.

### 2.1.2 Definiciones

**Amarra:** Nombre genérico dado a una barra o alambre individual o continuo, que abraza y confina la armadura longitudinal, doblada en forma de círculo, rectángulo, u otra forma poligonal, sin esquinas reentrantes. Ver Estribos.

**Armadura Principal:** Es aquella armadura requerida para la absorción de los esfuerzos externos inducidos en los elementos de hormigón armado.

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

**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 las 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:** Es una amarra cerrada o doblada continua. Una amarra cerrada puede estar constituida por varios elementos de refuerzo con ganchos sísmicos en cada extremo. Una amarra doblada continua debe tener un gancho sísmico en cada extremo.

**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.

**Estribo:** Armadura abierta o cerrada empleada para resistir esfuerzos de corte y de torsión; por lo general, barras, alambres o malla electrosoldada de alambre (liso o estriado), ya sea sin dobleces o doblados, en forma de L, de U o de formas rectangulares, y situados perpendicularmente o en ángulo, con respecto a la armadura longitudinal. El término estribo se aplica, normalmente, a la armadura transversal de elementos sujetos a flexión y el término amarra a los que están en elementos sujetos a compresión. Ver también Amarra.

**Comentario:** Cabe señalar que si existen esfuerzos de torsión, el estribo debe ser cerrado.

**Fijación:** Alambre de acero negro recocido, en general calibres BWG 14, 16 ó 18, conocida corrientemente como amarra, utilizado en particular para fijar los estribos a las barras longitudinales o los empalmes por traslape.

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

**Gancho Sísmico:** Gancho de un estribo, cerco o traba, con un doblado no menor a 135°, excepto que los cercos circulares deben tener un doblado no menor a 90°, con una extensión de 6 veces el diámetro (pero no menor a 75 mm) que enlace la armadura longitudinal y se proyecte hacia el interior del estribo o cerco.

**Traba:** Barra continua con un gancho sísmico en un extremo, y un gancho no menor de 90°, con una extensión mínima de 6 veces el diámetro en el otro extremo. Los ganchos deben enlazar barras longitudinales periféricas. Los ganchos

de 90° de dos trabas transversales consecutivas que enlacen las mismas barras longitudinales, deben quedar con los extremos alternados.

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.

Zuncho: Amarra continua enrollada en forma de hélice cilíndrica, empleada en elementos sometidos a esfuerzos de compresión, 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

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.

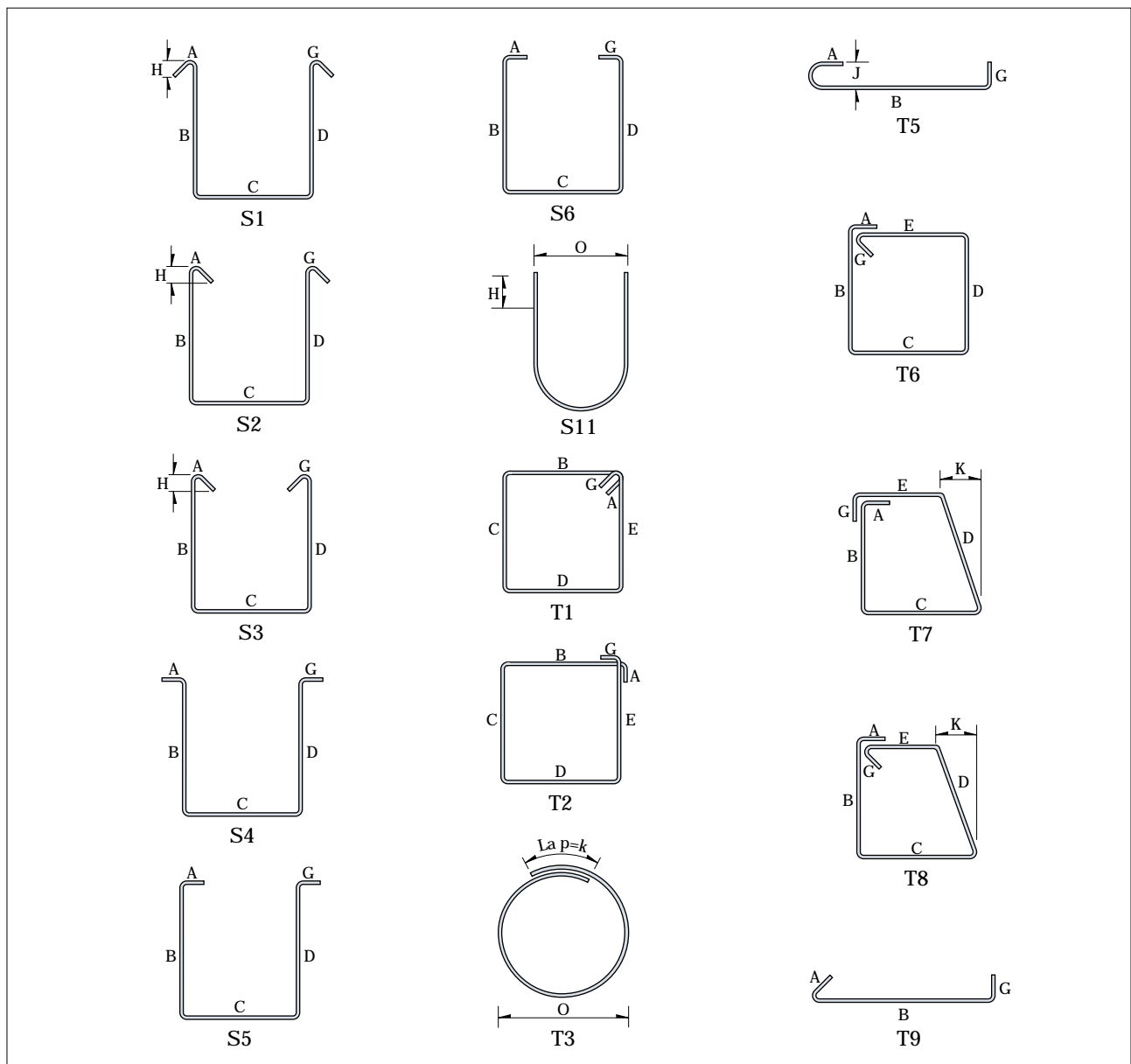


Figura 2.1.2.1: Formas típicas de amarras y estribos.

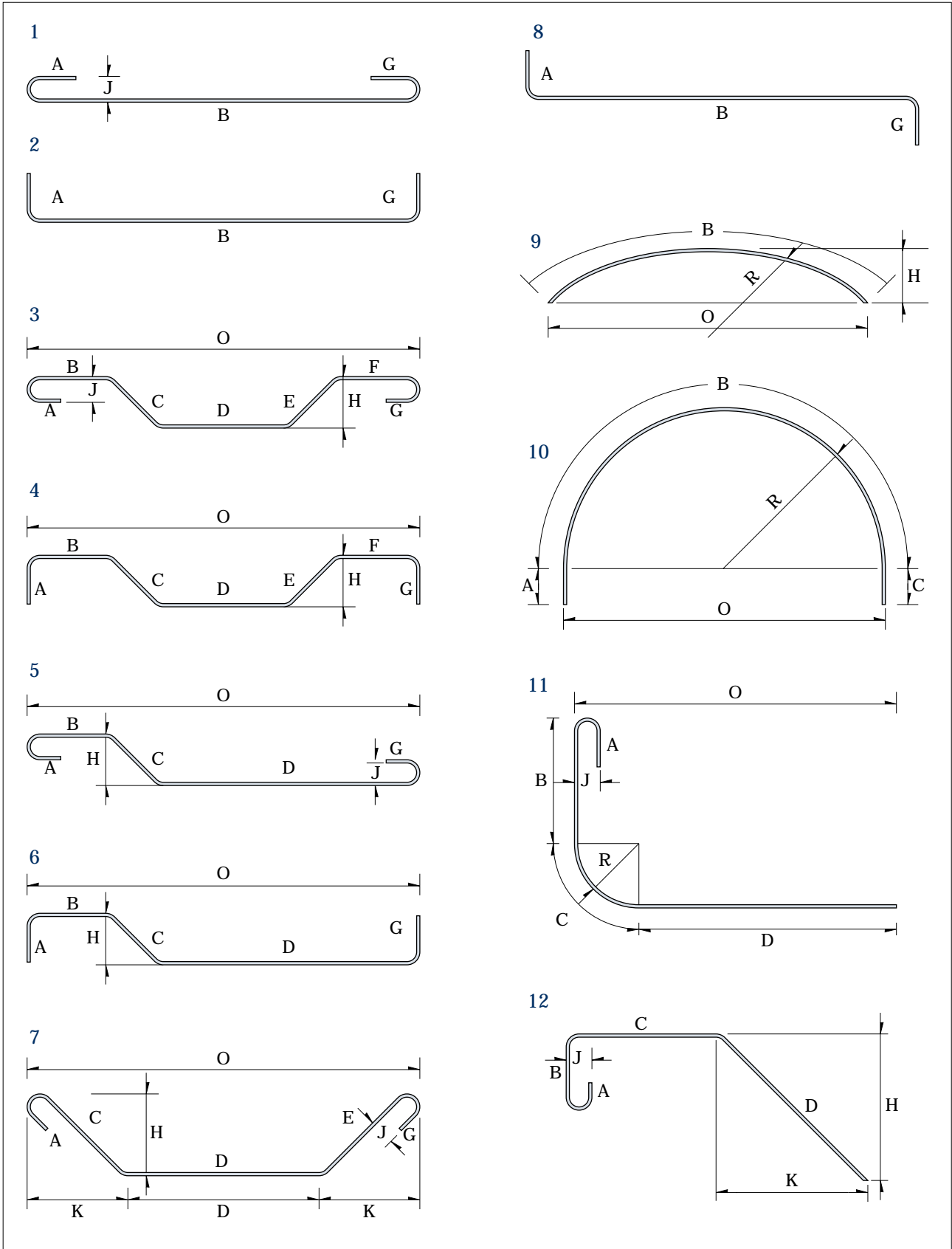


Figura 2.1.2.a: Formas típicas de barras dobladas.

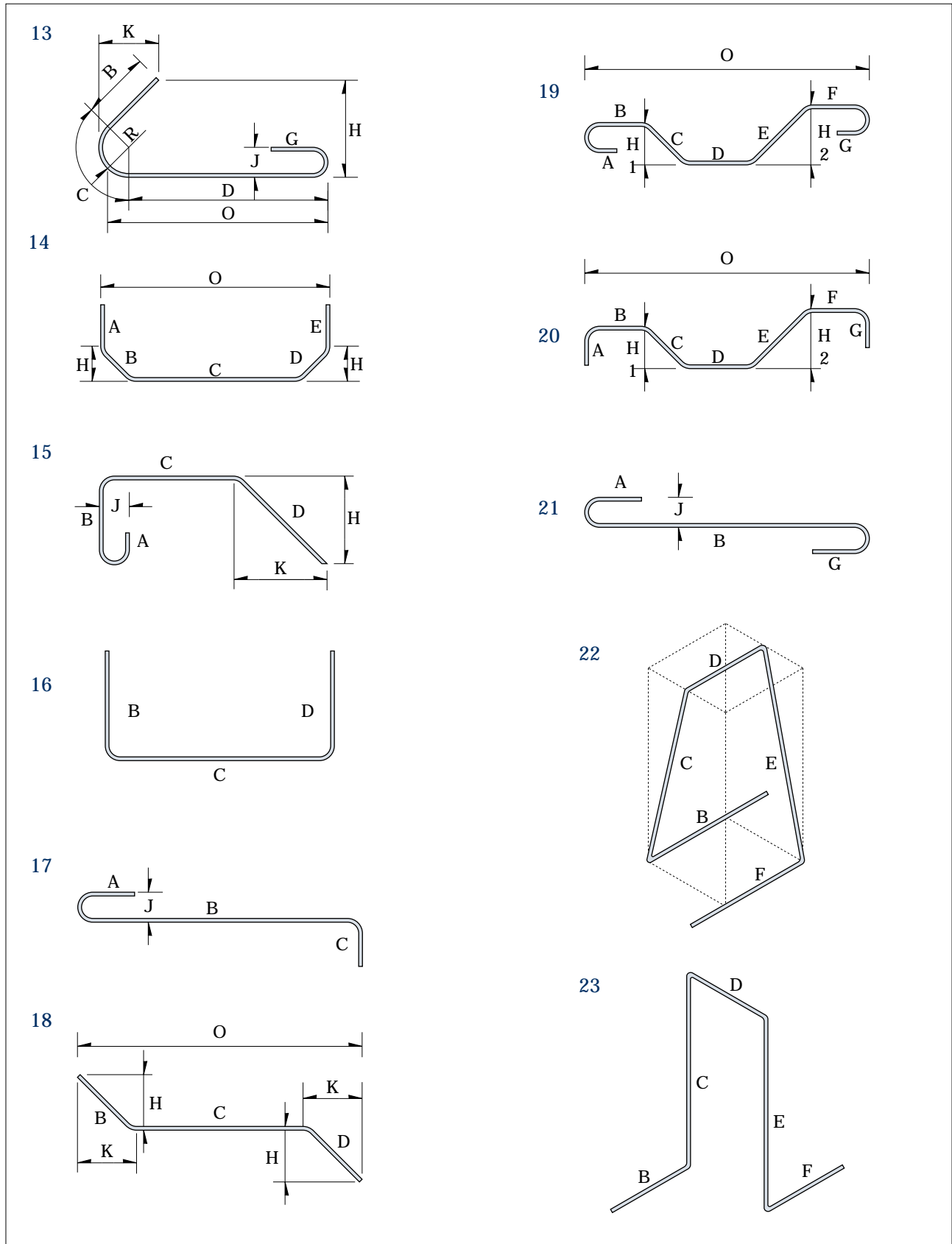


Figura 2.1.2.2b: Formas típicas de barras dobladas.

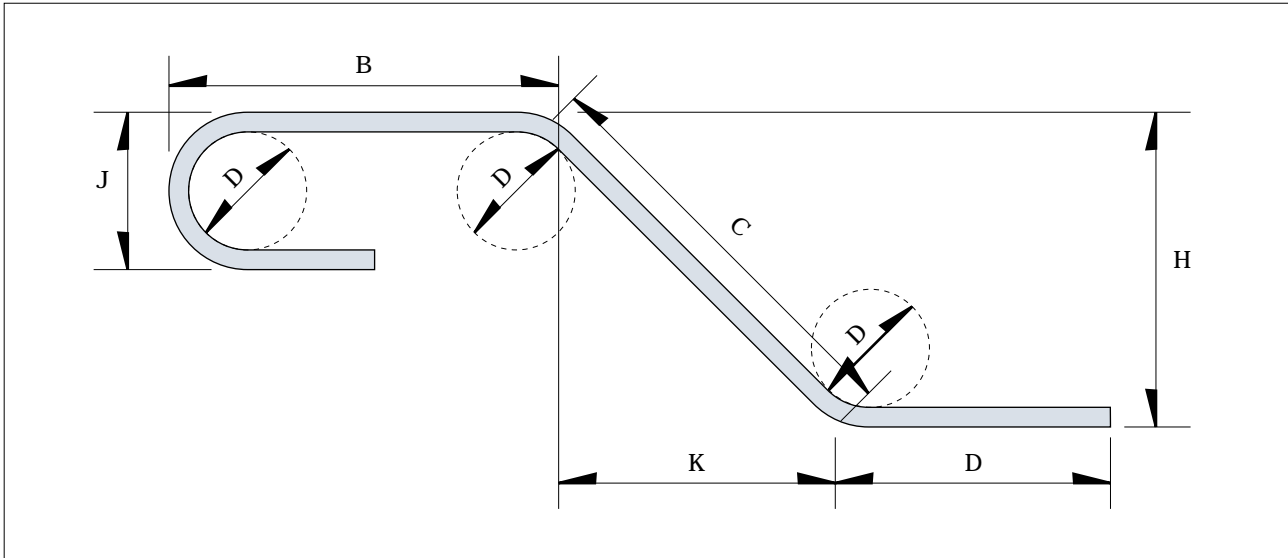


Figura 2.1.2.3: Vista aumentada de los detalles de curvatura.

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 20. 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" es el mismo para todas las curvaturas y ganchos en una barra, excepto para los tipos de curvado 11 y 13.



## 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 solo 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 a 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.

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 flecha 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 1º piso, 400 a 499 para el 4º piso, 1200 a 1299 para el 12º piso, etc, donde el primer o los dos primeros dígitos se refieren al piso y los dos restantes números al que lo individualiza.

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 siguiente, el elemento V420 corresponde a una viga que está ubicada a la altura del cielo, en un 4º piso. Sus dimensiones son 30 centímetros de ancho por 40 centímetros de alto y está armada con tres barras de 18 abajo, y tres barras de 18 arriba, con estribos 8 cada 20 centímetros.

En la misma figura, el elemento C415 corresponde a una columna, ubicada en el 4º piso, que tiene 30 centímetros de ancho por 60 centímetros de largo, armada con 8 barras de 25 y estribos de 8 cada 15 centímetros.

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

Los ejemplos de la figura que sigue se refieren a la manera de señalar las armaduras en las losas, en que L506 sería una losa sencilla de 18 centímetros de

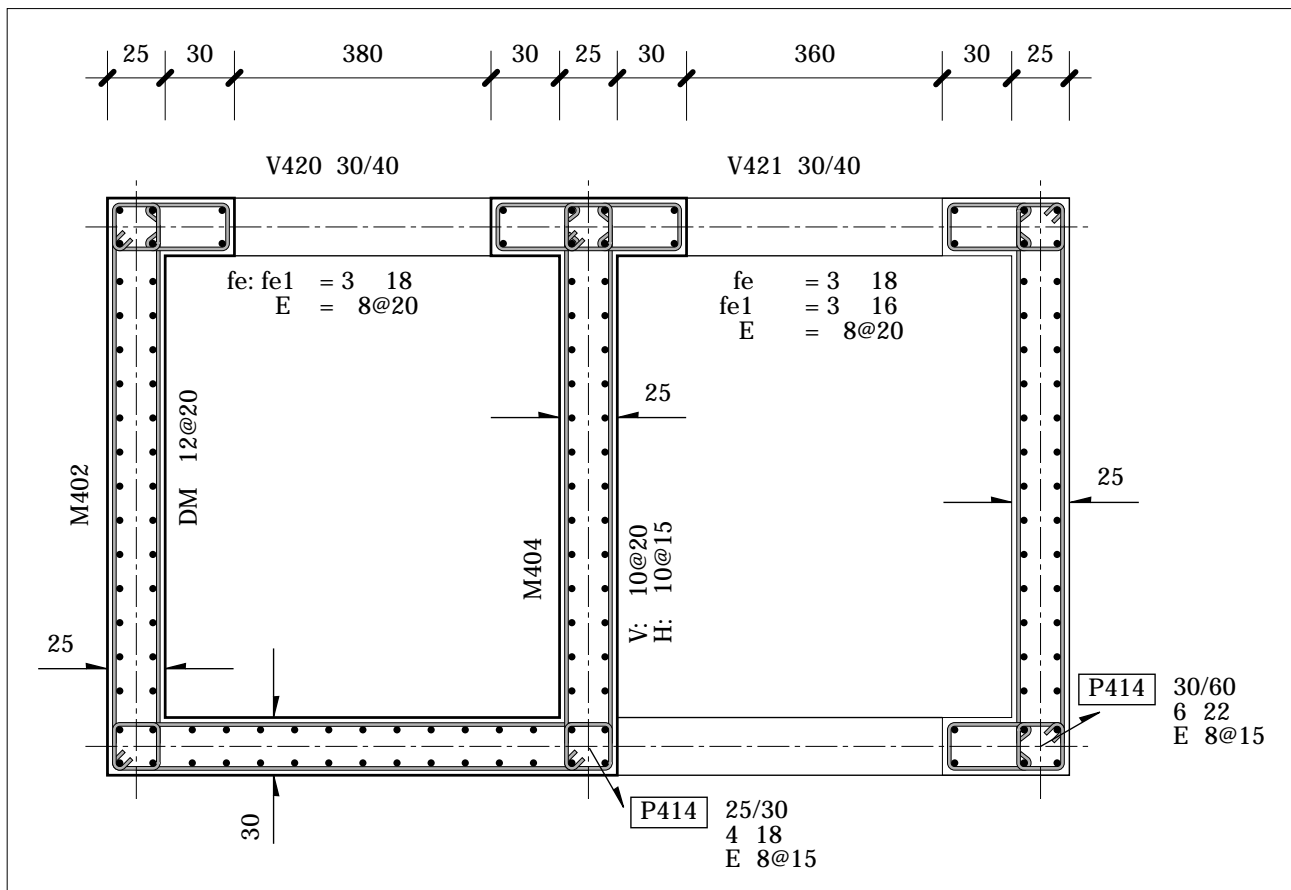


Figura 2.2.2.1: Plano de Conjunto Vigas, Columnas y Muros.

espesor, ubicada a nivel de cielo del 5º piso, que debería armarse en el sentido que muestra la flecha, con barras de 16, separadas cada 150 milímetros. Las barras de repartición de esta losa, de 10 y separadas a 20 centímetros se indicarán en el Plano de Detalles y se instalarán en el otro sentido.

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 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.

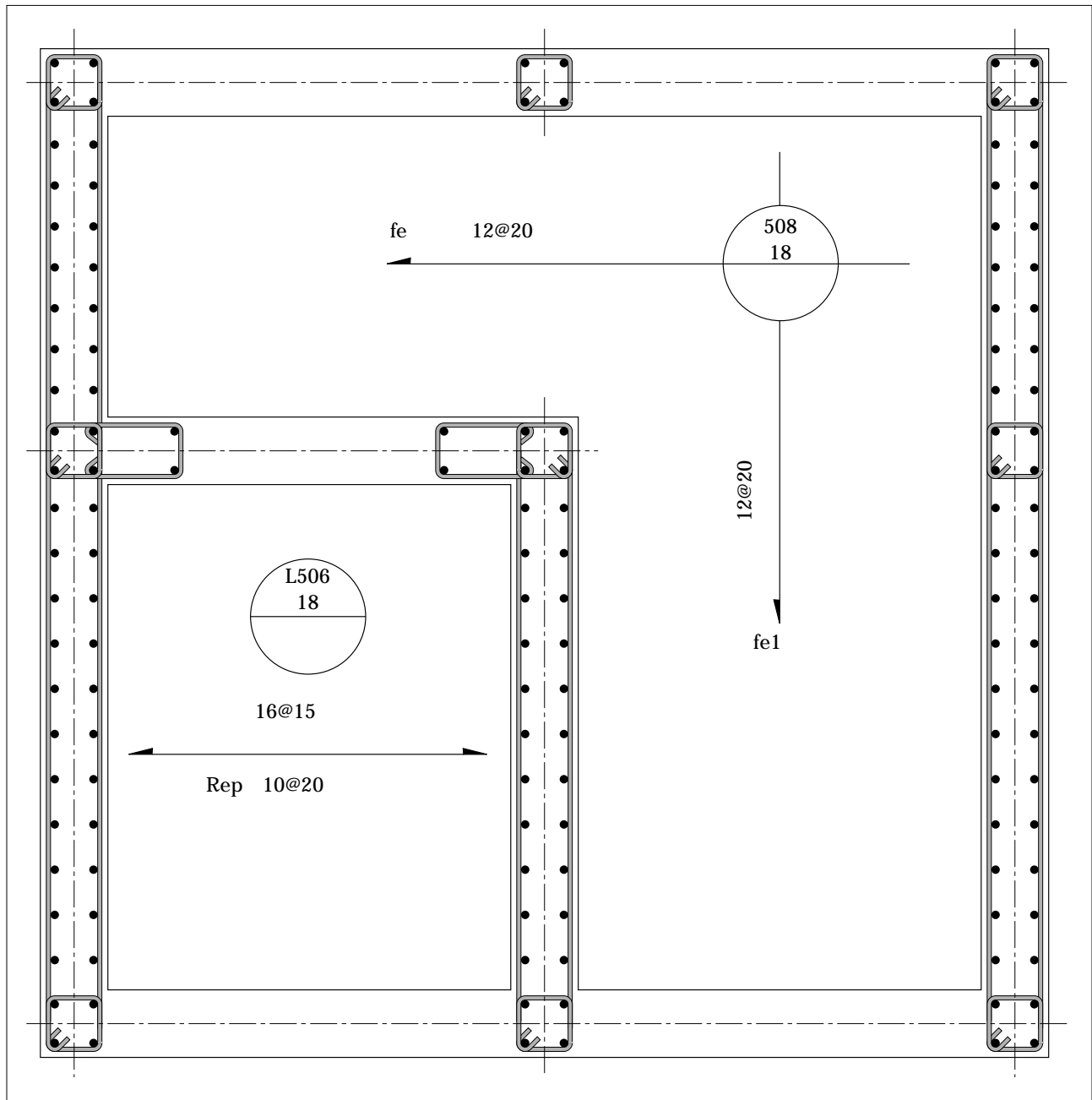


Figura 2.1.2.2: Plano de Conjunto Losas 506 y 508.

### 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, dobles y largo total.

En la figura siguiente 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 3º piso. Los dígitos 30/60 significan que tiene 30 centímetros de ancho por 60 centímetros de alto y E 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 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.

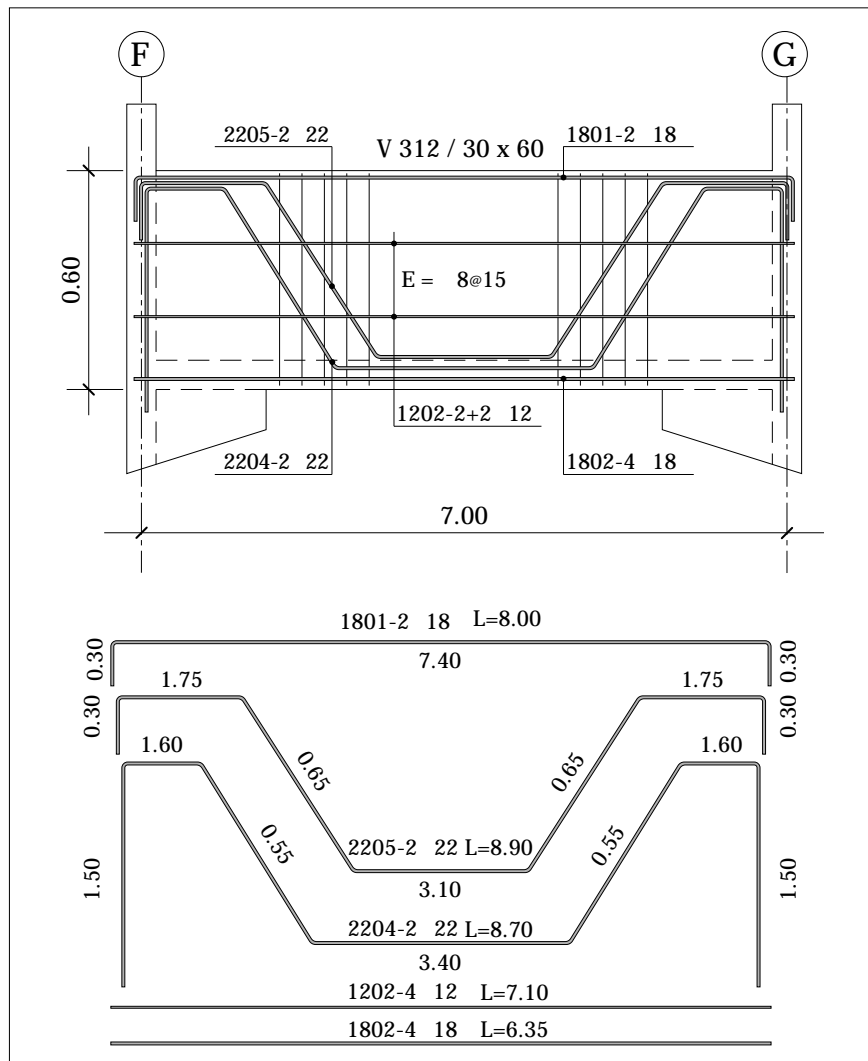


Figura 2.2.3: Plano de Detalle Viga 312

### 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 posterior se muestra un ejemplo 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 figura y 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.

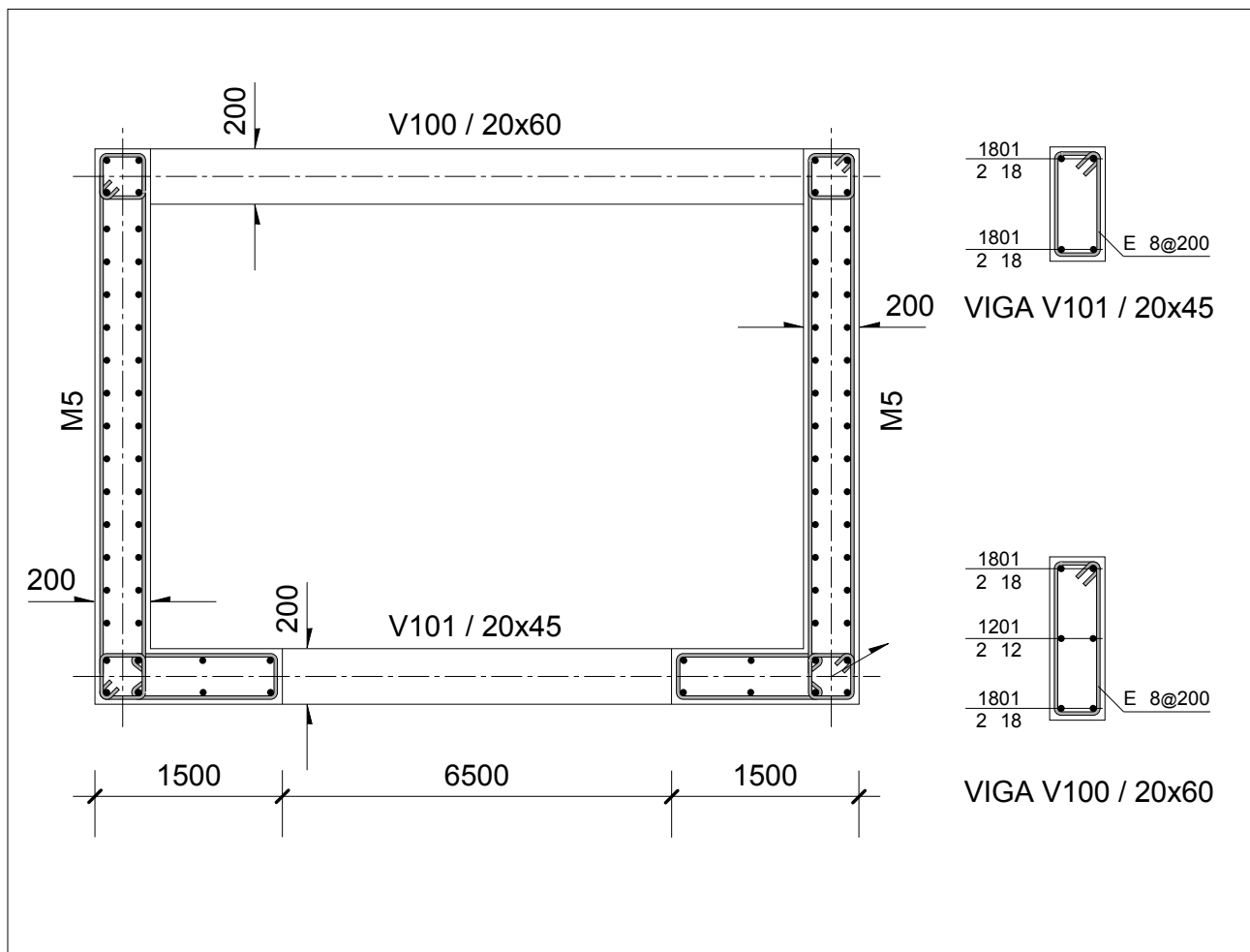


Figura 2.2.4: Ejemplo básico de un plano de estructuras.

Tabla 2.2.4

Esquema y Listado de Barras

Lista de Barras A63-42H											Largo		doblez
Identificación				Dimensiones (mm)							Un	Total	
Item	Marca	Tipo	Cantidad	A	B	C	D	E	F	G	mm	m	mm
1	801	5	8	240	100	530	290	530	290	110	1.850	444	32
2	802	3	8	32	200	13.400	200				13.800	442	32
3	803	3	8	64	200	4.400	200				4.800	307	32
4	804	5	8	120	100	530	290	530	290	110	1.850	222	32
5	1.001	4	10	360	160	1.880	160				2.200	792	60
6	1.002	4	10	128	160	1.880	160				2.200	282	60
7	1.601	3	16	56	500	14.500	500				15.500	868	100
8	1.602	3	16	146	500	5.480	500				6.480	946	100
9	1.603	1	16	4	14.500						14.500	58	
10	1.604	1	16	4	5480						5.480	22	
11	1.605	3	16	50	500	4.280	500				5.280	264	100
12	2.201	4	22	128	260	2.130	260				2.650	339	135
13	2.202	3	22	16	200	13.400	200				13.800	221	135
14	2.203	3	22	32	200	4.400	200				4.800	154	135
15	2.204	4	22	64	250	2.130	260				2.640	169	135
16	2.205	3	22	16	200	4.400	200				4.800	77	135
				Cubicación del Acero A63-42H									
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 Ejemplos de Armaduras

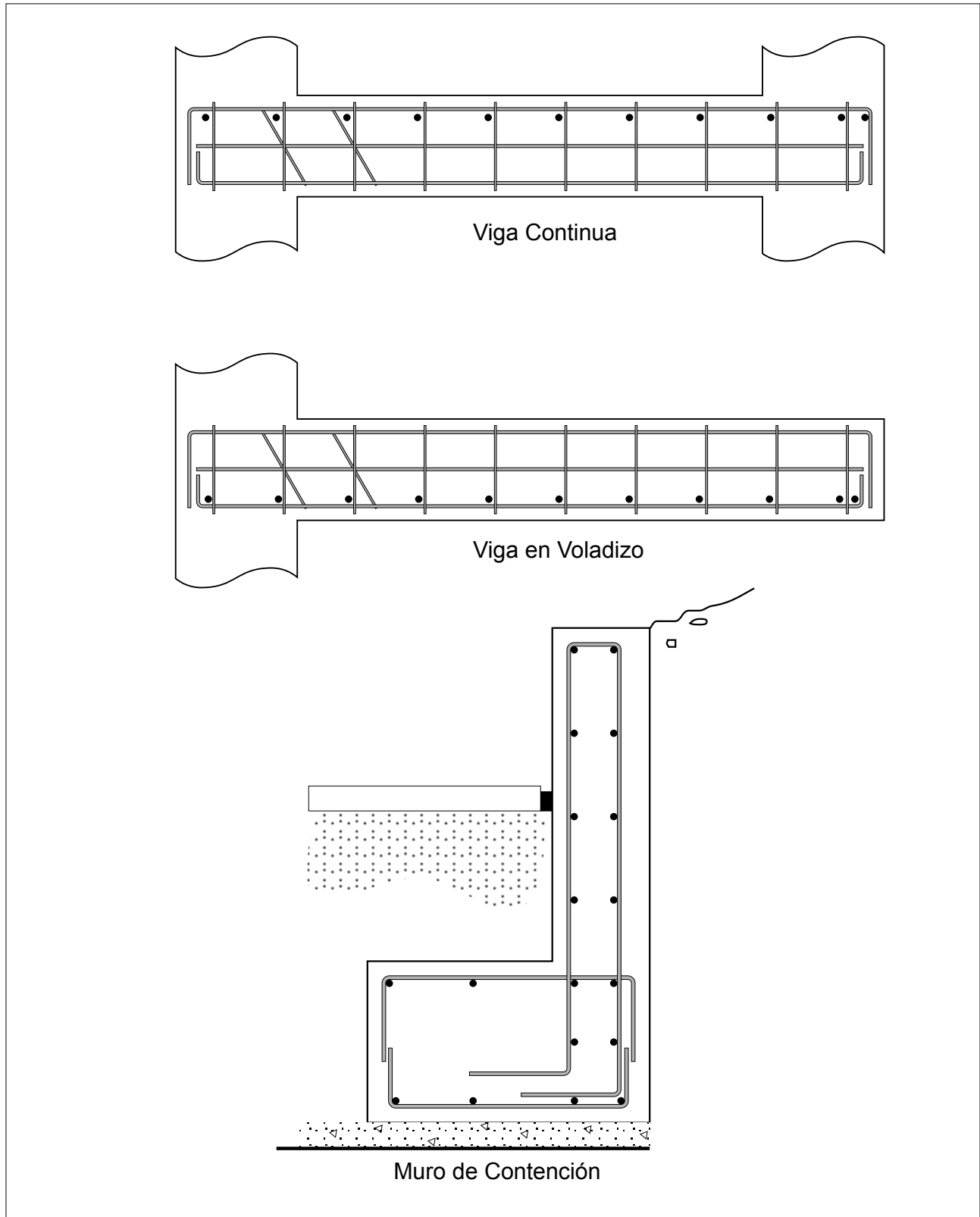


Figura 2.2.5a: Ejemplos de armaduras

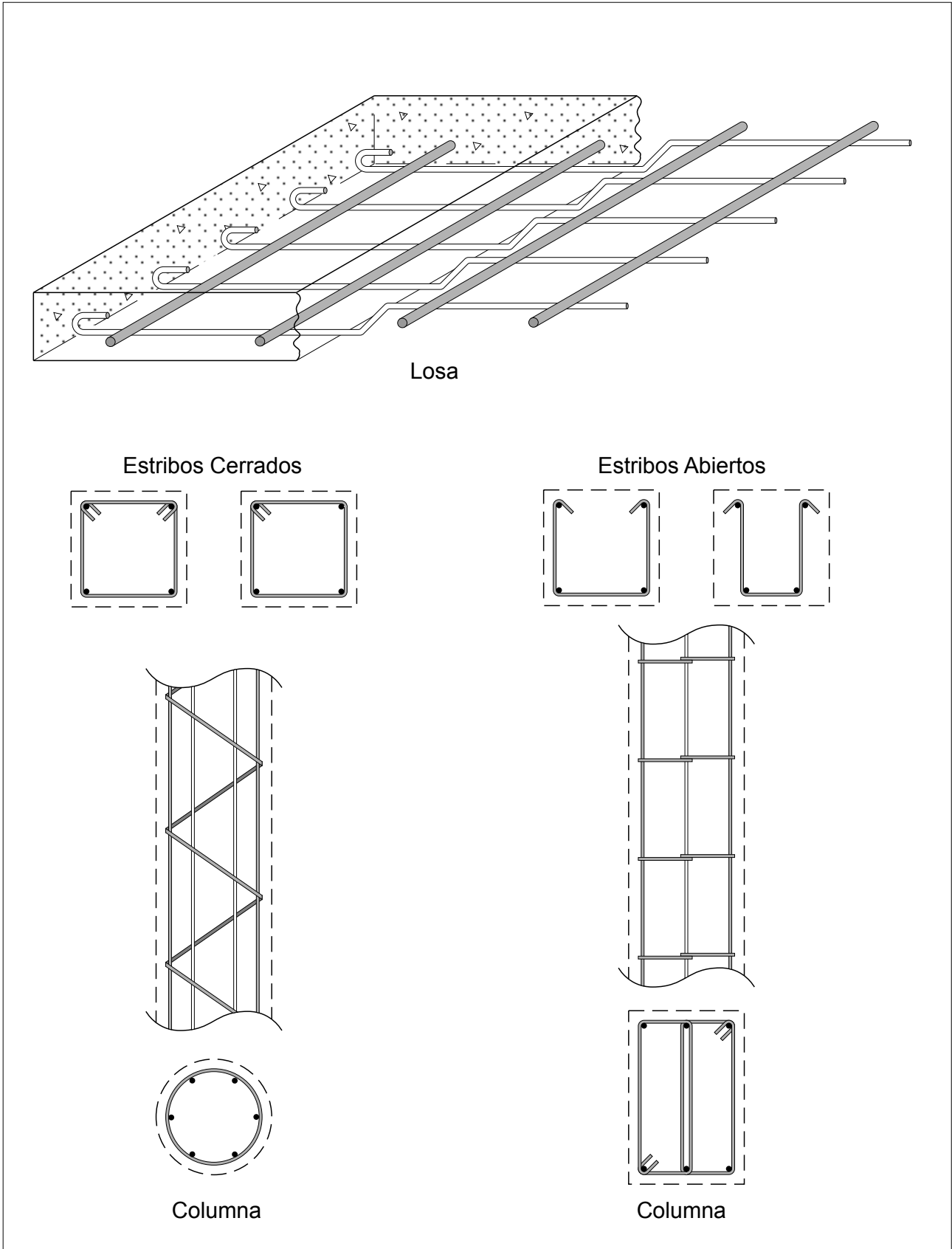


Figura 2.2.5b: Ejemplos de armaduras



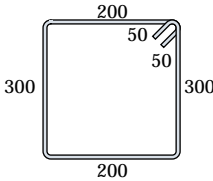
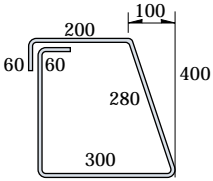
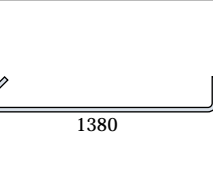
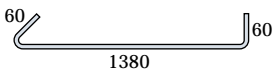
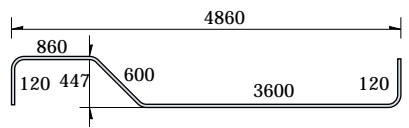
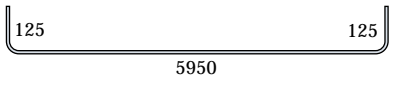
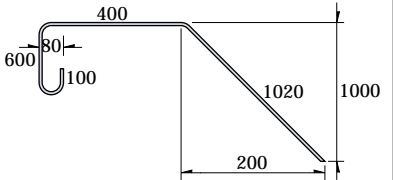
### 2.2.6 Cubicación de las Armaduras

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 solo algunos de los datos anteriores, pero que a diferencia del anterior incluye las formas y el detalle de las barras. Ambos casos son a partir de barras rectas A63-42H y no consideran las pérdidas materiales por despuntes.

**Tabla 2.2.6.1**
**Formulario para la Cubicación Resumida del Acero**

Obra	Edificio Catarina			Columnas Vigas y Muros	Peso Teórico (kg)	21085	Hoja N°	1/3			
Plano	N° 118-7	Rev. 1	Nivel Subterráneo	Calidad Acero	A63-42H	Fecha	17.06.04				
Lista de Barras				Diámetros de las Barras (mm)							
Marca	Cantidad	mm	Largo mm	8	10	12	16	18	22	28	32
				Cubicación Teórica (m)							
803	1620	8	1100	1782							
804	945	8	1400	1323							
805	810	8	1500	1215							
1004	270	10	5300		1431						
1005	270	10	6200		1674						
1206	270	12	3400			918					
1207	360	12	5200			1872					
1208	270	12	2600			702					
1610	180	16	5800				1044				
1611	80	16	5500				440				
1810	64	18	5800					371			
1811	96	18	5500					528			
2203	48	22	2350						113		
2210	64	22	5800						371		
2211	96	22	5500						528		
2805	24	28	5400							130	
2808	24	28	6100							146	
2810	24	28	5700							137	
3205	48	32	5400								259
3208	48	32	6100								293
3210	48	32	5700								274
Cubicó	P.M.J.	Total	m	4320	3105	3492	1484	899	1012	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.	Total	kg	1706	1916	3101	2345	1798	3016	1994	5210

Tabla 2.2.6.2										
Planilla para la Cubicación Detallada del Acero										
Obra	Edificio Catarina		Columnas Vigas y Muros			Peso Teórico (kg)	21085	Hoja N°		1/8
Plano	N° 118-7	Rev. 1	Nivel Subterráneo			Calidad Acero	A63-42H	Fecha		17.06.04
Forma y Dimensiones de la barra mm			Identificación				Totales			
			Ejes	Marca	Posición	mm	Largo mm	Piezas	m	kg
										
				803		8	1100	1620	1782	704
				804		8	1400	945	1323	523
				805		8	1500	810	1215	480
				1004		10	5300	270	1431	883
				1005		10	6200	270	1674	1033
				1206		12	3400	270	918	815
Barra (mm)	8	10	12	16	18	22	25	28	32	36
Total (m)	4320	3105	918							
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	1706	1916	815							

### 2.2.7 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 2.2.6.1 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 genéticos, 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.

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 (hasta este momento en nuestro país, sólo para diámetros de 6 a 12 milímetros), las pérdidas por despuntes son prácticamente despreciables, del orden de 0,4%, pues teóricamente sólo se producen en la punta y en la cola del rollo. Sin embargo este acero en rollos debe ser enderezado para obtener barras rectas, lo que tiene un costo adicional de horas máquina y mano de obra.

Tabla 2.2.7.1													
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									
Largo		Cantidad	Total	Corte 1			Corte 2			Corte 3			Total
mm	m		kg	Marca	Largo mm	Cant.	Marca	Largo mm	Cant.	Marca	Largo mm	Cant.	kg
8	12	162	768	803	1.100	1.620							704
8	6	34	81	804	1.400	135							75
8	6	405	960	805	1.500	810	804	1.400	810				928
10	12	270	1.999	1.004	5.300	270	1.005	6.200	270				1.916
12	12	270	2.877	1.206	3.400	270	1.207	5.200	270	1208	2600	270	2.685
12	6	90	480	1.207	5.200	90							416
16	12	90	1.706	1.610	5.800	180							1.650
16	6	80	758	1.611	5.500	80							695
18	12	64	1.536	1.810	5.800	64	1.811	5.500	64				1.446
18	6	32	384	1.811	5.500	32							352
22	12	64	2.289	2.210	5.800	64	2.211	5.500	64				2.155
22	6	32	572	2.211	5.500	32							524
22	12	10	358	2.203	2.350	48							336
28	12	24	1.391	2.808	6.100	24	2.810	5.700	24				1.368
28	6	24	696	2.805	5.400	24							626
32	12	48	3635	3.208	6.100	48	3.210	5.700	48				3.574
32	6	48	1.817	3.205	5.400	48							1.636

Resumen Consolidado								Totales				
mm	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 2.2.7.2**
**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	Nº 118-7	Hoja 1/3	Nivel Subterráneo				Aprobó	C.R.S.	17.10.04	1/54		
Barras Rectas a Utilizar			Barras Cortadas Obtenidas									
Largo Cantidad Total			Corte 1			Corte 2			Corte 3		Total	
mm	m	kg	Marca	Largo mm	Cant.	Marca	Largo mm	Cant.	Marca	Largo mm	Cant.	kg
8	12	162	768	803	1.100	1620						704
8	7	189	523	804	1.400	945						523
8	9	135	480	805	1.500	810						480
10	12	270	1.999	1.004	5.300	270	1.005	6.200	270			1.916
12	9	270	2158	1.206	3.400	270	1.207	5.200	270			2.062
12	8	90	639	1.207	5.200	90	1.208	2.600	90			623
12	8	60	426	1.208	2.600	180						416
16	12	90	1.706	1.610	5.800	180						1.650
16	11	40	695	1.611	5.500	80						695
18	12	32	768	1.810	5.800	64						742
18	11	48	1.056	1.811	5.500	96						1.056
22	12	10	358	2.203	2.350	48						336
22	12	32	1.144	2.210	5.800	64						1.106
22	11	48	1.573	2.211	5.500	96						1.573
28	11	12	638	2.805	5.400	24						626
28	12	24	1.391	2.808	6.100	24	2.810	5.700	24			1.368
32	11	24	1.666	3.205	5.400	48						1.636
32	12	48	3.635	3.211	6.100	48	3.212	5.700	48			3.574

Resumen Consolidado								Totales				
mm	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	24	1.994	7	35	2%	2.029
32						24	48	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>

### 2.2.8 Cuantías Estimadas de Acero

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

Los valores de las tablas siguientes, son valores promedio para los tramos de los pisos señalados y para acero A63-42H, con un rango de precisión de  $\pm 10\%$ , según el diseño y bases de cálculo.

**Tabla 2.2.8.1**  
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 2.2.8.2**  
Cuantías aproximadas de Acero de Refuerzo - kg/m<sup>2</sup> construidos

	Edificios habitacionales			Edificios industriales		
	Clase(*)	Nº de pisos	Acero refuerzo kg/m <sup>2</sup>	Clase(*)	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 de edificio es apropiado para cualquier altura hasta los 35 pisos en hormigón armado.

### 2.2.8.1 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 siguientes.

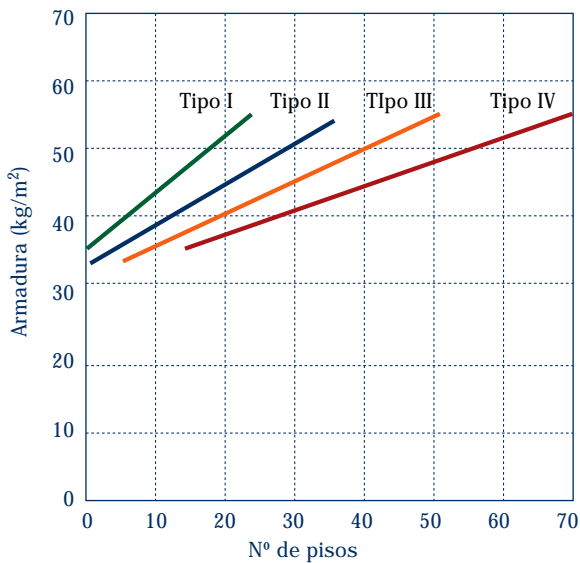
Tipo I: Marcos rígidos de hormigón, apropiados para cualquier altura hasta 20 pisos en hormigón armado.

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.

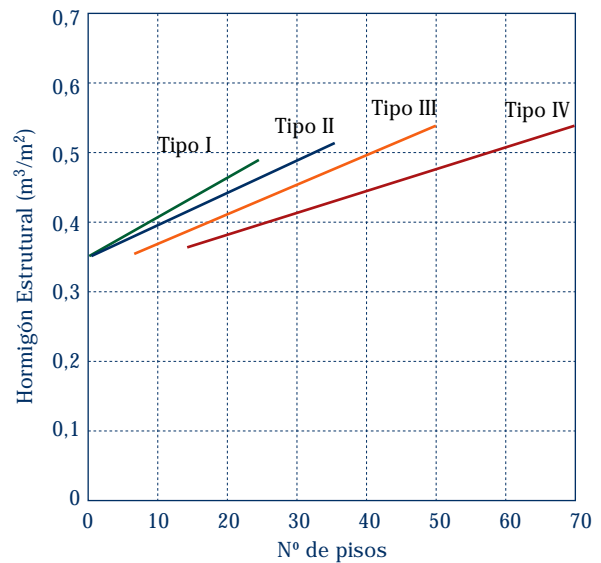
Tipo III: Es una combinación de los tipos I y II (marcos y muros), es un tipo relativamente reciente que tiene ventajas de resistencia sísmica sobre los anteriores. Su aplicación ha sido posible debido a la aparición de los computadores, que permiten resolver los complejos problemas de cálculo involucrados. 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 & Iyengar, de la empresa Skidmore Owens & Merrill, ha hecho posible construir los edificios más altos conocidos.

**Gráfico 2.2.8.1.1**  
Cuantías Medias de Acero de Refuerzos en Edificios



**Gráfico 2.2.8.1.2**  
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)
- Detalles Constructivos en Obras de Hormigón Armado: J. Calavera, Ediciones Intemac, 2000
- Ferralla: J. Calavera, E. González, J. Fernández, F. Valenciano, Ediciones Intemac, 2003
- 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.

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 nociones 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 a 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.
  - Entregar 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 los mismos.
  - 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 los mismos.
  - 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 enfierrador, 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 a 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 hiciera 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 quién 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.
- 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.

### 3.2.3 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.

### 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, en la página siguiente 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
- 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

Se define como fabricación de las armaduras, a la actividad que agrupa la preparación del material, el corte y el doblado de las barras. Es importante que la faena de fabricación sea programada y coordinada, en forma continua, de manera tal que las diferentes piezas estén disponibles cuando sean requeridas para su armado e instalación, y así 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 siguiente.

Tabla 4.2 Equipos, herramientas y maquinarias para la fabricación de armaduras	
Método tradicional en obra	Sistema industrializado en planta de C&D
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Guillotina o cizalla manual o automática.</li> <li>• Napoleones de 30" y cortafríos.</li> <li>• Combos y martillos de peña de 6 y 10 libras.</li> <li>• Metro enferrador 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>• Guaipe 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>• Tirfor manual para enderezado del acero.</li> <li>• Huinche eléctrico para enderezado del acero.</li> <li>• Overol de mezclilla y guantes de cuero de descarne o ropa de trabajo adecuada.</li> <li>• Zapatos de seguridad con punta de acero.</li> <li>• Casco de seguridad.</li> <li>• 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>• Devanadores o bobinas porta rollos.</li> <li>• Robot receptor de estribos con brazos rotatorios.</li> <li>• Vias 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>• 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 tradicional o mecánico, tal como se muestra en la fotografía.

Para corregir pequeñas dobladuras en las barras rectas, producidas durante la carga o descarga del material, o por el enderezado o corte, éstas se golpean controladamente mediante un combo, martillo o el revés de la grifa, con la barra colocada sobre el banco de trabajo. 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, 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 guaípe 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.

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



Máquina para el enderezado del acero en rollos.

#### 4.4 CORTE

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 a los largos indicados en los planos, tal como lo muestra la fotografía siguiente.

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

las de mayores dimensiones, mediante cortafríos, cizallas o guillotinas. No es recomendable el uso de equipos oxicorte por el efecto térmico, 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 calidad A63-42H, a razón de 60 cortes por minuto.



Corte de las barras.



Cizallas motorizadas.

#### 4.5 TOLERANCIAS DE CORTE

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

Tabla 4.5 Tolerancias para el corte de las barras		
Tipo de barra	Diámetro mm	Tolerancias
Barras rectas	8 a 36	Extremo-Extremo $\pm 25$ mm
Barras con ganchos y dobleces	8 a 22	Extremo-Extremo de los ganchos $\pm 12$ mm
Barras con ganchos y dobleces	25 a 36	Extremo-Extremo de los ganchos $\pm 25$ mm
Barras con ganchos y dobleces	8 a 36	Todo el alto, o parte de la barra $\pm 12$ mm
Espiral o amarra circular	8 a 25	Dimensiones Extremas-Extremas $\pm 12$ mm
Estribos	8 a 25	Dimensiones Extremas-Extremas $\pm 12$ mm

## 4.6 DOBLADO DE BARRAS

### 4.6.1 Introducción

De acuerdo a 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 calculista.

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 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 doblado 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.

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 fotografía siguiente, 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.



Doblado manual de barras.





Dobladora y Estribadora Automática.

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 fotografía anterior, que son capaces de doblar varias barras a la vez y, en algunos modelos, barras con resaltes de diámetros superiores a 36 milímetros en acero calidad A63-42H. Generalmente estos equipos tienen incorporado como accesorio un procesador que permite programar una secuencia de hasta 30 ángulos diferentes con ajuste cada 1°. 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

El término gancho normal se emplea en el Código de Diseño de Hormigón Armado ACI 318 con uno de los significados siguientes:

- a) Doble de 180° más una extensión "K", de 4 veces el diámetro  $d_b$  de la barra, hasta el borde libre o extremo del gancho, pero no menor de 60 mm.
- b) Doble de 90° más una extensión "K", de 12 veces el diámetro  $d_b$  de la barra, hasta el borde libre o extremo del gancho.
- c) Para estribos y ganchos de amarra normales:
  - Barras  $d_b$  16 y menores, doble de 90° más una extensión "K", de 6 veces el diámetro  $d_b$  de la barra, hasta el borde libre o extremo del gancho.
  - Barras  $d_b$  18 a  $d_b$  25 y menores, doble de 90° más una extensión "K", de 12 veces el diámetro  $d_b$  de la barra, hasta el borde libre o extremo del gancho.
  - Barras  $d_b$  25 y menores, doble de 135° más una extensión "K", de 6 veces el diámetro  $d_b$  de la barra, hasta el borde libre o extremo del gancho.
- d) Ganchos sísmicos para estribos, cercos o trabas:
  - Doble de 135° más una extensión "K", de 6 veces el diámetro  $d_b$  de la barra, hasta el borde libre o extremo del gancho.
  - Para cercos circulares, doble no menor a 90° más una extensión "K", de 6 veces el diámetro  $d_b$  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 rupturas, 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 doblez.

Tabla 4.6.3.1

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

Elemento	$d_b$ Barra mm	Angulo del Dobleces	$d_b$ Mínimo de Doblado	Extensión K
Barra con gancho normal	10 a 25	180°	$6d_b$	$4d_b \geq 60$ mm
	28 a 36	180°	$8d_b$	$4d_b \geq 60$ mm
	10 a 25	90°	$6d_b$	$12d_b$
	28 a 36	90°	$8d_b$	$12d_b$
Estribos y ganchos de amarra	8 a 16	90°	$4d_b$	$6d_b$
	18 a 25	90°	$6d_b$	$12d_b$
	8 a 16	135°	$4d_b$	$6d_b$
	18 a 25	135°	$6d_b$	$6d_b$
Gancho sísmico de un estribo, traba o cerco	8 a 25	90° y 135°	$6d_b$	$6d_b \geq 75$ mm

4.7 MEDIDAS MINIMAS PARA BARRAS CON GANCHOS

Conforme a lo señalado en la sección 4.6.2 y en la tabla 4.6.3.1, en las secciones siguientes se incluyen las medidas mínimas, expresadas en milímetros, para

barras de refuerzo con ganchos normales de 90° y 180°, estribos normales y ganchos de amarra de 90° y 135° y ganchos sísmicos para estribos continuos, cercos o trabas con doblé de 135° y cercos circulares con doblé de 90°.

4.7.1 Barras con Ganchos Normales

Tabla 4.7.1.1					
Medidas mínimas para barras con Ganchos Normales					
$d_b$ Barra mm	D mm	K mm	H mm	L (*) mm	Doblez de 90°
10	60	120	160	183	
12	72	144	192	219	
16	96	192	256	286	
18	108	216	288	329	
22	132	264	352	402	
25	150	300	450	536	
28	224	336	476	556	
32	256	384	544	635	
36	288	432	612	715	

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

Tabla 4.7.1.2					
Medidas mínimas para barras con Ganchos Normales					
$d_b$ Barra mm	D mm	K mm	H mm	L (*) mm	Doblez de 180°
10	60	60	80	186	
12	72	60	116	211	
16	96	64	128	265	
18	108	72	144	298	
22	132	88	176	365	
25	150	100	200	414	
28	224	112	280	552	
32	256	128	320	631	
36	288	144	360	710	

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

4.7.2 Estribos Normales y Ganchos de Amarra

Tabla 4.7.2.1

Medidas mínimas para Estribos Normales y Ganchos de Amarra

$d_b$ Barra mm	D mm	K mm	H mm	L (*) mm	Doblez 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

$d_b$ Barra mm	D mm	K mm	H mm	L (*) mm	Doblez de 135°
8	32	48	80	123	
10	40	60	100	154	
12	48	72	120	185	
16	64	96	160	247	
18	108	108	215	320	
22	132	132	265	391	
25	150	150	300	445	

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

### 4.7.3 Ganchos Sismicos

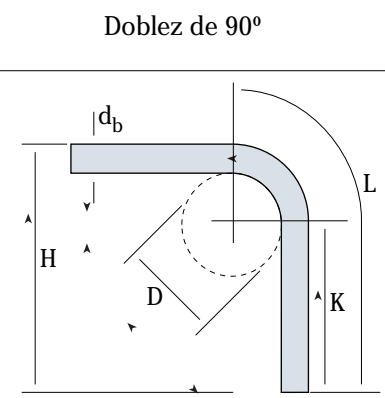
De acuerdo a lo establecido por el Código de Diseño de Hormigón Armado ACI 318, se debe considerar que: Para amarras cerradas y amarras enrolladas en forma continua definidos como cercos, se necesita

un doblé de 135°, excepto que los cercos circulares deben tener un doblé  $\geq$  a 90°. Los ganchos deben tener una extensión "K" de al menos 6 veces el diámetro  $d_b$  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 Sismicos en Cercos Circulares y Trabas

$d_b$ Barra mm	D mm	K mm	H mm	L (*) mm
8	48	75	107	138
10	60	75	115	154
12	72	75	123	169
16	96	96	160	222
18	108	108	180	249
22	132	132	220	305
25	150	150	275	346

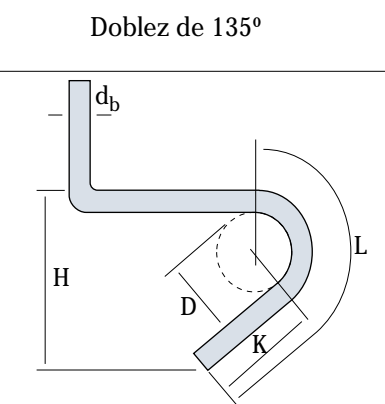


(\*) La longitud total del gancho (L) está medida por la cara exterior de la barra.

Tabla 4.7.3.2

Medidas mínimas para Ganchos Sismicos en Amarras Cerradas Continuas

$d_b$ Barra mm	D mm	K mm	H mm	L (*) mm
8	48	75	115	169
10	60	75	130	193
12	72	75	146	216
16	96	96	191	284
18	108	108	215	320
22	132	132	265	391
25	150	150	300	445



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

#### 4.8 TOLERANCIAS DE FABRICACION

Según lo recomendado y aceptado por el "ACI Detailing Manual", del Comité ACI 315 y de acuerdo a los códigos de la tabla e ilustraciones siguientes, se muestran las tolerancias estándares de fabricación para diferentes tipos o formas de barras de  $d_b$  8 a  $d_b$  36 mm.

A modo de ejemplo, si tenemos que fabricar una barra de  $\varnothing 28$  con dobleces y ganchos, tal como la del tipo C de la figura, y empleamos el significado de la tabla 4.8, que para este caso corresponde a los códigos asignados con los números 2, 3 y 4, tenemos que las tolerancias de fabricación son de 25 milímetros para el largo total extremo-extremo de la pieza, + 0 ó -12 milímetros para la altura total de ella y 12 milímetros para la altura de los ganchos extremos respectivamente.

Tabla 4.8

Simbología y Tolerancias de Fabricación

Código	$d_b$ Barra mm	Tolerancias
1	8 a 16	$\pm 12$ mm: para un largo Extremo-Extremo de la barra $\geq 3.600$ mm
1	8 a 16	$\pm 25$ mm: para un largo Extremo-Extremo de la barra $\geq 3.600$ mm
1	18 a 25	$\pm 25$ mm
2	8 a 36	$\pm 25$ mm
3	8 a 36	+0 ó -12 mm
4	8 a 36	$\pm 12$ mm
5	8 a 36	$\pm 12$ mm: para diámetros $\leq 750$ mm
5	8 a 36	$\pm 12$ mm: para diámetros $\geq 750$ mm
6	8 a 36	$\pm 1,5\%$ del largo de la cuerda, $\geq a \pm 50$ mm

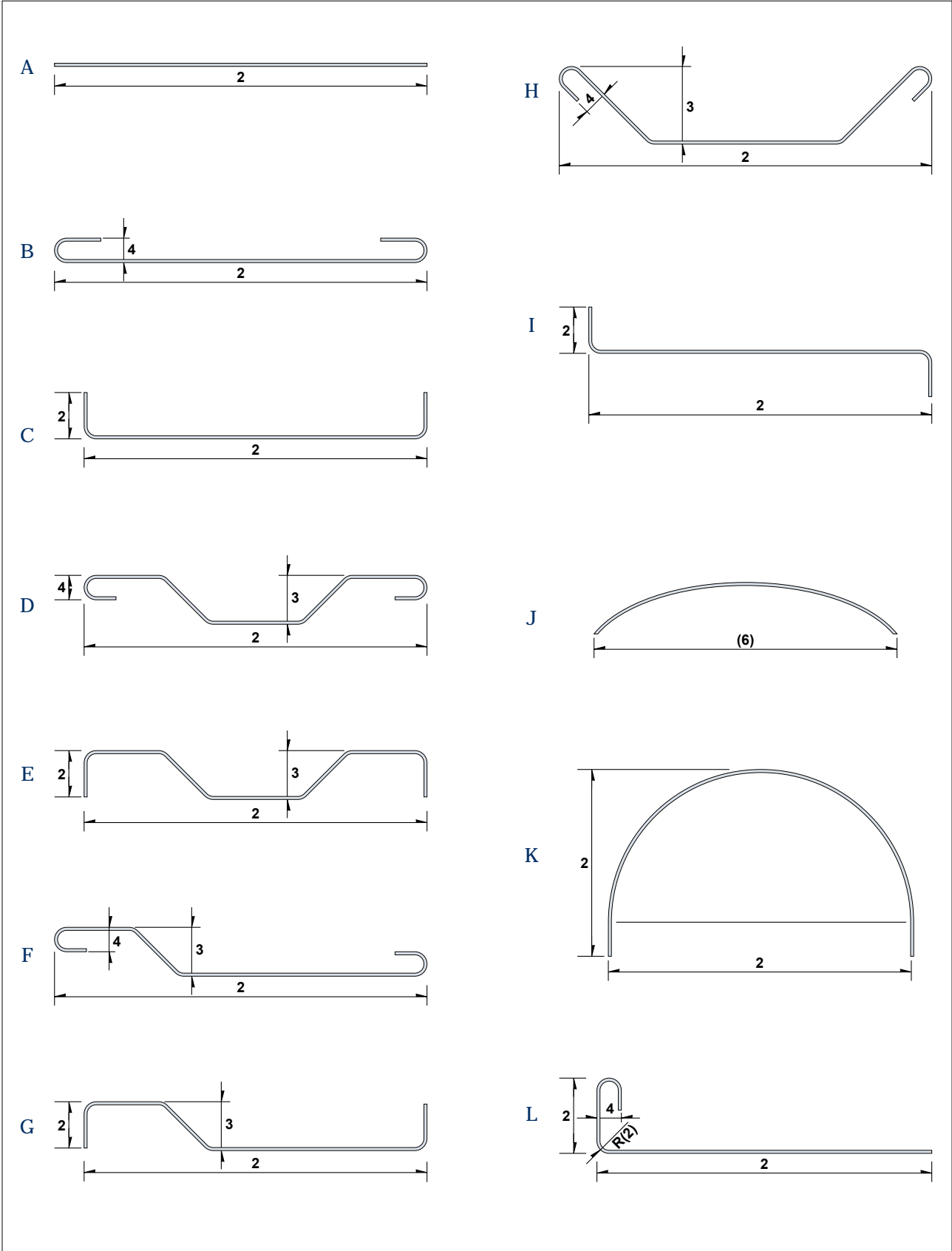


Figura 4.8.1a: Tolerancias Estándar de Fabricación Barras Dobladas (ACI 315)

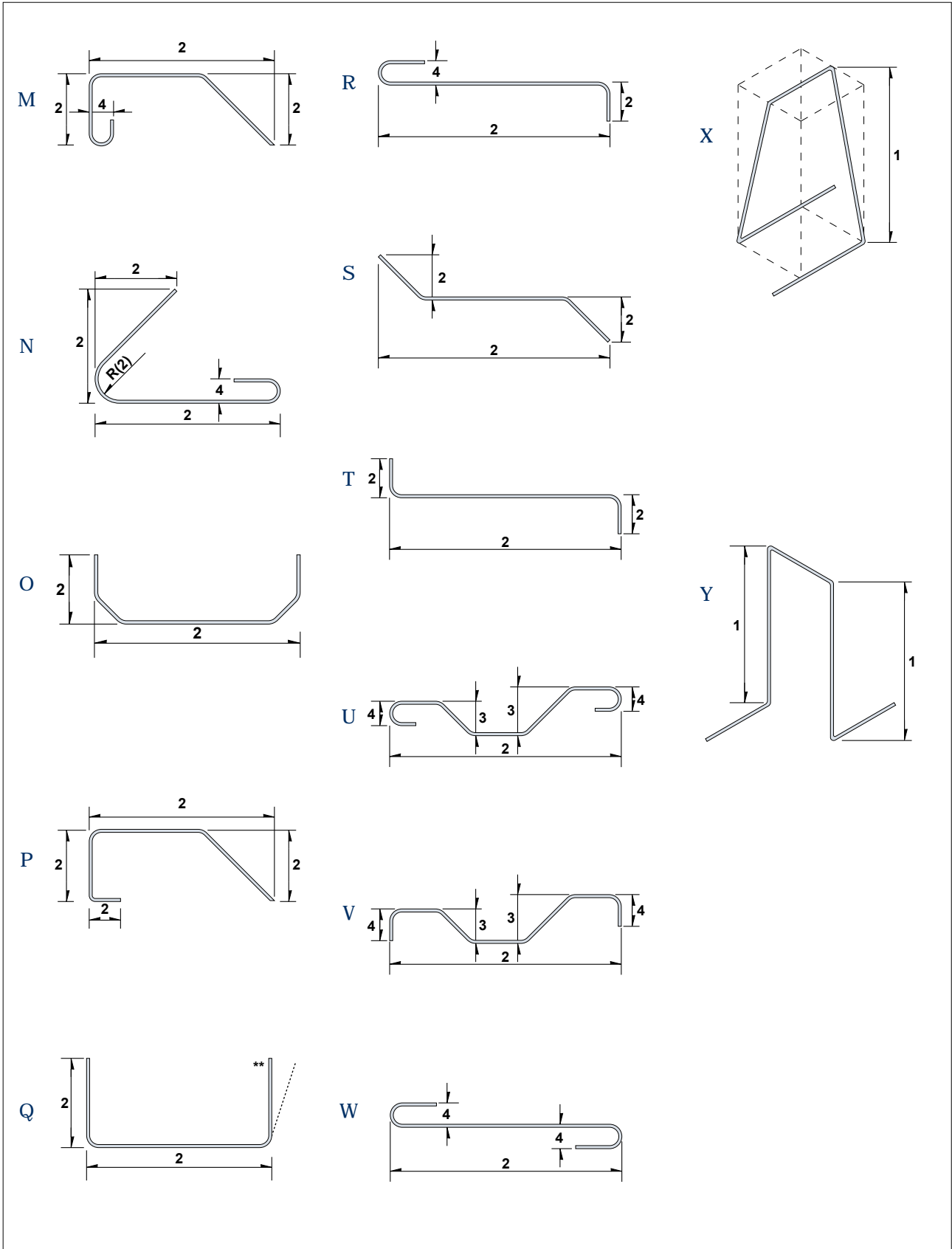


Figura 4.8.1b: Tolerancias Estándar de Fabricación Barras Dobladas (ACI 315)



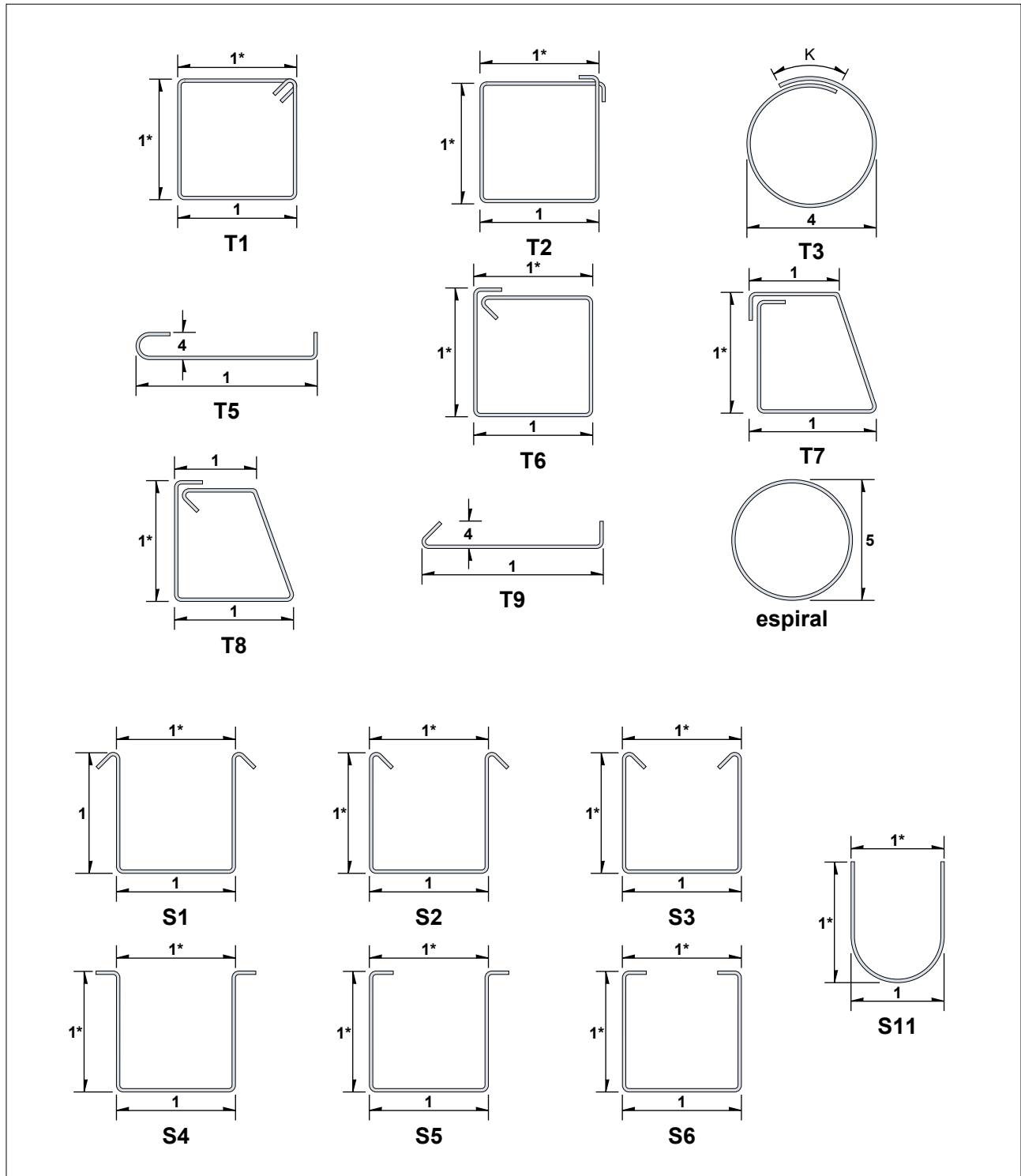


Figura 4.8.2: Tolerancias Estándar de Fabricación Estribos.

\* Las dimensiones en esta línea deberán estar dentro de la tolerancia indicada, pero no deberán diferir de la dimensión paralela opuesta en más de 12 mm.

\*\* Desviación angular: máximo  $\pm 2,5^\circ$  ó  $\pm 4\text{cm/m}$ , pero no menos que 12 mm, en todos los ganchos y curvas de  $90^\circ$ .

\*\*\* Si la aplicación de la tolerancia positiva para el Tipo IX resulta en un largo de cuerda  $\geq$  que el largo del arco de la barra, la barra puede ser transportada en forma vertical.

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.

#### 4.9 RENDIMIENTOS PARA LA FABRICACION DE ARMADURAS

##### 4.9.1 Mano de Obra Método Tradicional

A modo de información, en la tabla que sigue 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
1.	Preparación del Material:		
1.1	Enderezado con Tirfor Manual Barras en rollos 6 a 12 mm		
1.1.1	Acero A44-28H	0,70	12,9
1.1.2	Acero A63-42H	0,60	15,0
1.2	Enderezado con Huinche Eléctrico Barras en rollos 6 a 12 mm	0,78	11,5
1.3	Enderezado de barras rectas 6 a 36 mm	0,96	9,38
1.4	Limpieza del acero	1,00	9,00
2.	Corte y Doblado de las barras:		
2.1	6 y 8 mm. Aceros A44-28H y A63-42H	0,20	45,0
2.2	10 y 12 mm. Acero A44-28H	0,25	36,0
2.3	16 y 18 mm. Acero A44-28H	0,43	20,9
2.4	22 y 25 mm. Acero A44-28H	0,75	12,0
2.5	28, 32 y 36 mm. Acero A44-28H	0,92	9,78
2.6	10 y 12 mm. Acero A63-42H	0,22	40,9
2.7	16 y 18 mm. Acero A63-42H	0,34	26,5
2.8	22 y 25 mm. Acero A63-42H	0,52	17,3
2.9	28, 32 y 36 mm. Acero A63-42H	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 ejemplo, el acero que pasa por las plantas o talleres europeos tiene aproximadamente la siguiente distribución, en los países que se indican 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 a un sondeo de opinión realizado recientemente en varias obras y empresas constructoras de la Región Metropolitana, se ha podido comprobar que solo alrededor del 30% 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

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

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 4.9.2.2.

#### 4.9.3 Ejemplos de Rendimientos Fabricación de Armaduras

De acuerdo a 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 calidad A44-28H será enderezado con tirfor manual y el de calidad A63-42H mediante huiñche eléctrico.
- Se estima que el 3% del total de las barras rectas requerirán ser enderezadas con un combo o el revés de la grifa, debido a deformaciones por el transporte y descarga del material o como producto de un deficiente enderezado del acero suministrado en rollos.

**Tabla 4.9.3.1**
**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 A44-28H	ton	267,8	-	121,8
Diámetros especificados A44-28H	mm	8 a 25	-	8 a 16
Acero A63-42H	ton	-	314,1	81,3
Diámetros especificados A63-42H	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 4.9.3.1.1														
Resumen Forma de Entrega y Proporción del Acero														
(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	A44-28H	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%		
Edificio 2	A63-42H	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%
Edificio 3	A44-28H	31,9	31,9	5,3	5,3	7,3	7,3	22,8						111,8
			31%		5%		7%		11%					
	A63-42H								12,1	49,7	29,5			91,3
									6%	24%	15%			45%

4.9.3.2 Resumen de los Rendimientos para la Fabricación

Tabla 4.9.3.1.2			
Resumen Rendimientos Mano de Obra Directa Fabricación Armaduras Edificios 1, 2 y 3			
Item	Actividad	Diámetros mm	Rendimiento HH/ton
Mano de Obra Tradicional			
A.	Preparación del Material		
	Enderezado c/tirfor manual (A44-28H)	8, 10 y 12	122,0
	Enderezado c/huinche eléctrico (A63-42H)	8, 10 y 12	107,7
	Enderezado barras rectas =3%	8 a 32	24,5
	Limpieza del acero = 2%	8 a 32	16,3
	Subtotal Preparación del Material	8 a 32	270,5
B.	Subtotal Corte y Doblado (C&D) - A4428H + A63-42H	8 a 32	816,00
1.	Total Mano de Obra Fabricación Tradicional	8 a 32	816,0
2.	Total Mano de Obra Fabricación Industrial	8 a 32	816,0

#### 4.9.3.3 Conclusiones

- 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 calidad A44-28H y A63-42H 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/hora producidas.

Cuadro 4.9.4

## Comparación Método Tradicional versus Sistema Industrializado Fabricación Armaduras

Conceptos Relevantes	Subcontrato M. de Obra Tradicional	Planta Industrial de C&D
Apoyo técnico en el despiece del acero	No	Sí
Estudio de las cubicaciones de las armaduras	No	Eventual
Control secuencial de todas las etapas y procesos (Trazabilidad)	No	Sí
Cotizar el acero y el servicio de fabricación por separado	Si	No
Fabricación controlada de armaduras de primera calidad	No	Sí
Optimización del espacio físico de la obra	No	Sí
Menor inversión en obra por máquinas de bajo rendimiento	No	Sí
Mano de obra debidamente calificada	Incierto	Sí
Limitación de la capacidad de producción por el plantel en obra	Si	No
Garantía de rendimientos de mano de obra según presupuesto	No	Sí
Posibilidad de fabricación diaria ininterrumpida (24 horas)	No	Sí
Riesgos de accidentes de los trabajadores del oficio en obra	Mayor	Menor
Ahorro efectivo en el costo de la mano de obra directa	No	Sí
Incertidumbre de cumplimiento por factores climáticos (lluvia)	Mayor	Mínima
Garantía de solvencia económica del contratista de corte y doblado	Menor	Mayor
Material disponible en el momento requerido según programa	Incierto	Sí
Posibilidad de menores plazos de entrega según requerimientos	No	Sí
Rectificación rápida en obra por errores eventuales en los planos	Si	No
Eliminación de las mermas por cortes o mal aprovechamiento	No	Sí
Facturación del acero que se entrega y necesita efectivamente	No	Sí
Entrega en paquetes individualizados que facilitan el armado	No	Sí
Control para reducir las pérdidas por hurto	Mayor	Mínimo o nulo
Disminución de stocks de acero inmovilizado	No	Sí
Reducción de los costos financieros	No	Sí
Asistencia técnica en obra	No	Sí

#### 4.10 Bibliografía y Referencias Capítulo 4

- ACI 318 Código de Diseño de Hormigón Armado: American Concrete Institute, 2002
- ACI 315 Detailing Manual: American Concrete Institute, 1995
- 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
- Oscam S. p. A.: Italia
- Placing Reinforcing Bars: Concrete Reinforcing Steel Institute, Sexta Edición, 1992
- Schnell srl: Italia
- Stema Engineering A/S: Dinamarca
- 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 318-2002, como por ejemplo las longitudes de desarrollo para el anclaje y empalmes de barras, fijaciones y espaciamientos, tienen el propósito de ayudarle a recordar al personal encargado de dirigir y ejecutar la faena de armado e instalación de las armaduras e inspeccionarlas, 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 concreto 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  $40d_b$  de la barra individual.

Cuando las limitaciones de recubrimientos de hormigón y espaciamiento mínimo entre barras se basan sobre el diámetro  $d_b$ , 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 descarnado 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 anclaje, 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 la calidad del acero y el grado del hormigón utilizado, establecidas por la norma chilena NCh 170.Of 85, 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 ( $l_d$ ), 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, 1 y 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 siguiente.
- 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 siguiente.
- 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 básicos de las longitudes de desarrollo calculadas, para el anclaje de barras con resaltes en tracción, expresadas en milímetros, que no consideran los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\psi$ ,  $\omega$ , se presentan en las tablas 5.3.2.3 a la 5.3.2.6 inclusive.

Tabla 5.3.2.1

Longitud de Desarrollo para Barras con Resaltes en Tracción

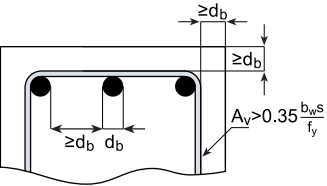
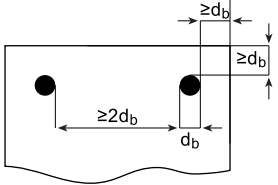
Casos y Condiciones	Esquema de recubrimientos y separaciones mínimas	Barras con resaltes $d_b \leq 18$ y menores	Barras con resaltes $d_b \geq 22$ y mayores
<p><b>Caso A</b></p> <p>Condición 1: Aplicable si <math>d_b</math> es mayor o igual que el recubrimiento y espaciamiento libre entre las barras que están siendo desarrolladas o empalmadas. Además, es requisito para esta condición que los estribos o amarras a lo largo de <math>l_d</math> no sean inferiores al mínimo señalado.</p> <p>Condición 2: Aplicable si el espaciamiento libre entre las barras que están siendo desarrolladas o empalmadas es mayor o igual a <math>2d_b</math>, y el recubrimiento libre es mayor o igual a <math>d_b</math>.</p>	 	$l_d = \frac{12 d_b f_y}{25 \sqrt{f'_c}}$ <p>[5.3.2-1]</p>	$l_d = \frac{3 d_b f_y}{5 \sqrt{f'_c}}$ <p>[5.3.2-2]</p>
<p><b>Caso B</b></p> <p>Otros casos (Diferentes a las Condiciones 1 y 2)</p>		$l_d = \frac{18 d_b f_y}{25 \sqrt{f'_c}}$ <p>[5.3.2-3]</p>	$l_d = \frac{9 d_b f_y}{10 \sqrt{f'_c}}$ <p>[5.3.2-4]</p>
<p>Notación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>l_d</math> : Longitud de desarrollo, mm</li> <li><math>d_b</math> : Diámetro nominal de la barra, mm</li> <li><math>A_v</math> : Area de la armadura por corte en una distancia s, mm<sup>2</sup></li> <li>s : Espaciamiento entre estribos, mm</li> <li><math>b_w</math> : Ancho del alma de la viga, mm</li> <li><math>f_y</math> : Tensión de fluencia especificada para el acero de la armadura, MPa</li> <li><math>f'_c</math> : Resistencia especificada del hormigón, MPa</li> <li>, , : Factores de modificación definidos en la tabla 5.3.2.2</li> </ul>			

Tabla 5.3.2.2		
Factores de Modificación de la Longitud de Desarrollo para Barras con resaltes en Tracción		
Factor	Condición	Valor
= factor por ubicación de la armadura	Armadura horizontal ubicada de tal manera que se vierten más de 300 mm de hormigón fresco en el elemento, bajo la longitud de desarrollo o empalme en tracción.	1,3
	Otras armaduras en tracción	1,0
= factor por revestimiento de la armadura	Barras revestidas con epóxico con recubrimientos menores que $3d_b$ , ó un espaciamiento libre menor a $6d_b$	1,5
	Todas las demás barras revestidas con epóxico	1,2
	Armadura sin revestimiento epóxico	1,0
= factor por agregado del hormigón	Hormigón con agregado corriente	1,0
	Hormigón con agregado liviano	1,3
$d_b$ : Diámetro de la barra * : No es necesario que sea mayor a 1,7		

Tabla 5.3.2.3											Acero A63-42H ( $f_y = 420$ MPa)
Longitud de Desarrollo Básica para Barras Rectas en Tracción. Caso A											$\lambda = 1,0$ ; $\lambda = 1,0$ ; $\lambda = 1,0$
Grado del hormigón NCh 170.Of 85	Resistencia especificada $f_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)									
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36
H20	16	403	504	605	806	907	1386	1575	1764	2016	2268
H25	20	361	451	541	721	811	1240	1409	1578	1803	2029
H30	25	323	403	484	645	726	1109	1260	1411	1613	1814
H35	30	294	368	442	589	663	1012	1150	1288	1472	1656
H40	35	273	341	409	545	613	937	1065	1193	1363	1533
H45	40	255	319	383	510	574	877	996	1116	1275	1434
H50	45	240	301	361	481	541	826	939	1052	1202	1352

Tabla 5.3.2.4											Acero A44-28H ( $f_y = 280$ MPa)
Longitud de Desarrollo Básica para Barras Rectas en Tracción. Caso A											$\lambda = 1,0$ ; $\lambda = 1,0$ ; $\lambda = 1,0$
Grado del hormigón NCh 170.Of 85	Resistencia especificada $f_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)									
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36
H20	16	269	336	403	538	605	924	1050	1176	1344	1512
H25	20	240	301	361	481	541	826	939	1052	1202	1352
H30	25	215	269	323	430	484	739	840	941	1075	1210
H35	30	196	245	294	393	442	675	767	859	982	1104
H40	35	182	227	273	363	409	625	710	795	909	1022
H45	40	170	213	255	340	383	584	664	744	850	956
H50	45	160	200	240	321	361	551	626	701	801	902

Alcances:

- Los valores de estas tablas están condicionados a la aplicación de los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\lambda$  y  $\lambda$  de la tabla 5.3.2.2, según sean las especificaciones del caso.
- 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 318-2002, incluso esto es necesario si son aplicados los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\lambda$  y  $\lambda$  de la tabla 5.3.2.2.
- 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.
- Para aplicar los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\lambda$  y  $\lambda$  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.



Tabla 5.3.2.5											Acero A63-42H ( $f_y = 420$ MPa)	
Longitud de Desarrollo Básica para Barras Rectas en Tracción. Caso B											= 1,0; = 1,0; = 1,0	
Grado del hormigón NCh 170.Of 85	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)										
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	
H20	16	605	756	907	1210	1361	2079	2363	2646	3024	3402	
H25	20	541	676	811	1082	1217	1860	2113	2367	2705	3043	
H30	25	484	605	726	968	1089	1663	1890	2117	2419	2722	
H35	30	442	552	663	883	994	1518	1725	1932	2208	2484	
H40	35	409	511	613	818	920	1406	1597	1789	2045	2300	
H45	40	383	478	574	765	861	1315	1494	1673	1913	2152	
H50	45	361	451	541	721	811	1240	1409	1578	1803	2029	

Tabla 5.3.2.6											Acero A44-28H ( $f_y = 280$ MPa)	
Longitud de Desarrollo Básica para Barras Rectas en Tracción. Caso B											= 1,0; = 1,0; = 1,0	
Grado del hormigón NCh 170.Of 85	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)										
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	
H20	16	403	504	605	806	907	1386	1575	1764	2016	2268	
H25	20	361	451	541	721	811	1240	1409	1578	1803	2029	
H30	25	323	403	484	645	726	1109	1260	1411	1613	1814	
H35	30	294	368	442	589	663	1012	1150	1288	1472	1656	
H40	35	273	341	409	545	613	937	1065	1193	1363	1533	
H45	40	255	319	383	510	574	877	996	1116	1275	1434	
H50	45	240	301	361	481	541	826	939	1052	1202	1352	

Alcances:

- a) Los valores de estas tablas están condicionados a la aplicación de los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  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, deberán ser ajustados a las longitudes mínimas de 300 mm de desarrollo, exigidas por el Código ACI 318-2002, incluso esto es necesario si son aplicados los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  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  $\lambda$ ,  $\lambda_1$  y  $\lambda_2$  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 la señalada 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 subsiguientes, 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.

$$l_{hb} = 0,24d_b f_y \sqrt{f'_c} \quad [5.3.3]$$

Notación:

$l_{dh}$  = Longitud de desarrollo de un gancho normal o estándar en tracción, mm

=  $l_{hb}$  x factores de modificación aplicables

$l_{hb}$  = Longitud de desarrollo básica del gancho normal o estándar en tracción, mm

$d_b$  = Diámetro nominal de la barra, mm

$f_y$  = Tensión de fluencia especificada para el acero de la armadura, MPa

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

, = Factores de modificación

Condiciones:

- Las longitudes de desarrollo para el anclaje no podrán ser menores a 8 veces el diámetro  $d_b$  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.
- 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  $2d_b$  y el resto no más de  $3d_b$  de la barra con gancho, en cuyo caso no se deberá aplicar el valor 0,8 de la tabla 5.3.3.1 mencionada.



Tabla 5.3.3.1

Factores que Modifican el Desarrollo de los Ganchos Estándar en Tracción

Factor	Condición	Valor
Recubrimiento de hormigón	Para barras de $d_b \geq 36$ y menores, con recubrimiento lateral normales al plano del gancho no menor de 60 mm, y para ganchos de 90° con recubrimiento en la extensión de la barra más allá del gancho, no menor de 50 mm.	0,7
Amarras o estribos	Para barras de $d_b \geq 36$ y menores con ganchos normales de 90° ó 180°, confinados vertical u horizontalmente por amarras o estribos espaciados a lo largo de la longitud de desarrollo total $l_{dh}$ a no más de $3d_b$ . Además, la primera amarra o estribo debe confinar la parte doblada del gancho, a una distancia menor a $2d_b$ del borde externo del gancho.	0,8
Armadura en exceso	Cuando no se requiera específicamente anclaje o longitud de desarrollo para $f_y$ , y se dispone de armadura en exceso al requerido por el análisis.	$\frac{A_s \text{ requerido}}{A_s \text{ proporcionado}}$
= Factor por revestimiento de la armadura	Barras con ganchos estándar sin revestimiento epóxico.	1,0
	Barras con ganchos estándar que van cubiertas con revestimiento epóxico.	1,2
= Factor por agregado del hormigón	Hormigón con agregado corriente.	1,0
	Hormigón con agregado liviano.	1,3

$d_b$  : Diámetro de la barra  
 $A_s$  : Area de la armadura, mm<sup>2</sup>

Tabla 5.3.3.2											Acero A63-42H ( $f_y = 420$ MPa)	
Longitud de Desarrollo Ganchos Normales en Tracción. Hormigón con Agregado Corriente											$\lambda = 1,0; \lambda = 1,0$	
Grado del hormigón NCh 170.Of 85	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)										
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	
H20	16	202	252	302	403	454	554	630	706	806	907	
H25	20	180	225	270	361	406	496	563	631	721	811	
H30	25	161	202	242	323	363	444	504	564	645	726	
H35	30	147	184	221	294	331	405	460	515	589	663	
H40	35	136	170	204	273	307	375	426	477	545	613	
H45	40	128	159	191	255	287	351	398	446	510	574	
H50	45	120	150	180	240	270	331	376	421	481	541	

Tabla 5.3.3.3											Acero A44-28H ( $f_y = 280$ MPa)	
Longitud de Desarrollo Ganchos Normales en Tracción. Hormigón con Agregado Corriente											$\lambda = 1,0; \lambda = 1,0$	
Grado del hormigón NCh 170.Of 85	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)										
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	
H20	16	134	168	202	269	302	370	420	470	538	605	
H25	20	120	150	180	240	270	331	376	421	481	541	
H30	25	108	134	161	215	242	296	336	376	430	484	
H35	30	98	123	147	196	221	270	307	344	393	442	
H40	35	91	114	136	182	204	250	284	318	363	409	
H45	40	85	106	128	170	191	234	266	298	340	383	
H50	45	80	100	120	160	180	220	250	280	321	361	

Alcances:

- a) Los valores de estas tablas están condicionados a la aplicación de los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\lambda$  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  $\lambda$ ,  $\lambda$  y  $\lambda$  de la tabla 5.3.3.1, deberán ser ajustados al mínimo de 150 mm exigido por el Código ACI 318-2002.

- 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  $l_{dc}$  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.

$$l_{dc} = 0,043 d_b f_y \geq 200 \text{ mm.} \quad [5.3.4.1]$$

$$l_{dc} = 0,24 d_b f_y / \sqrt{f'_c} \geq 200 \text{ mm.} \quad [5.3.4.2]$$

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

c) Factores de modificación:

1. Si la armadura excede lo requerido por el análisis, la longitud de desarrollo  $l_{dc}$  puede multiplicarse por el cociente  $A_s$  requerido /  $A_s$  proporcionado
2. Si la armadura está confinada por una espiral o zuncho de  $d_b/6$  o mayor y no más de 100 milímetros de paso, o dentro de amarras de  $d_b/12$  como mínimo, espaciadas a distancias no mayores de 100 milímetros, medidos entre centros, se puede multiplicar la longitud de desarrollo  $l_{dc}$  por el factor 0,75.

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.

Notación:

$l_{dc}$  = Longitud de desarrollo de barras en compresión, mm

$d_b$  = Diámetro nominal de la barra, mm

$f_y$  = Tensión de fluencia especificada para el acero de la armadura, MPa

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

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

$A_s$  = Area de la armadura en tracción,  $\text{mm}^2$

Las longitudes de desarrollo para las barras con resaltes rectas, sometidas a esfuerzos de compresión, aceros calidad A63-42H y A44-28H, se presentan tanto en la tabla 5.3.4.1, que no contempla los grados 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		
d <sub>b</sub> Barra mm	Calidad del Acero	
	A63-42H	A44-28H
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

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											Acero A63-42H ( $f_y = 420$ MPa)
Longitud de Desarrollo Básica para Barras Rectas en Compresión											
Grado del hormigón NCh 170.Of 85	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)									
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36
H20	16	202	252	302	403	454	554	630	706	806	907
H25	20	180	225	270	361	406	496	563	631	721	811
H30	25	161	202	242	323	363	444	504	564	645	726
H35	30	147	184	221	294	331	405	460	515	589	663
H40	35	136	170	204	273	307	375	426	477	545	613
H45	40	128	159	191	255	287	351	398	446	510	574
H50	45	120	150	180	240	270	331	376	421	481	541

Tabla 5.3.4.3											Acero A48-28H ( $f_y = 280$ MPa)
Longitud de Desarrollo Básica para Barras Rectas en Compresión											
Grado del hormigón NCh 170.Of 85	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)									
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36
H20	16	134	168	202	269	302	370	420	470	538	605
H25	20	120	150	180	240	270	331	376	421	481	541
H30	25	108	134	161	215	242	296	336	376	430	484
H35	30	98	123	147	196	221	270	307	344	393	442
H40	35	91	114	136	182	204	250	284	318	363	409
H45	40	85	106	128	170	191	234	266	298	340	383
H50	45	80	100	120	160	180	220	250	280	321	361

Alcances:

- Los valores que se presentan destacados con fondo gris, incluso aquellos producto de la aplicación de los factores de modificación, deben ser ajustados a las longitudes mínimas de 200 mm, exigidas por el Código ACI 318-2002.
- Los valores básicos que se muestran en azul deben reemplazarse por los valores mínimos dados en la tabla 5.3.4.1 para los mismos diámetros, por ser mayores estos últimos.
- 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

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 por la altura efectiva  $h$  del elemento de hormigón o 12 veces el diámetro  $d_b$  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.

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

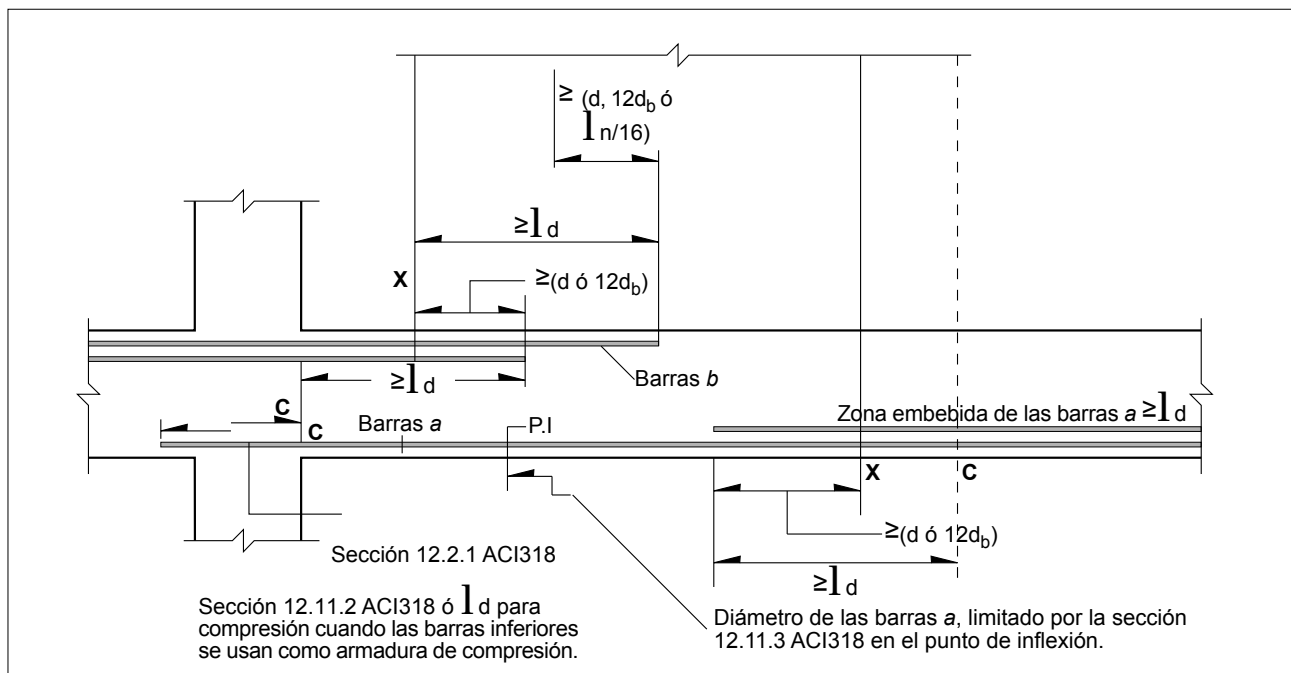


Figura 5.3.5: Ejemplo de Armadura por Flexión en una Viga Típica.

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 vigas simplemente apoyadas y una cuarta parte de las armaduras especificadas en vigas continuas, se prolonguen a lo largo de la misma cara del elemento hasta el apoyo, con una extensión mínima de 15 centímetros 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.

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  $A_{s,req}/A_{s,prov}$  de la tabla 5.3.3.1.

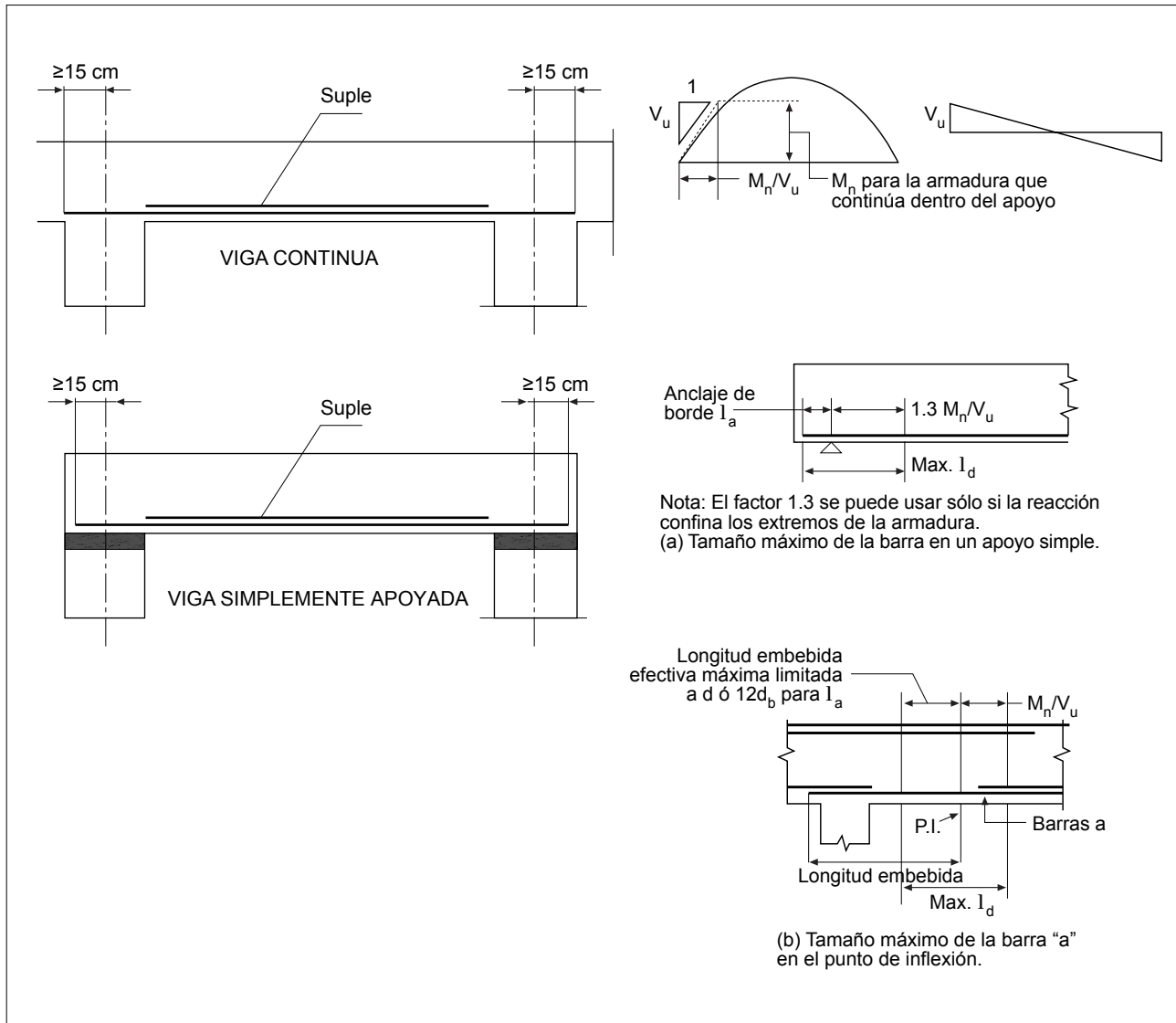


Figura 5.3.6.: Ejemplo de Anclaje en Zonas de Momento Positivo.

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 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 la altura útil  $h$  del elemento, 12 veces el diámetro  $d_b$  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.

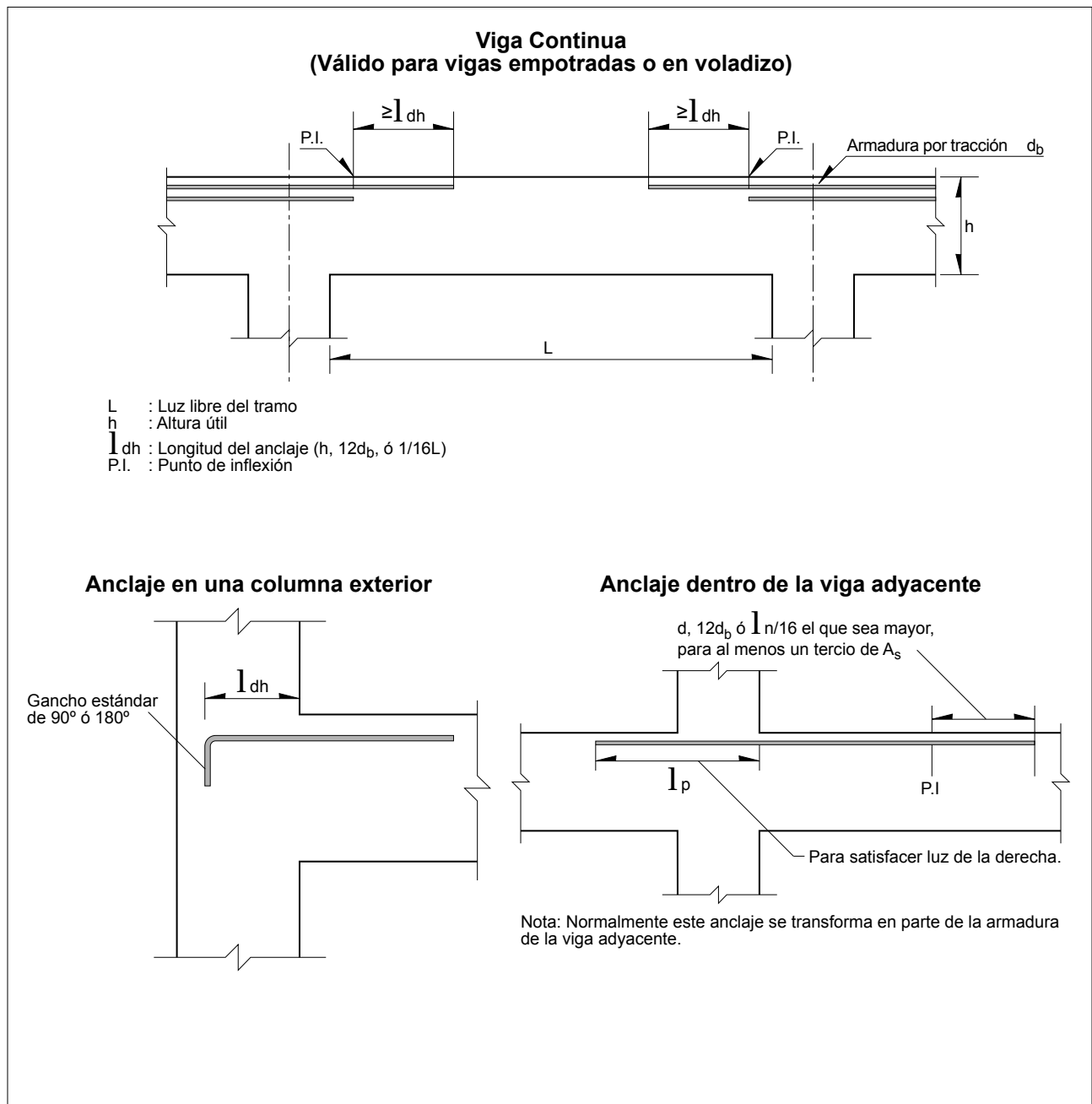


Figura 5.3.7.: Ejemplo de Anclaje en Zonas de Momento Negativo

5.3.8 Desarrollo de la Armadura del Alma

Conforme a lo dispuesto en la sección 12.13 del Código ACI 318-2002, 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 calidad A44-28H.

En el alcance al pie de la tabla 5.3.8.3, se explican las condiciones explícitas que se deben cumplir para el acero calidad A63-42H.

Tabla 5.3.8.1 Armadura del Alma - Medidas Mínimas Estribos en U con Ganchos			Acero A44-28H ( $f_y = 280$ MPa)
$d_b$ Barra mm	D Mínimo mm	K Mínima mm	Detalle del Gancho Dobleza 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 Armadura del Alma - Medidas Mínimas Estribos en U con Ganchos			Acero A44-28H ( $f_y = 280$ MPa)
$d_b$ Barra mm	D Mínimo mm	K Mínima mm	Detalle del Gancho Dobleza 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 A44-28H ( $f_y = 280$ MPa)
$d_b$ Barra mm	D Mínimo mm	K Mínima mm	Detalle del Gancho Dobleces de 135°
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 calidad A63-42H ( $f_y = 420$  MPa).

- a) El ingeniero a cargo del proyecto estructural debe verificar la longitud embebida.
- 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  $\geq 12d_b$  de la barra.

- c) Los estribos en U  $d_b$ 18, 22 y 25 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  $0,17d_b f_y / \sqrt{f'_c}$ .

#### 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:

- 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.
  - Las partes de la barra que estén sobre y bajo la zona doblada, deben ser paralelas al eje de la columna.
  - Una barra doblada por cambio de sección, debe estar dotada de un apoyo horizontal adecuado, mediante amarras transversales, zunchos o partes del sistema de entrepiso o losa.
  - El apoyo horizontal debe diseñarse para resistir 1,5 veces la componente horizontal de la fuerza calculada en la porción inclinada de dicha barra.
- Las amarras transversales o zunchos, en caso de utilizarse, se deben colocar a una distancia no mayor de 150 milímetros de los puntos de doblado.
  - 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.
  - Cuando la cara de una columna esté desalineada 70 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.
  - 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.
  - Las condiciones y exigencias especiales para núcleos de acero deben ser establecidas por el ingeniero estructural responsable del proyecto.

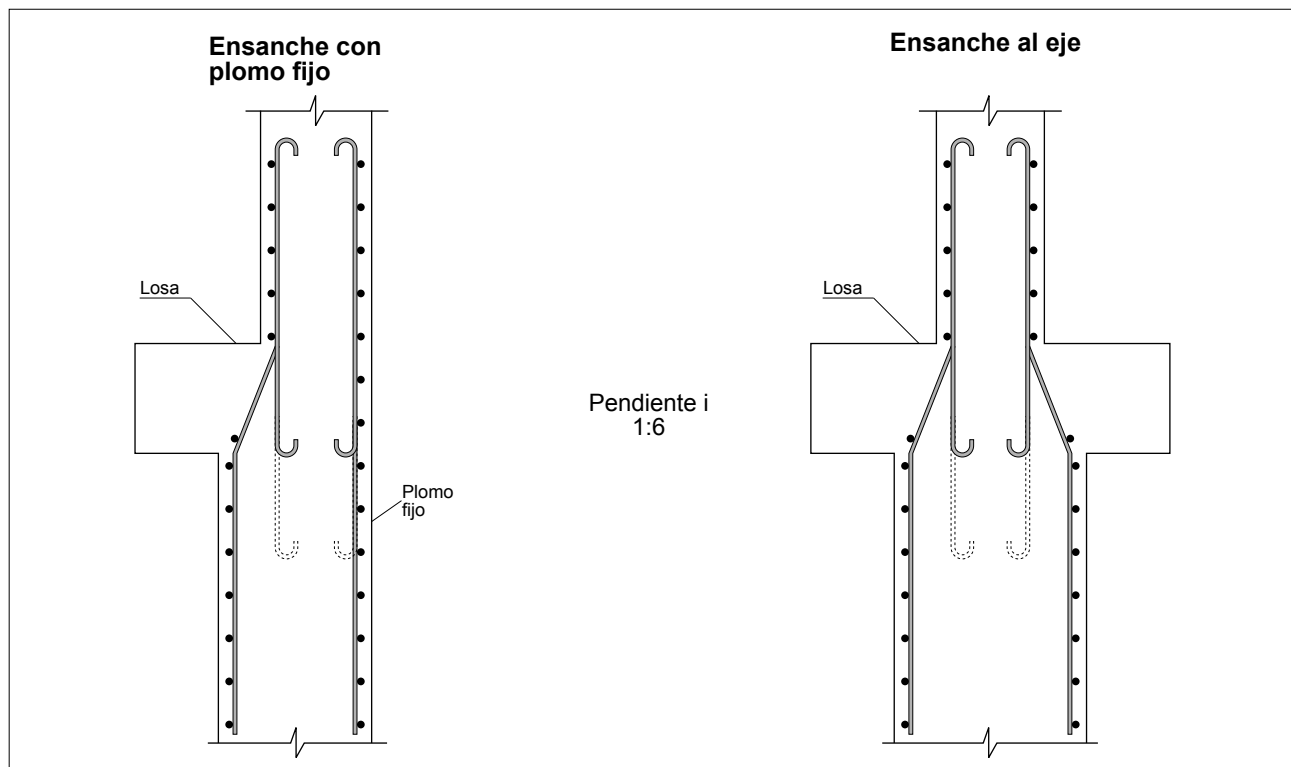


Figura 5.4.1: Ejemplo de Barras Longitudinales en una columna por cambio de sección.

## 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.

$$s \geq 0,45 (A_g / A_c - 1) f'_c / f_y \quad [5.5.1]$$

Notación:

- $s$  = Armadura del zuncho, mm<sup>2</sup>
- $A_g$  = Area total de la sección, mm<sup>2</sup>
- $A_c$  = Area del núcleo de un elemento en compresión reforzado con zuncho, medida hasta el diámetro exterior del zuncho, mm<sup>2</sup>
- $f'_c$  = Resistencia especificada a la compresión del hormigón, MPa
- $f_y$  = Tensión de fluencia especificada para el acero de la armadura, 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) Para elementos hormigonados en obra, el diámetro no debe ser menor que 10 milímetros y el espaciamiento

libre entre espirales no debe exceder de 80 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 traslape no menor de 300 milímetros ni menor a los largos señalados a continuación en función de su diámetro nominal  $d_b$ .

- Barra o alambre con resaltes sin recubrimiento =  $48d_b$
- Barra o alambre liso sin recubrimiento =  $72d_b$
- Barra o alambre con resaltes recubierta con epóxico =  $72d_b$
- Barra o alambre liso sin recubrimiento, con un estribo estándar o gancho de amarra (sección 4.6.2) en sus extremos empalmados. Los ganchos deben estar embebidos en el núcleo confinado por el zuncho =  $48d_b$
- Barra o alambre con resaltes recubierta con epóxico, con un estribo estándar o gancho de amarra (sección 4.6.2) en sus extremos empalmados. Los ganchos deben estar embebidos en el núcleo confinado por el zuncho =  $48d_b$

f) La armadura en zuncho se puede empalmar con un dispositivo mecánico, siempre y cuando se cumplan las condiciones señaladas en la sección 5.8.4.

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 cercos 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 Amarras

Las amarras 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 amarras transversales construidas a partir de barras con resaltes de por lo menos 10 milímetros de diámetro para barras de  $d_b \leq 32$  o menores; y de diámetro mínimo de 12 milímetros para barras longitudinales de  $d_b \geq 36$  y paquetes de barras.
- b) El espaciamiento vertical de las amarras no debe exceder de  $16d_b$  de la barra longitudinal, de  $48d_b$  de la barra de las amarras, o de la menor dimensión del elemento en compresión.
- c) Las amarras deben disponerse de tal forma que cada barra longitudinal de esquina y barra alternada, tenga apoyo transversal proporcionado por la esquina de una amarra 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 debe permitir el uso de una amarra circular completa.
- e) La distancia vertical entre las amarras 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, con o sin ábaco, debe ser menor a la mitad del espaciamiento entre amarras.
- f) Cuando las vigas o ménsulas concurren a una columna desde cuatro direcciones distintas, se permite colocar la última amarra 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 dados donde se instalen pernos de anclaje, éstos deben circundados por armadura lateral que también rodee al menos cuatro caras verticales de la columna o dado. La armadura transversal debe distribuirse dentro de 125 milímetros desde el tope de la columna o dado y debe consistir en al menos dos barras de  $d_b \geq 12$  o tres de  $d_b \geq 10$ .

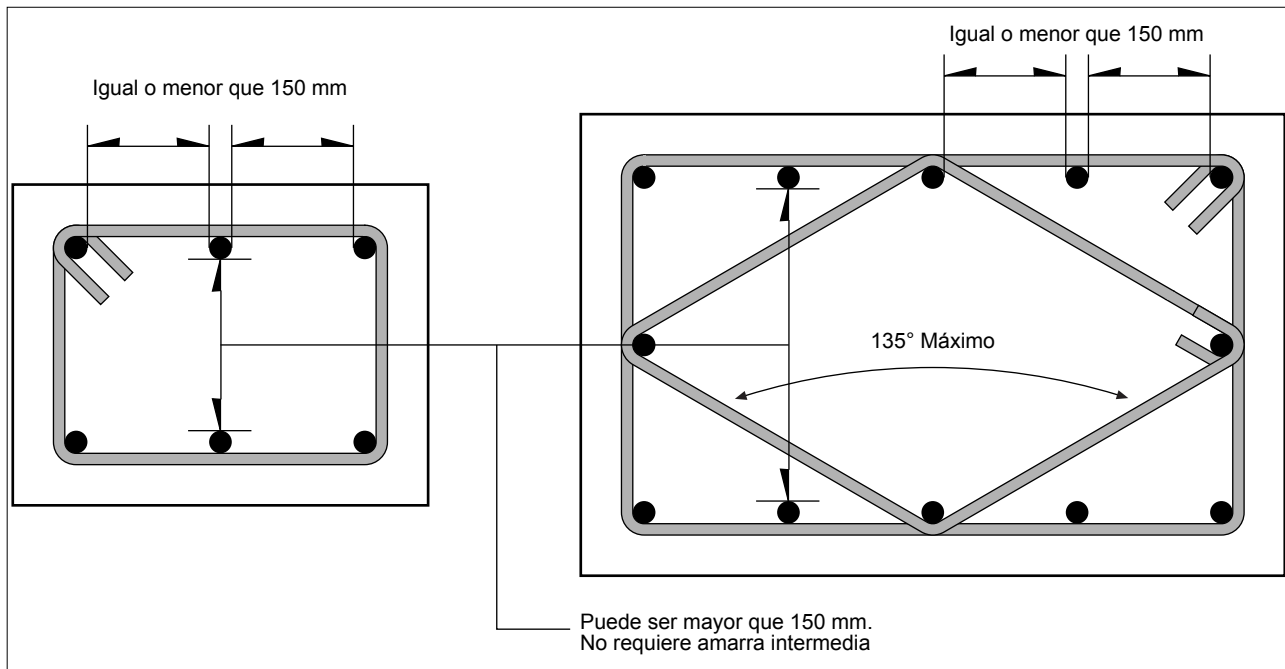


Figura 5.5.2: Croquis aclaratorio de las medidas entre barras de columna apoyadas lateralmente.



## 5.6 ARMADURA TRANSVERSAL PARA ELEMENTOS EN FLEXION

- a) La armadura de compresión de vigas debe confinarse con estribos o amarras que satisfagan las limitaciones de tamaño y espaciamiento establecidas en la sección 5.5.2 precedente, y deben colocarse en todos los sectores donde se requiera armadura de compresión.
- b) La armadura transversal para elementos de marcos en flexión sometidos a esfuerzos reversibles o a torsión en los apoyos, debe consistir en amarras cerradas, estribos cerrados o zunchos, que se extiendan alrededor de la armadura de flexión.
- c) Las amarras y estribos cerrados se deben formar de una sola pieza, traslapando sus ganchos extremos alrededor de una barra longitudinal, o se deben formar de una o dos piezas unidas mediante un traslape Clase B (sección 5.8) o anclándolas de acuerdo a 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, a la calidad del acero y grado del hormigón utilizado, se pueden efectuar mediante el traslape de las barras fijándolas con alambre, que es lo más habitual en Chile, o utilizando soldadura o conexiones mecánicas, si así lo permiten las especificaciones, los planos y el ingeniero responsable del proyecto.

Condiciones generales:

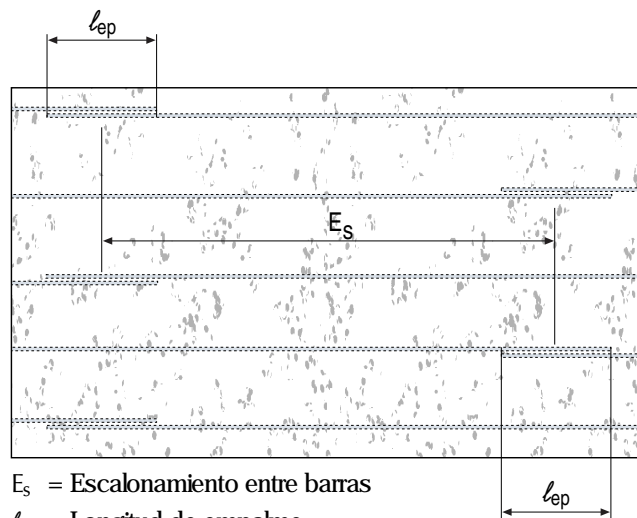
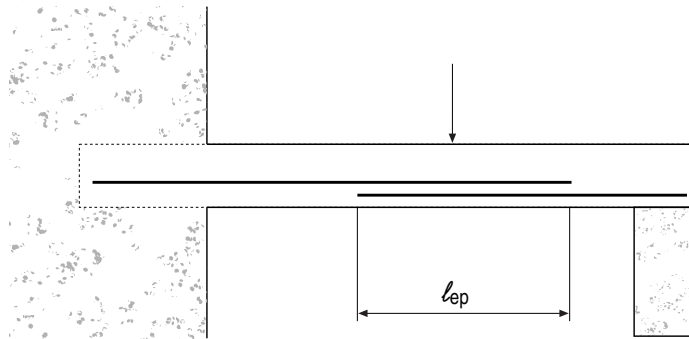
- a) Aún cuando, la sección 12.14 del Código ACI 318-2002 permite el uso de un empalme mecánico para barras en

tracción o compresión, este debe ser completo y desarrollar al menos un 125% de la tensión de fluencia  $f_y$  especificada de la barra.

- b) Aunque la norma chilena NCh 204 no hace referencia a la soldabilidad de las barras con resaltes para hormigón, en casos muy especiales puede ser especificado por ingeniería el empalme soldado, siempre y cuando esté considerada la soldabilidad del acero en cuanto a su composición química o índice de carbono equivalente (CE), se obtenga la aprobación previa del IDIEM, DICTUC, u otro organismo autorizado por el estado, y que esta actividad sea realizada por personal calificado y adecuadamente controlado.

$$\%CE = \%C + \frac{\%Mn}{5} + \frac{\%Cu + \%Ni}{15} \leq 0,55\%$$

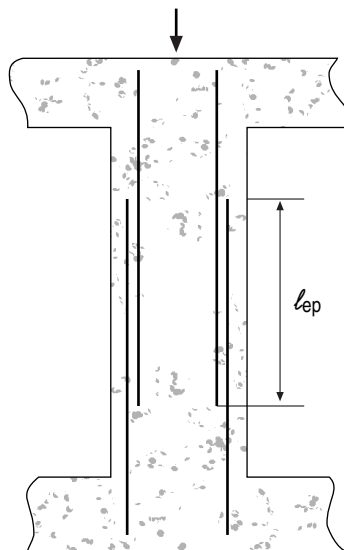
- c) Dado que sólo se permite hacer empalmes cuando lo permitan los planos de cálculo y sus especificaciones, es importante tomar la precaución de no tener varios empalmes en el mismo punto o proyección, es decir deben estar escalonados. (Ver la figura 5.7).
- d) La longitud de desarrollo requerida para 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.



$E_s$  = Escalonamiento entre barras

$l_{ep}$  = Longitud de empalme

Traslape a compresión



$l_{ep}$  = Longitud de empalme por traslape  $\geq 300$  mm

Figura 5.7: Ejemplos de empalmes de barras.

5.7.1 Empalme por Traslape de Barras en Tracción

Condiciones:

- a) Los empalmes por traslape  $l_d$  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 siguiente.
- 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 mm.
- c) La longitud mínima de empalme por traslape clase A, para las barras con resaltes en tracción, es igual a la longitud de desarrollo  $l_d$  definida 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 la los factores de modificación  $\alpha$  y  $\beta$ , 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  $1,3 * l_d$ , y sus valores calculados para los Casos A y B que pertenecen, se presentan en las tablas 5.7.1.6 a la 5.7.1.9 inclusive
- f) Las longitudes de desarrollo  $l_d$  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 traslapada dentro de la longitud de traslape requerida.
- h) Para barras en tracción, se recomienda un escalonamiento no menor a 600 milímetros para el caso de barras amarradas con alambre y no menor de 750 milímetros para empalmes con conexiones mecánicas, si están autorizados (Ver sección 5.8.4).

Tabla 5.7.1.1		
Condiciones para la Clase de Empalme por Traslape - Barras con Resaltes en Tracción		
A <sub>s</sub> proporcionado / A <sub>s</sub> requerido	Porcentaje máximo de A <sub>s</sub> traslapado en la longitud requerida para dicho traslape	
	50%	100%
Igual o mayor que 2	Clase A	Clase B
Menor que 2	Clase B	Clase B

A<sub>s</sub> = Area de la armadura en tracción, mm<sup>2</sup>

Tabla 5.7.1.2		Acero A63-42H ( $f_y = 420$ MPa)									
Longitud Mínima Empalmes por Traslape Barras en Tracción CLASE A. Caso A		$\lambda = 1,0; \mu = 1,0; \nu = 1,0$									
Grado del hormigón NCh 170.Of 85	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)									
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36
H20	16	403	504	605	806	907	1386	1575	1764	2016	2268
H25	20	361	451	541	721	811	1240	1409	1578	1803	2029
H30	25	323	403	484	645	726	1109	1260	1411	1613	1814
H35	30	294	368	442	589	663	1012	1150	1288	1472	1656
H40	35	273	341	409	545	613	937	1065	1193	1363	1533
H45	40	255	319	383	510	574	877	996	1116	1275	1434
H50	45	240	301	361	481	541	826	939	1052	1202	1352

Tabla 5.7.1.3		Acero A44-28H ( $f_y = 280$ MPa)									
Longitud Mínima Empalmes por Traslape Barras en Tracción CLASE A. Caso A		$\lambda = 1,0; \mu = 1,0; \nu = 1,0$									
Grado del hormigón NCh 170.Of 85	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)									
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36
H20	16	269	336	403	538	605	924	1050	1176	1344	1512
H25	20	240	301	361	481	541	826	939	1052	1202	1352
H30	25	215	269	323	430	484	739	840	941	1075	1210
H35	30	196	245	294	393	442	675	767	859	982	1104
H40	35	182	227	273	363	409	625	710	795	909	1022
H45	40	170	213	255	340	383	584	664	744	850	956
H50	45	160	200	240	321	361	551	626	701	801	902

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 318-2002, incluso esto es necesario si son aplicados los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\mu$  y  $\nu$  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  $\lambda$ ,  $\mu$  y  $\nu$  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 5.7.1.4											Acero A63-42H ( $f_y = 420$ MPa)	
Longitud Mínima Empalmes por Traslape Barras en Tracción CLASE A. Caso B											= 1,0; = 1,0; = 1,0	
Grado del hormigón NCh 170.Of 85	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)										
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	
H20	16	605	756	907	1210	1361	2079	2363	2646	3024	3402	
H25	20	541	676	811	1082	1217	1860	2113	2367	2705	3043	
H30	25	484	605	726	968	1089	1663	1890	2117	2419	2722	
H35	30	442	552	663	883	994	1518	1725	1932	2208	2484	
H40	35	409	511	613	818	920	1406	1597	1789	2045	2300	
H45	40	383	478	574	765	861	1315	1494	1673	1913	2152	
H50	45	361	451	541	721	811	1240	1409	1578	1803	2029	

Tabla 5.7.1.5											Acero A44-28H ( $f_y = 280$ MPa)	
Longitud Mínima Empalmes por Traslape Barras en Tracción CLASE A. Caso B											= 1,0; = 1,0; = 1,0	
Grado del hormigón NCh 170.Of 85	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)										
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36	
H20	16	403	504	605	806	907	1386	1575	1764	2016	2268	
H25	20	361	451	541	721	811	1240	1409	1578	1803	2029	
H30	25	323	403	484	645	726	1109	1260	1411	1613	1814	
H35	30	294	368	442	589	663	1012	1150	1288	1472	1656	
H40	35	273	341	409	545	613	937	1065	1193	1363	1533	
H45	40	255	319	383	510	574	877	996	1116	1275	1434	
H50	45	240	301	361	481	541	826	939	1052	1202	1352	

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 318-2002, incluso esto es necesario si son aplicados los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\psi$  y  $\omega$  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  $\lambda$ ,  $\psi$  y  $\omega$

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 5.7.1.6											Acero A63-42H ( $f_y = 420$ MPa)
Longitud Mínima Empalmes por Traslape Barras en Tracción CLASE B. Caso A											$\lambda = 1,0$ ; $\lambda = 1,0$ ; $\lambda = 1,0$
Grado del hormigón NCh 170.Of 85	Resistencia especificada $f_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)									
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36
H20	16	524	655	786	1048	1179	1802	2048	2293	2621	2948
H25	20	469	586	703	938	1055	1612	1831	2051	2344	2637
H30	25	419	524	629	839	943	1441	1638	1835	2097	2359
H35	30	383	478	574	766	861	1316	1495	1675	1914	2153
H40	35	354	443	532	709	797	1218	1384	1550	1772	1993
H45	40	332	414	497	663	746	1140	1295	1450	1658	1865
H50	45	313	391	469	625	703	1074	1221	1367	1563	1758

Tabla 5.7.1.7											Acero A44-28H ( $f_y = 280$ MPa)
Longitud Mínima Empalmes por Traslape Barras en Tracción CLASE B. Caso A											$\lambda = 1,0$ ; $\lambda = 1,0$ ; $\lambda = 1,0$
Grado del hormigón NCh 170.Of 85	Resistencia especificada $f_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)									
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36
H20	16	349	437	524	699	786	1201	1365	1529	1747	1966
H25	20	313	391	469	625	703	1074	1221	1367	1563	1758
H30	25	280	349	419	559	629	961	1092	1223	1398	1572
H35	30	255	319	383	510	574	877	997	1116	1276	1435
H40	35	236	295	354	473	532	812	923	1034	1181	1329
H45	40	221	276	332	442	497	760	863	967	1105	1243
H50	45	208	260	313	417	469	716	814	912	1042	1172

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 318-2002, incluso esto es necesario si son aplicados los factores de modificación  $\lambda$ ,  $\lambda_s$  y  $\lambda_{s'}$  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  $\lambda$ ,  $\lambda_s$  y  $\lambda_{s'}$

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 5.7.1.8											Acero A63-42H ( $f_y = 420$ MPa)
Longitud Mínima Empalmes por Traslape Barras en Tracción CLASE B. Caso B											$\alpha = 1,0; \beta = 1,0; \gamma = 1,0$
Grado del hormigón NCh 170.Of 85	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)									
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36
H20	16	786	983	1179	1572	1769	2703	3071	3440	3931	4423
H25	20	703	879	1055	1406	1582	2417	2747	3077	3516	3956
H30	25	629	786	943	1258	1415	2162	2457	2752	3145	3538
H35	30	574	718	861	1148	1292	1974	2243	2512	2871	3230
H40	35	532	664	797	1063	1196	1827	2077	2326	2658	2990
H45	40	497	622	746	995	1119	1709	1942	2176	2486	2797
H50	45	469	586	703	938	1055	1612	1831	2051	2344	2637

Tabla 5.7.1.9											Acero A44-28H ( $f_y = 280$ MPa)
Longitud Mínima Empalmes por Traslape Barras en Tracción CLASE B. Caso B											$\alpha = 1,0; \beta = 1,0; \gamma = 1,0$
Grado del hormigón NCh 170.Of 85	Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Diámetro de la barra (mm)									
		8	10	12	16	18	22	25	28	32	36
H20	16	524	655	786	1048	1179	1802	2048	2293	2621	2948
H25	20	469	586	703	938	1055	1612	1831	2051	2344	2637
H30	25	419	524	629	839	943	1441	1638	1835	2097	2359
H35	30	383	478	574	766	861	1316	1495	1675	1914	2153
H40	35	354	443	532	709	797	1218	1384	1550	1772	1993
H45	40	332	414	497	663	746	1140	1295	1450	1658	1865
H50	45	313	391	469	625	703	1074	1221	1367	1563	1758

Alcances:

a) Los valores de estas tablas están condicionados a la aplicación de los factores de modificación  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  de la tabla 5.3.2.2, según lo requieran las especificaciones del caso, pero sin el factor  $A_s$  requerido /  $A_s$  proporcionado.

b) 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  $l_d$  de las barras con resaltes en compresión, expresada en milímetros, debe ser:

$$0,07 f_y d_b \geq 300 \text{ mm. (Para } f_y \leq 420 \text{ MPa y } f'_c \geq 20 \text{ MPa)}$$

$$0,093 f_y d_b \geq 300 \text{ mm. (Para } f_y \leq 420 \text{ MPa y } f'_c < 20 \text{ MPa)}$$

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

c) Cuando se traslapen barras con resaltes en compresión de diferentes diámetros, la longitud debe ser mayor que:

1. La longitud del desarrollo de la barra de tamaño mayor, o

2. La longitud de traslape de la barra de diámetro menor.

d) Para barras en tracción, se recomienda un escalonamiento no menor a 600 milímetros para el caso de barras fijadas (o amarradas) con alambre y no menor de 750 milímetros para empalmes con conexiones mecánicas y de tope.

e) Se permite el uso de dispositivos mecánicos para transmitir la tensión de compresión en barras verticales (Ver sección 5.8.4).

f) Los traslapes de tope se deben usar únicamente en elementos que tengan estribos, amarras cerradas o zunchos.

Tabla 5.7.2

Longitud Mínima Empalmes por Traslape Barras en Compresión

d <sub>b</sub> Barra mm	Grado del Hormigón (NCh 170.Of85)			
	f' <sub>c</sub> < 20 MPa (H20)		f' <sub>c</sub> ≥ 20 MPa (H25 a H50)	
	A63-42H	A44-28H	A63-42H	A44-28H
8	314	209	235	157
10	392	261	294	196
12	470	314	353	235
16	627	418	470	314
18	706	470	529	353
22	862	575	647	431
25	980	653	735	490
28	1098	732	823	549
32	1254	836	941	627
36	1411	941	1058	706

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 318-2002.



## 5.8 FIJACIONES 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 calibres BWG 14, 16 o 18, 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.

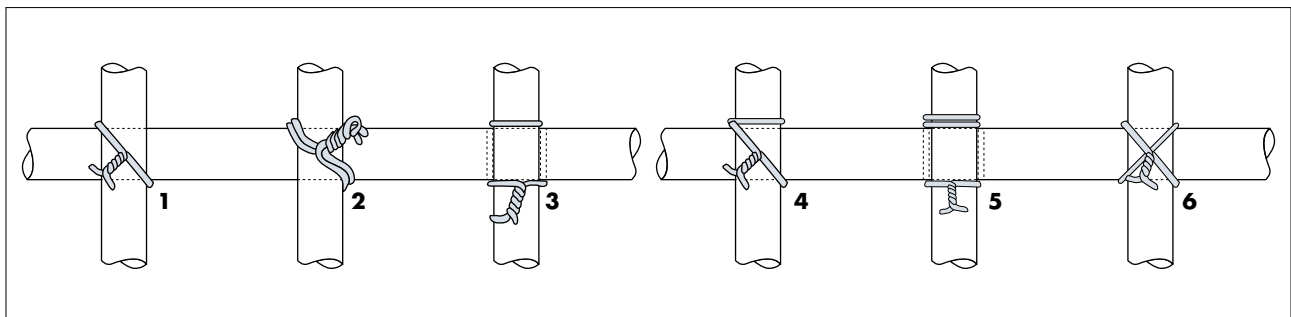


Figura 5.8.1.: Amarras con alambre.

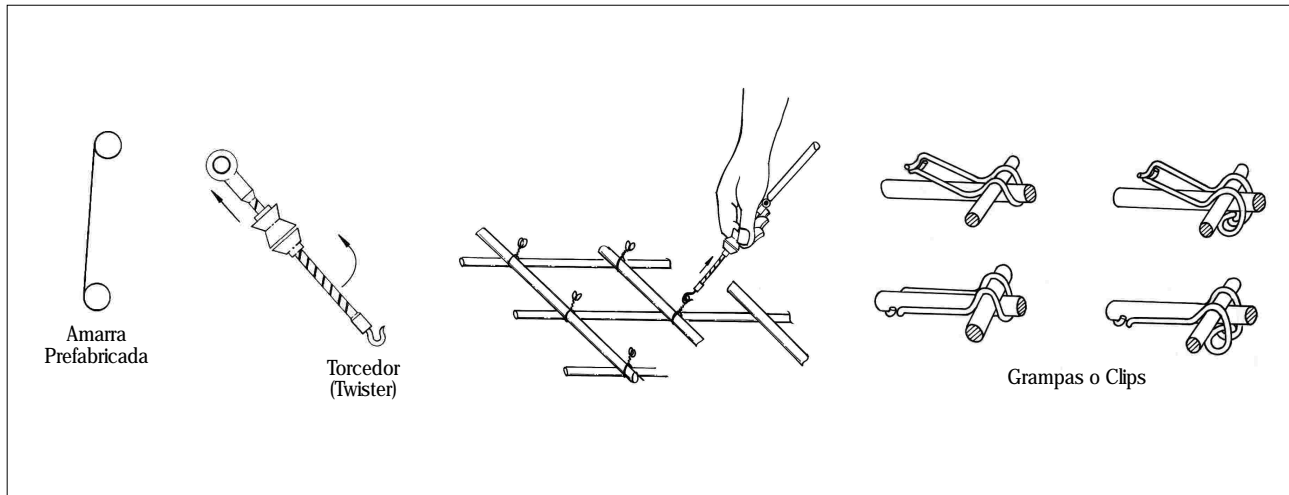


Figura 5.8.2: Amarras prefabricadas

### 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.

c) 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.

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 concreto 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.

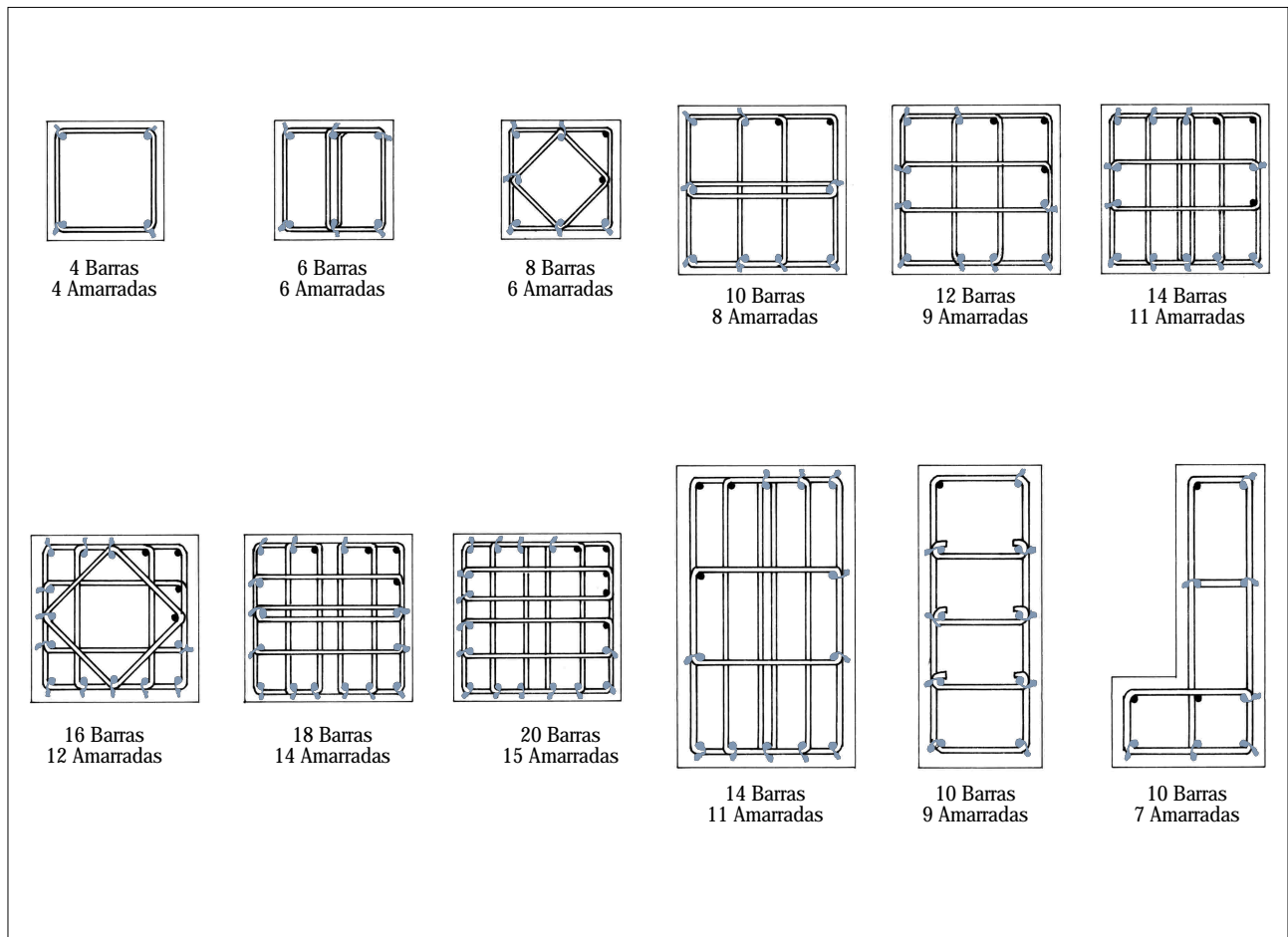


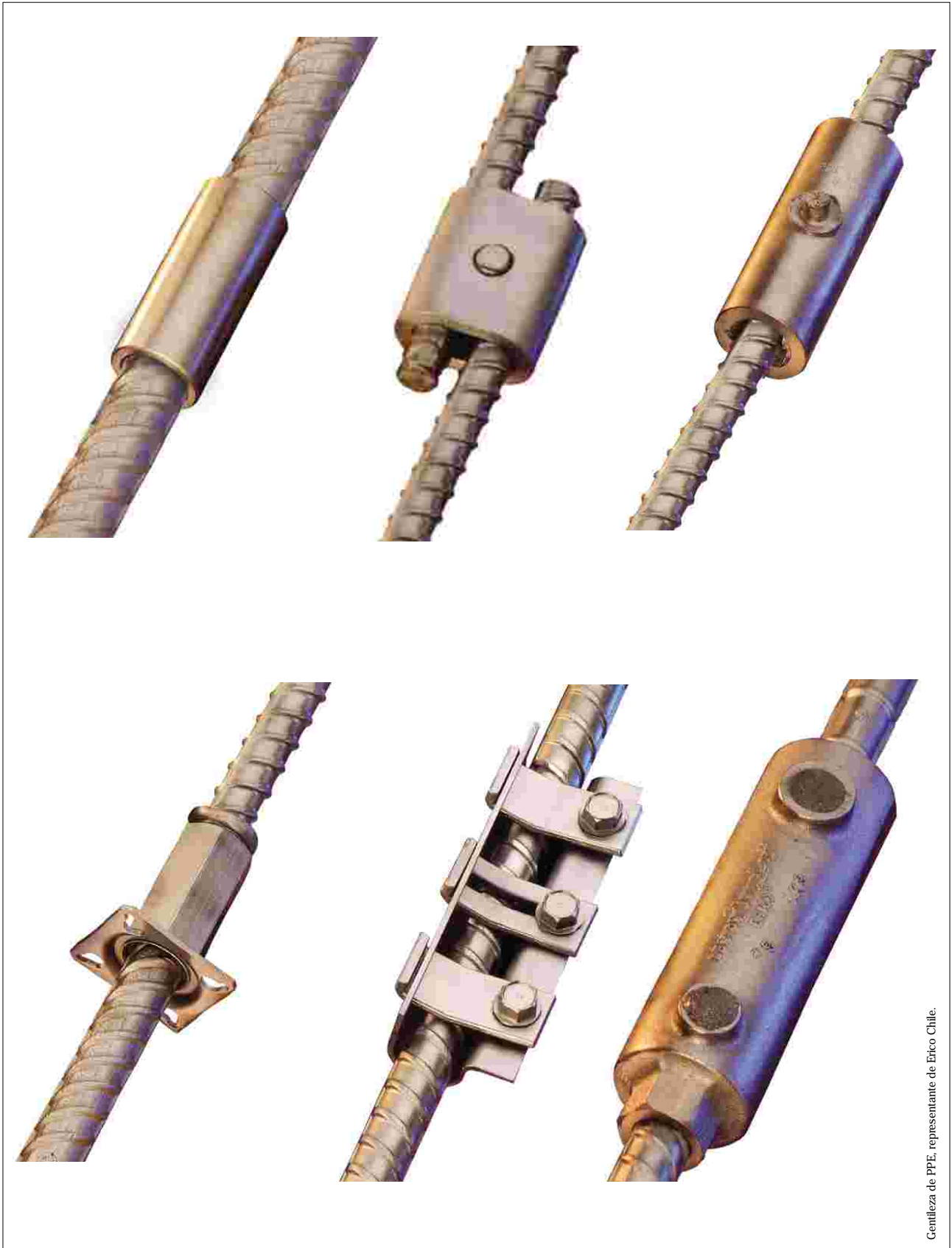
Figura 5.9.4.1: Cantidad de Amarras en Vigas o Columnas

#### 5.8.4 Conexiones Mecánicas

Aún cuando no son ampliamente utilizadas en la práctica chilena, las disposiciones del Código de Diseño de Hormigón Armado, basado en el ACI 318-2002, 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 completo debe desarrollar, a lo menos, un 125% de la tensión de fluencia  $f_y$  especificada para 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 tensión de fluencia  $f_y$  especificada para las barras empalmadas, solo se permitirá para barras de  $\varnothing 16$  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 5.8.4.1: Ejemplos de Conectores de Tope

### 5.9 ESPACIAMIENTO MINIMO ENTRE BARRAS

El espaciamiento libre mínimo entre barras, o entre un traslape 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 45 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 318-2002 establece que entre barras paralelas de una capa, deberá contemplarse un espacio libre que no sea inferior al diámetro  $d_b$  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 amarras, la distancia libre entre barras longitudinales, no debe ser menor de  $1,5d_b$  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 500 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 5.9.1 para barras de acero entre  $d_b8$  y  $d_b36$  en columnas y vigas.

Tabla 5.9.1

Espaciamiento o Separación Mínima entre Barras (mm)

Elemento	Diámetro de la barra (mm)									
	8	10	12	16	18	22	25	28	32	36
Columnas	40	40	40	40	40	40	45	45	50	50
Vigas	25	25	25	25	25	25	30	30	35	35

Comentario:

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

5.10 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 5.10.1, 5.10.2 y 5.10.3, 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".

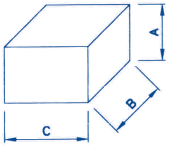
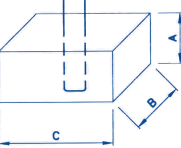
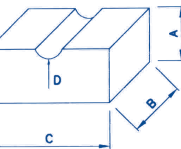
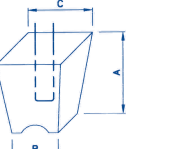
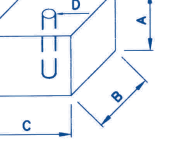
Figura 5.10.1 Separadores y Soportes de Concreto		
	Alto : 1,8 a 15 cm Largo : 2,5 a 15 cm Ancho : 2,5 a 122 cm	Bloque sencillo usado cuando la barra de refuerzo tiene una posición pendiente. Si la dimensión "C" excede 40 cm, una pieza de barra de refuerzo debe ser montada dentro del bloque.
	Alto : 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 co 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 5.10.2

Separadores y Soportes Plásticos

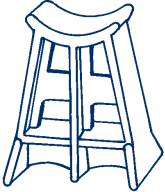
	<p>Alto : 1,8 a 15 cm</p>	<p>Espaciador de barras superiores para ser usado en enfierraduras horizontales. No es recomendable su uso en losas o pavimentos expuestos a la intemperie.</p>
	<p>Alto : 1,8 a 5 cm</p>	<p>Espaciador de barras superiores con sujetador de abrazadera para ser usado en trabajos 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>



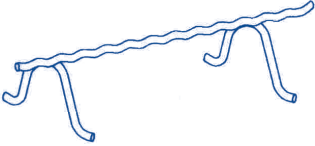
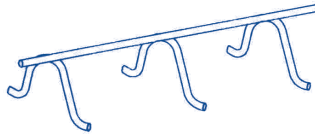
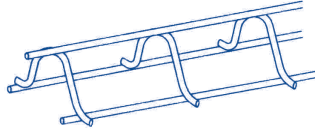
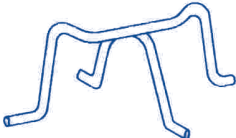
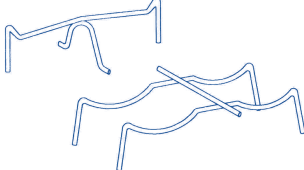
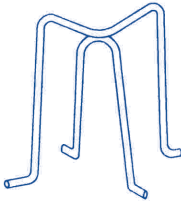
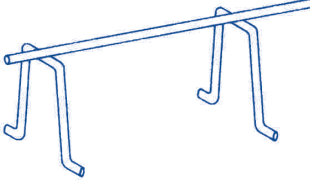
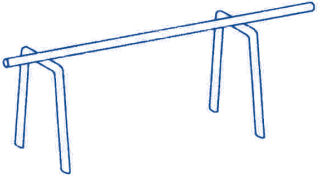
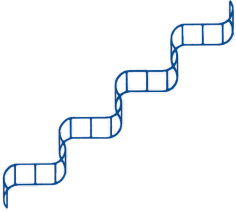
Figura 5.10.3 Separadores y Soportes de Acero		
	Alto : 1,8 - 2,5 - 4 y 5 cm Largo : 1,5 y 3 m	Soporte de barras con un travesaño corrugado superior y piernas para ser usado en barras superiores de losas.
	Alto : 2,5 - 4 y 5 cm De 5 a 14 cm con incrementado cada 1 cm Largo : 1,5 m	Soporte de barras con un travesaño superior y piernas para ser usado en barras superiores de vigas.
	Alto : 2,5 - 4 y 5 cm De 5 a 14 cm con incrementado cada 1 cm Largo : 1,5 m	Equivalente al ejemplo anterior.
	Alto : 1,8 + 2,5 - 4 y 4,5 cm	Silla para barra individual, para ser usada e barras superiores de losas, viguetas o vigas.
	Alto : 1,8 - 2,5 - 4 y 5 cm Largo : 10 - 12,5 y 15 cm	Silla para soportar y espaciar dos barras superiores en viguetas.
	Alto : 2,5 a 40 cm con incremento cada 1 cm	Silla alta para barra individual, para ser usada en barras superiores de losas, viguetas o vigas.
	Alto : 2,5 a 40 cm con incremento cada 1 cm Largo : 1,5 y 3 m	Silla alta continua similar al ejemplo anterior.

Figura 5.10.3

Separadores y Soportes de Acero

	<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>

**5.11 RENDIMIENTOS DE MANO DE OBRA DIRECTA PARA EL ARMADO E INSTALACION**

A modo de información, en la tabla que sigue se incluyen los rendimientos de mano de obra promedio para el armado e instalación de las armaduras, para los mismos 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 5.11.1 Rendimientos Teóricos de Mano de Obra - Armado e Instalación			A63-42H y A44-28H
Item	Descripción Actividad	ton/HD	HH/ton
1.1	6 y 8 mm.	0,13	69,2
1.2	10 y 12 mm.	0,20	45,0
1.3	16 y 18 mm.	0,31	29,0
1.4	22 y 25 mm.	0,54	16,7
1.5	28, 32 y 36 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.

**Tabla 5.11.2**
**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 5.11.3**
**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 5.11.3**
**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.

## 5.12 Bibliografía y Referencias Capítulo 5

- ACI 318 Código de Diseño de Hormigón Armado: American Concrete Institute, 2002
- ACI 315 Detailing Manual: American Concrete Institute, 1995
- 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
- NCh 170.Of85: Instituto Nacional de Normalización (INN)
- NCh 204.Of77: 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.

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, 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

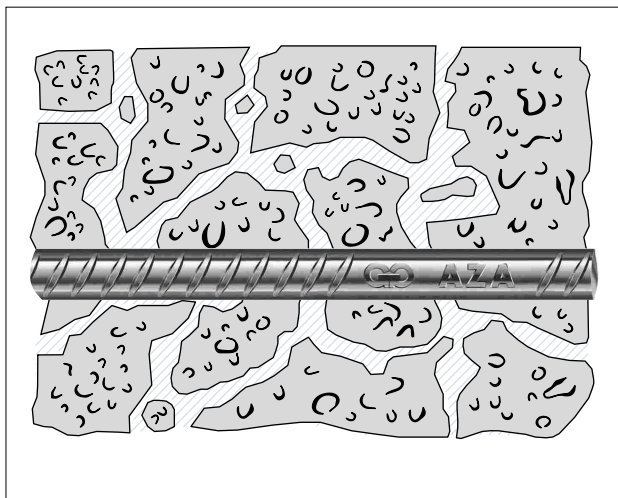


Figura 6.1.1: Red Poros Capilares en la Fase Acuosa del Hormigón

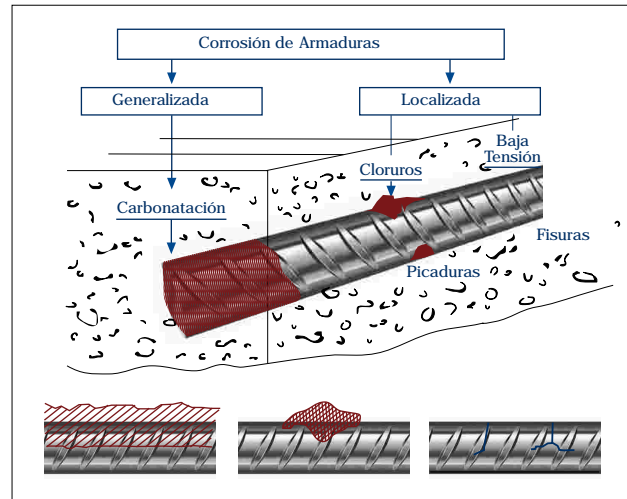


Figura 6.1.2: Tipología de la Corrosión en la Armadura

en la figura 6.1.2. Otro factor que daña a las estructuras mediante corrosión generalizada, aunque poco normal en nuestro país, es la exposición al sulfato acuoso.

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.

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 empalmando, 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, 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.

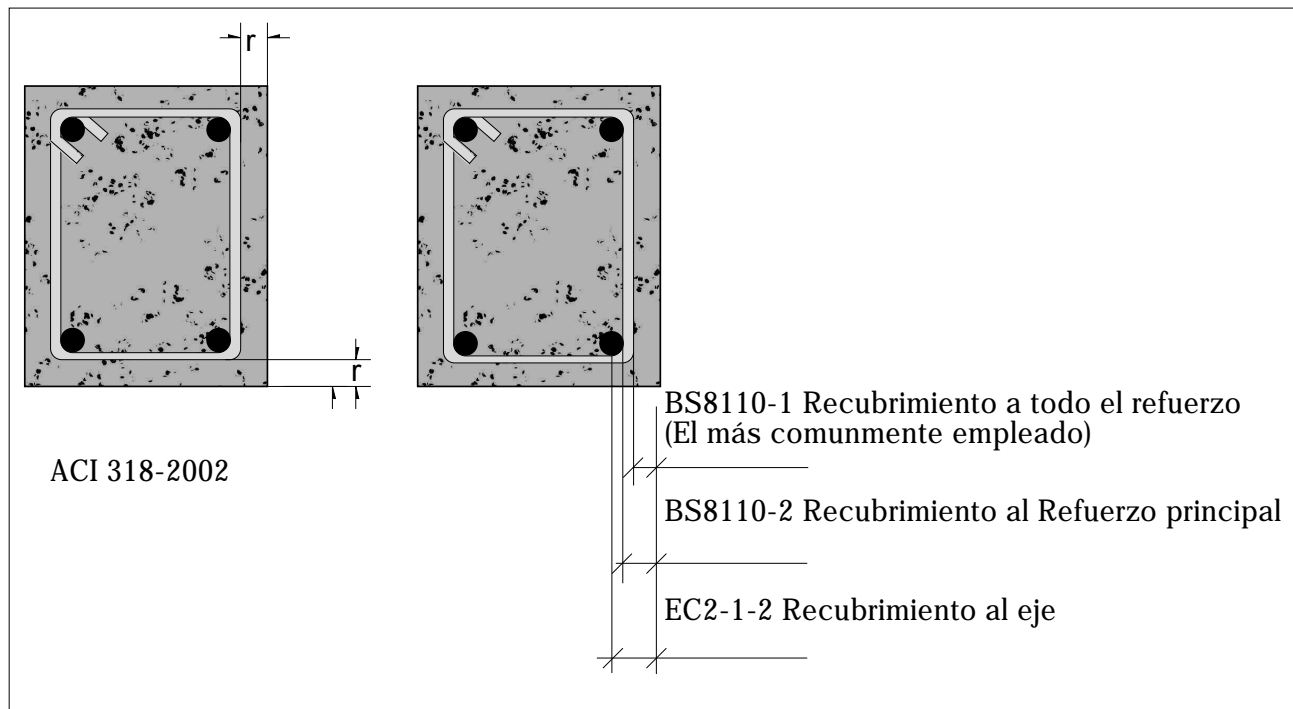


Figura 6.1.2: Definición del espesor de recubrimiento.

Tabla 6.1 Métodos de Protección de las Armaduras							
	Protección Directa			Protección Indirecta (a través del Hormigón)			
Conceptos	Protección Catódica	Galvanizado	Recubrimientos Epóxicos	Revestimientos Recubrimientos	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, del concreto y 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.

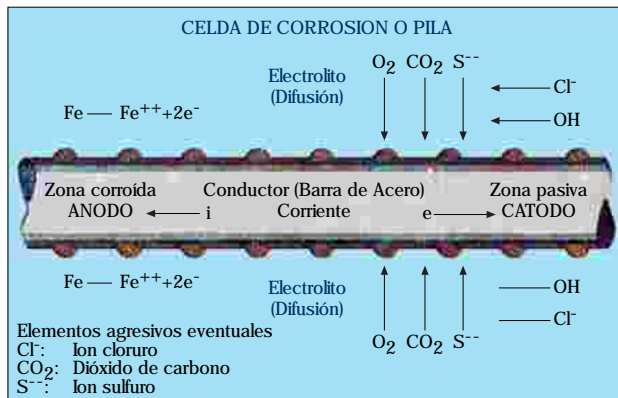


Figura 6.2.2.1: Esquema de Celda de Corrosión o Pila.



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 cuantía 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 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.

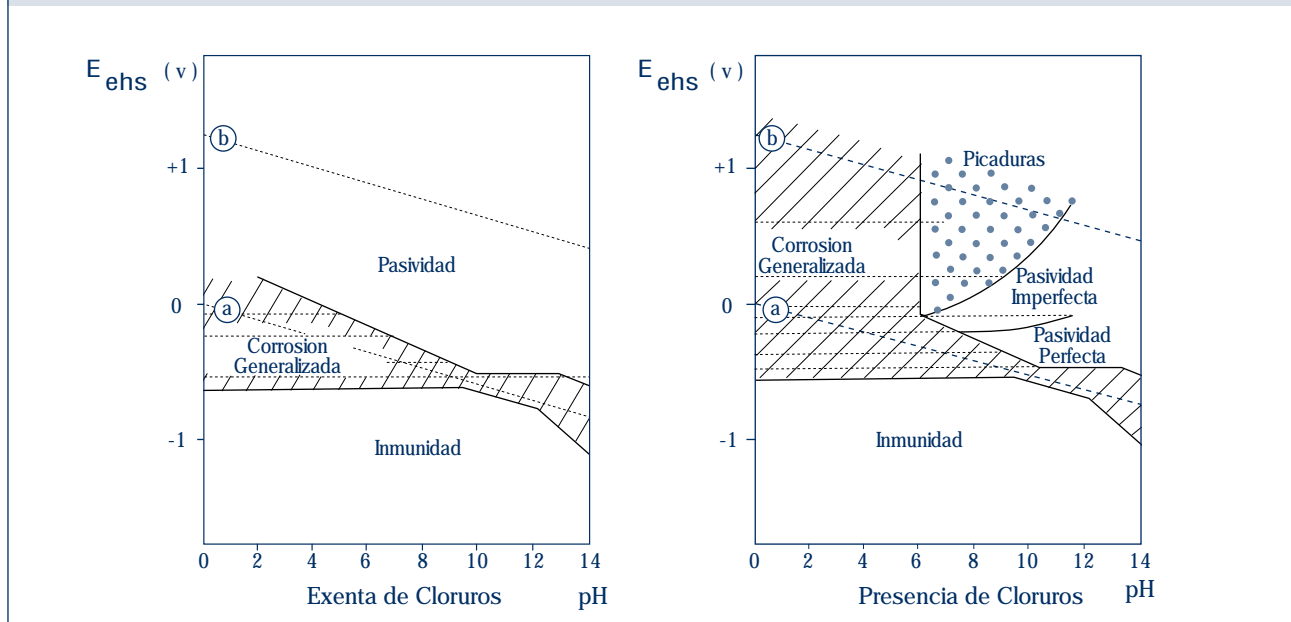
Las fuentes más habituales de este tipo de corrientes son; los sistemas de protección catódica operando en las proximidades de hormigón armado, especialmente en medios de muy baja resistividad como es el agua salobre, los sistemas con potencia eléctrica como los trenes eléctricos, las máquinas de soldar 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 siguiente.

Gráfico 6.2.2.1

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 barras exteriores que se corroen al ingresar los cloruros, mientras que las interiores permanecen pasivas.

#### 6.2.3 Limpieza Superficial del Acero


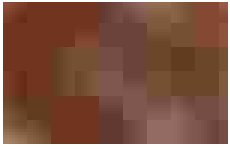


El tipo de limpieza para el acero, de acuerdo a las especificaciones normales para la preparación de la superficie del acero utilizado en edificaciones, establece requerimientos generales y está fuertemente ligado a diversas interpretaciones, pudiendo conducir a malos entendidos debido a la falta de 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, organismos que si bien es cierto las han definido para el tratamiento

superficial de planchas y perfiles de acero estructural laminados en caliente que luego podrían llevar algún recubrimiento como pintura, galvanizado u otros tipos de

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

**Cuadro 6.2.3.1**  
**Condiciones de la Superficie del Acero Previa a la Limpieza (SSPC)**

Grado de Corrosión del Acero	Vista	Descripción
A		<p>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.</p>
B		<p>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.</p>
C		<p>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.</p>
D		<p>Superficies de acero de la que se ha desprendido la totalidad de la laminilla y en la que se observan 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.</p>













Cuadro 6.2.3.2		
Extracto de las Especificaciones para la Preparación de la Superficie del Acero (SSPC)		
Especificación	Objetivo	Denominación ICHA
SSPC-SP1 Limpieza con Solvente	Remoción de aceite, grasa, polvo, tierra, sales y contaminantes, mediante limpieza por solvente, detergente soluble en agua, vapor, álcalis o emulsión.	Limpieza con Solventes
SSPC-SP2 Limpieza con Herramienta Manual	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
SSPC-SP3 Limpieza con Herramienta Mecánica	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
SSPC-SP5 (*) Limpieza al Metal Blanco por medio de Chorro	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
SSPC-SP6 (*) Limpieza Comercial por Chorro	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
SSPC-SP10 (*) Limpieza Cerca al Metal Blanco por medio de Chorro	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
SSPC-SP8 (*) Decapado	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 siguiente.

Cuadro 6.2.3.3

Recomendaciones Complementarias para la Limpieza (AISC)

Tipo de Limpieza	Condición Previa a la Limpieza	Criterio Visual Final de Aceptación	
		Estándar Gráfico	Vista
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 8 tendría una disminución del diámetro de 0,5% mientras que una de 25 de 0,16%. Usando el mismo criterio, una barra ligeramente oxidada de 10 disminuiría su diámetro en 0,1% mientras que una de 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.Of77, 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  $d_b = 12,74 \sqrt{M}$ ; donde  $d_b$  es el diámetro nominal de la barra (milímetros) y M la masa lineal 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  $\pm 6\%$ , lo que implica que el diámetro podría variar hasta en un 3%. 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 gr.

- 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 8 y 18 milímetros inclusive, y mayor o igual a 0,05 veces el diámetro nominal para barras mayores a 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

Barra de Refuerzo AZA para Hormigón

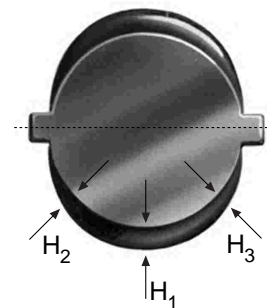
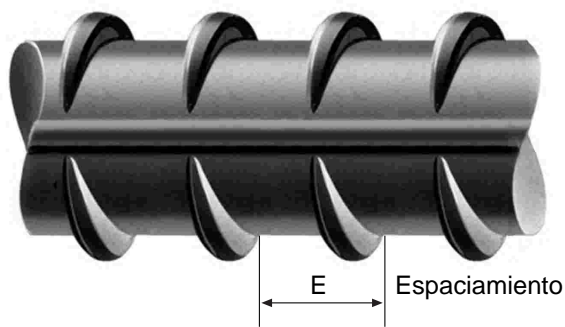


Figura 6.2.4: Esquema de Resaltes en una Barra de Refuerzo AZA para Hormigón

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° respecto al eje longitudinal de la barra. Si este ángulo estuviera 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 6.2.4.1

Características Nominales y Tolerancias de las Barras con Resaltes AZA para Hormigón (NCh204.Of77)

Diámetro mm			Sección cm <sup>2</sup>			Masa g/cm		
Mínimo	Nominal	Máximo	Mínima	Nominal	Máxima	Mínima	Nominal	Máxima
7,8	8	8,2	0,473	0,503	0,534	3,713	3,95	4,187
9,7	10	10,3	0,739	0,785	0,834	5,800	6,17	6,540
11,6	12	12,4	1,06	1,13	1,20	8,347	8,88	9,413
15,5	16	16,5	1,89	2,01	2,13	14,85	15,8	16,75
17,5	18	18,5	2,40	2,54	2,70	18,80	20,0	21,20
21,3	22	22,6	3,57	3,80	4,03	28,01	29,8	31,59
24,2	25	25,7	4,61	4,91	5,20	36,19	38,5	40,81
27,1	28	28,8	5,79	6,16	6,53	45,40	48,3	51,20
31,0	32	32,9	7,56	8,04	8,53	59,31	63,1	66,89
34,9	36	37,1	9,57	10,2	10,8	75,11	79,9	84,69

Tabla 6.2.4.2

Dimensiones de los Resaltes de las Barras AZA para Hormigón (NCh204.Of77)

Diámetro Nominal mm	Espaciamento Medio Máximo mm	Altura Media Mínima mm	Ancho Base Máxima mm
8	5,6	0,32	2,00
10	7,0	0,40	2,50
12	8,4	0,48	3,00
16	11,2	0,64	4,00
18	12,6	0,72	4,50
22	15,4	1,10	5,50
25	17,5	1,25	6,25
28	19,6	1,40	7,00
32	22,4	1,60	8,00
36	25,2	1,80	9,00

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.

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

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

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

pero las más usuales son las dos siguientes:

- a) Según lo que representa la figura 6.2.5 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 m/año o 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 m ( $10^{-6}$  m ó mm).

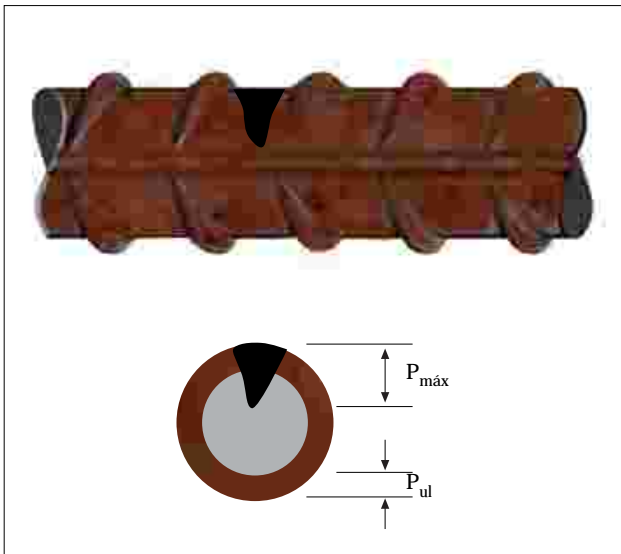


Figura 6.2.5.1: Esquema de Corrosión Uniforme y Máxima Profundidad de Ataque

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

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

Donde:

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

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

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  $I$  o voltaje  $E$ , y medir la correspondiente respuesta en voltaje o corriente:

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

Donde:

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

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  $E/I$  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 a 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.

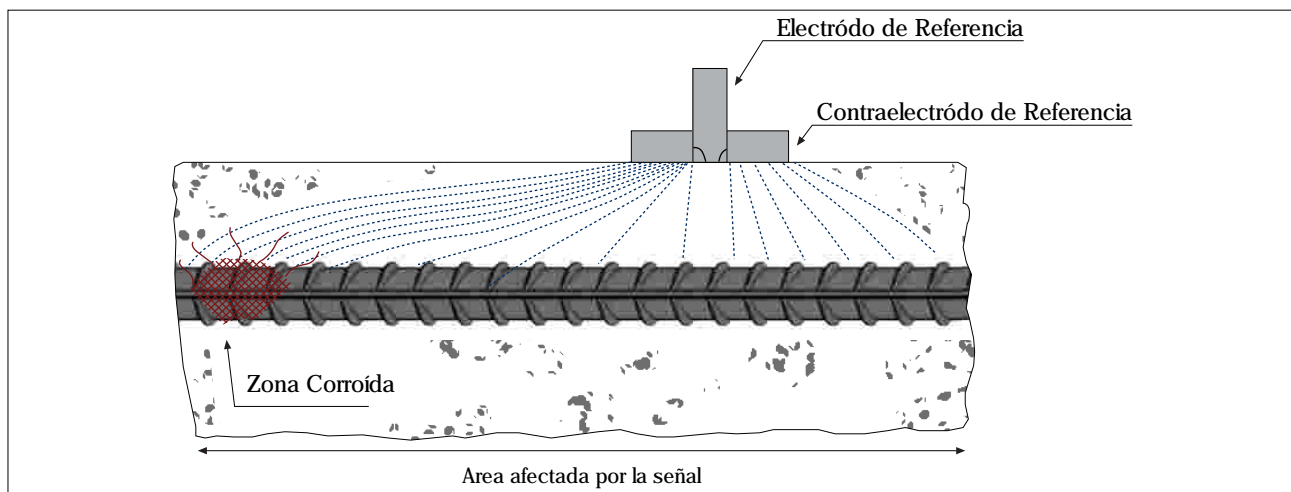


Figura 6.2.5.2: Esquema de un Campo Eléctrico no Confinado

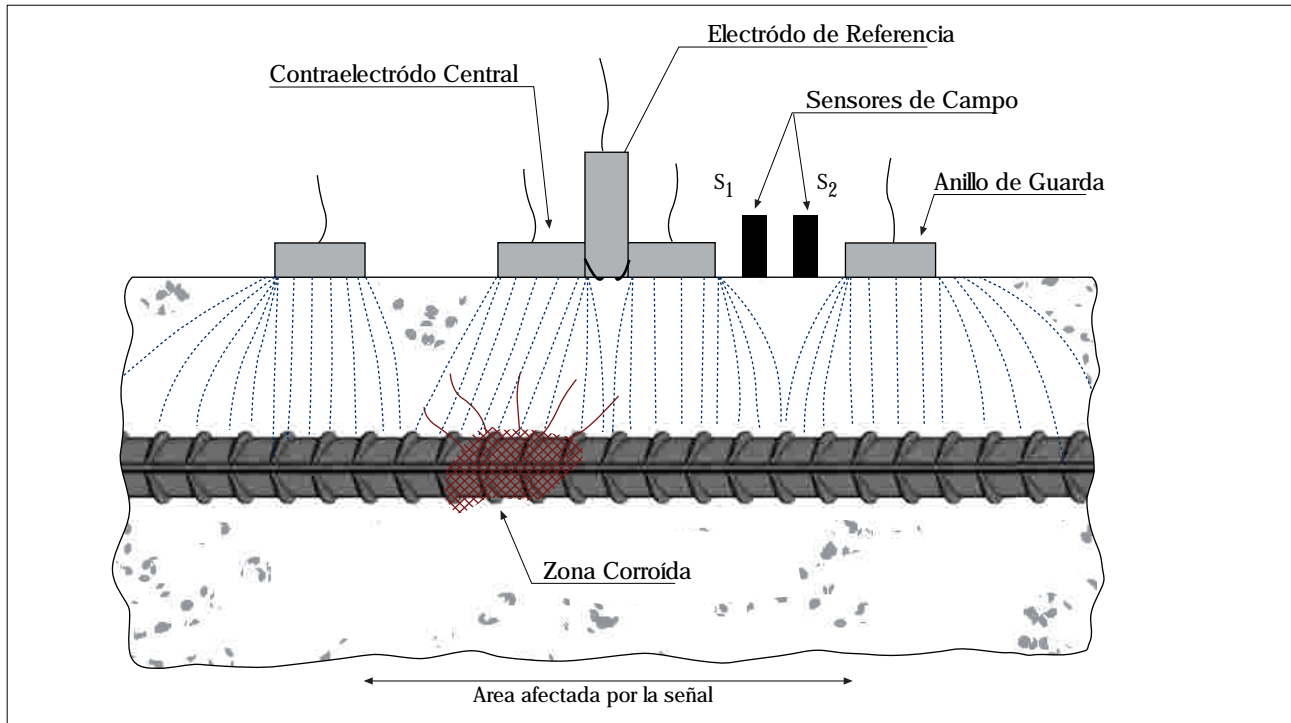


Figura 6.2.5.3: Esquema de un Campo Eléctrico Confinado

### 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  $1 \text{ A/cm}^2$  que valores

entre  $0,1$  y  $1 \text{ A/cm}^2$  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  $0,05-0,1 \text{ A/cm}^2$ ) y se han clasificado en los rangos que se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 6.2.5.1.1

Unidades de medida de la Velocidad según el nivel de Corrosión

Velocidad de Corrosión		Nivel de Corrosión
$\text{A/cm}^2$	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 siguiente, válidos tanto para hormigones de cemento Portland normal como con adiciones.

Tabla 6.2.5.1.2 Riesgos de Corrosión en función de la Resistividad Eléctrica	
Resistividad (k $\cdot$ 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 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:

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

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  $R$ , siendo el procedimiento propuesto el siguiente:

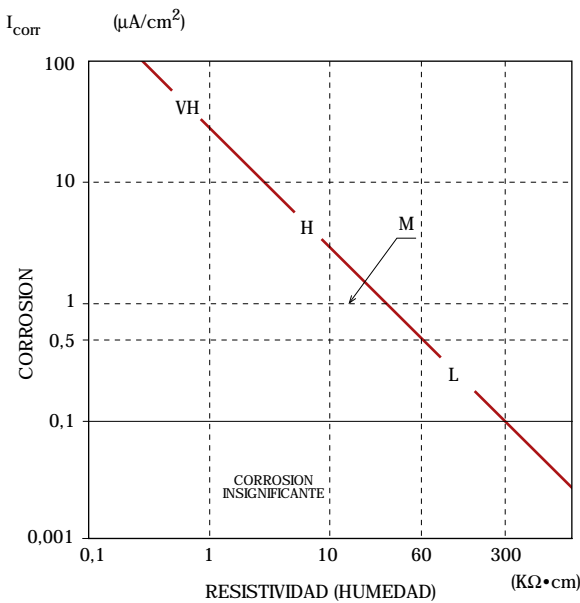
- Luego de efectuadas las mediciones de velocidad de corrosión se deben extraer probetas de estas zonas medidas, que bien protegidas y selladas se deben llevar al laboratorio para medir la resistividad de ellas y comprobar su equivalencia con las medidas realizadas en obra.
- Después se deben introducir en una cámara acondicionada al 85% de humedad relativa (HR) para

simular las condiciones de un hormigón protegido de la lluvia o saturadas 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 ( $R_{MIN}$ )

- La etapa final consiste en situar los valores de la  $I_{CORR}$  y de  $R_{MIN}$  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  $R_{MIN}$  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.

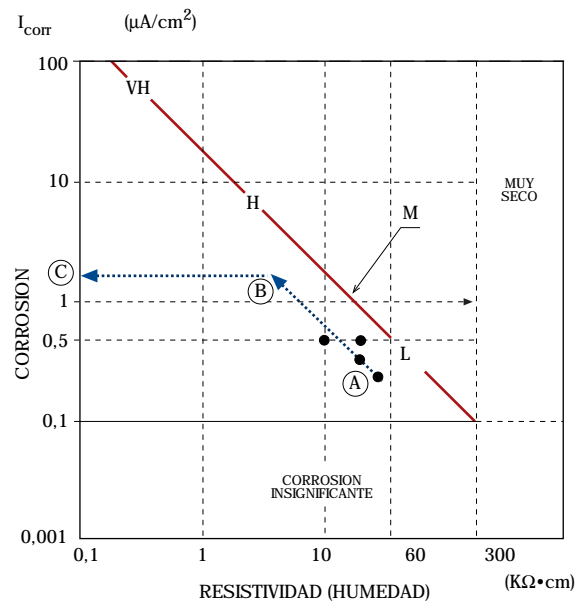
Finalmente la velocidad de corrosión representativa se obtiene promediando ambos grupos de valores, los obtenidos en terreno con los obtenidos en el laboratorio,

**Gráfico 6.2.5.1.1**  
Relación General Teórica entre  $I_{CORR}$  y  $R$



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  $R$



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

conforme a la expresión siguiente cuyo procedimiento de cálculo se muestra en el diagrama de flujo de la figura 6.2.5.1.1 que sigue.

$$I_{\text{corr}}^{\text{rep}} = \frac{I_{\text{corr}}^{\text{is}} + I_{\text{corr}}^{\text{max}}}{2} \quad [6.2.5.1.2]$$

Donde:

$I_{\text{corr}}^{\text{is}}$  = Velocidad de corrosión medida en terreno

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

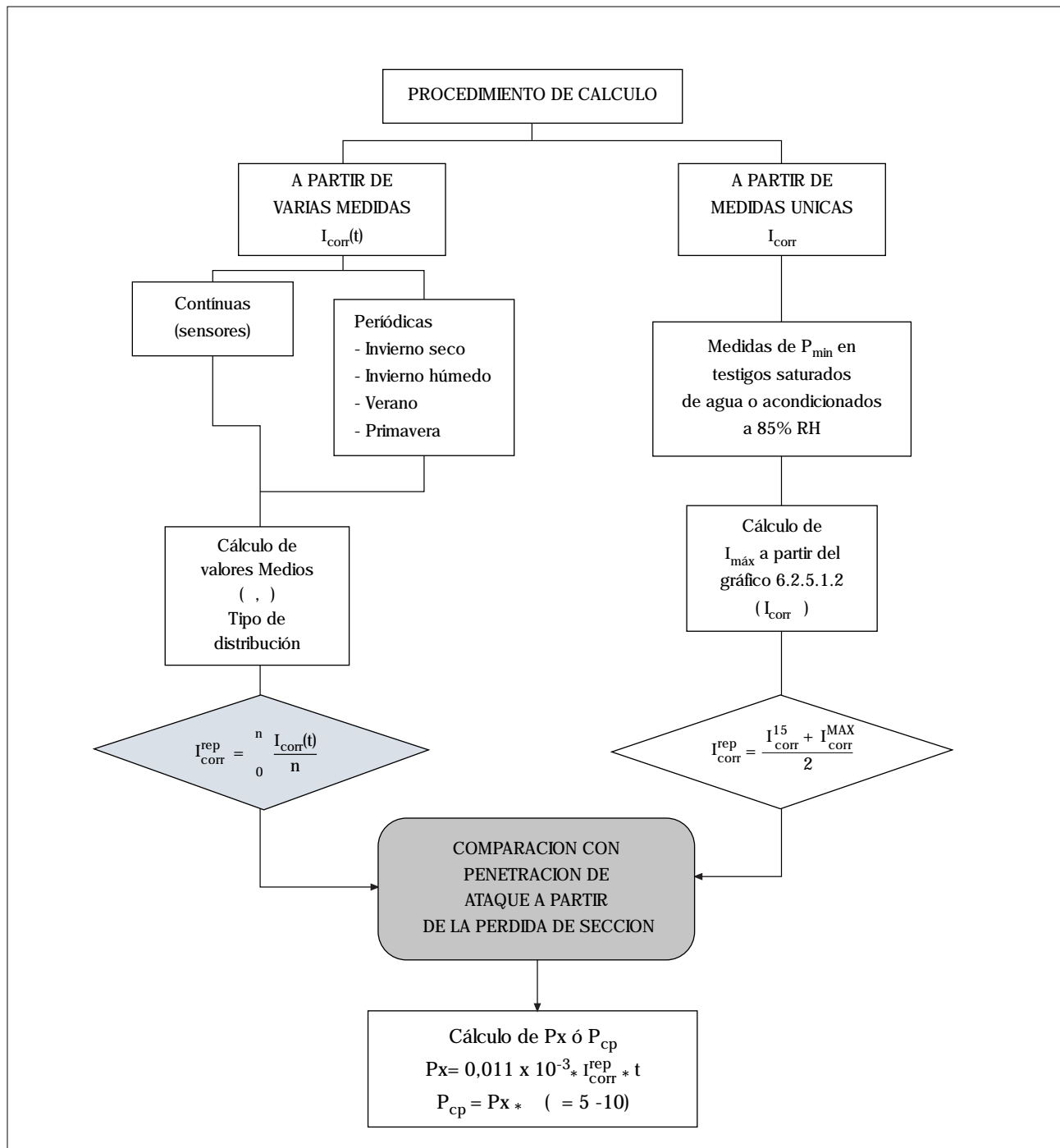


Figura 6.2.5.1.1: Procedimiento de Cálculo de  $I_{\text{corr}}^{\text{rep}}$  para Mediciones en Terreno

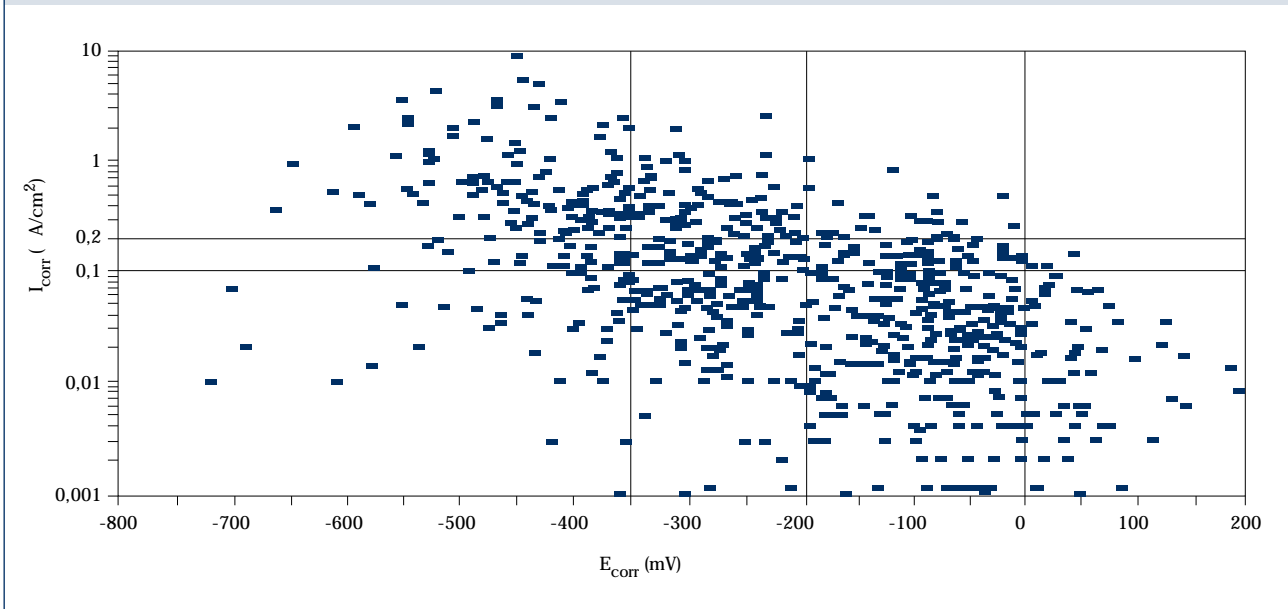
6.2.5.2 Relación entre  $I_{CORR}$  y  $E_{CORR}$

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 si 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:

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

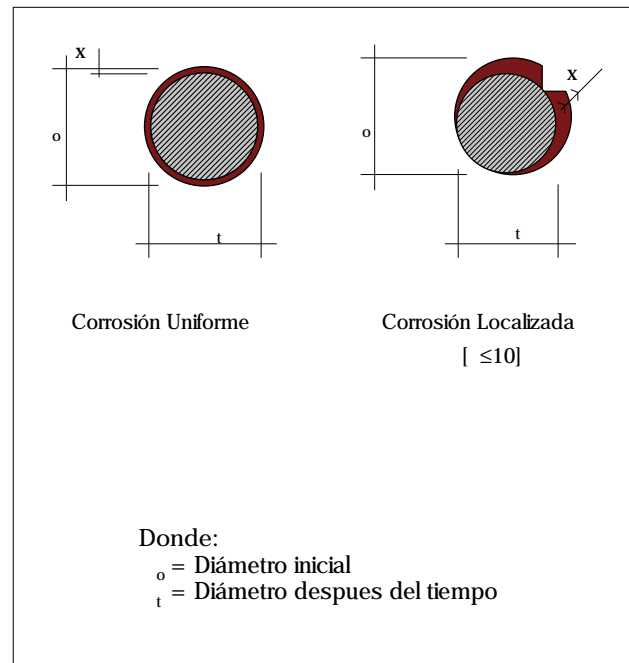


Figura 6.2.5.3: Diámetro Residual en el caso de Corrosión

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  $A/cm^2$  en  $mm/año$  para el acero)

b) Medida Localizada

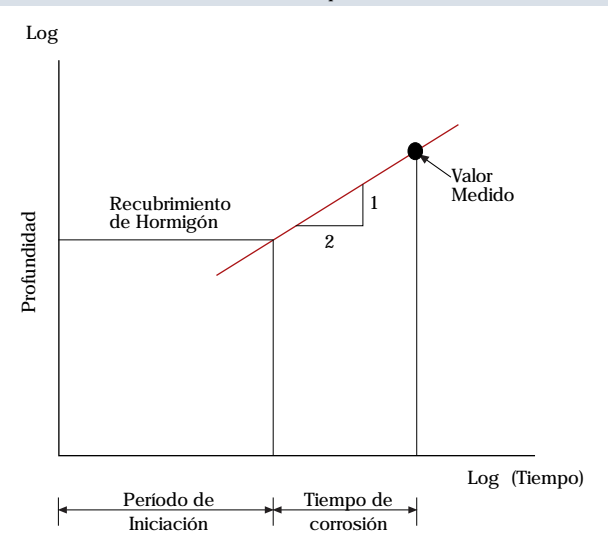
Cuando la corrosión es localizada, la profundidad máxima de la picadura (punto de corrosión) se calcula multiplicando la expresión anterior por un factor denominado  $\lambda$ , que normalmente se considera con valor de 10, quedando la expresión de la manera más general siguiente:

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

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 siguiente:

Tabla 6.2.5.4			
Rangos de Valores de $I_{CORR}$ sugeridos según la Clase de Exposición			
Descripción del Ambiente	Ejemplos	$I_{CORR}$ ( A/cm <sup>2</sup> )	
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.

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

Donde:

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

$d_b$  = Diámetro nominal de la barra

$l_d$  = 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 12, 18 y 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 siguientes.

**Tabla 6.2.5.5.1**
**Masa Unitaria de las Muestras y Grados de Oxidación - Limpieza por Decapado Barras 18**

Grado de Oxidación			Masa por Unidad de Longitud		
	Nº	Largo mm	Inicial g/cm	Final g/cm	Diferencia g/cm
A(*)	1	198	20,04	19,87	0,17
	2	200	19,99	19,83	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	19,86	19,73	0,13
B	7	202	20,22	19,99	0,23
	8	200	19,97	19,71	0,26
	9	199	19,84	19,68	0,16
	10	201	20,42	20,21	0,21
	11	200	20,61	20,28	0,33
	12	203	20,08	19,71	0,37
C	13	200	18,86	18,30	0,56
	14	200	20,01	19,80	0,21
	15	201	18,89	18,31	0,58
	16	203	19,02	18,56	0,46
	17	199	19,93	19,35	0,58
	18	200	18,83	18,60	0,23
D	19	199	18,82	18,40	0,42
	20	201	19,17	18,47	0,71
	21	203	19,18	18,62	0,56
	22	198	19,03	18,50	0,53
	23	200	19,00	18,69	0,32
	24	202	18,98	18,29	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 18,80 g/cm exigida por la norma oficial chilena NCh204.Of77, para barras con resaltes de diámetro 18.



Tabla 6.2.5.5.2				
Tasas de Oxidación - Limpieza por Decapado Barras 18				
mm	Recién Laminada Gr A g/mm <sup>2</sup>	Poco Oxidada Gr B g/mm <sup>2</sup>	Oxidada Gr C g/mm <sup>2</sup>	Muy Oxidada Gr D g/mm <sup>2</sup>
18	1,55	2,02	5,00	3,70
	1,40	2,31	1,86	6,20
	1,08	1,41	5,09	4,84
	1,33	1,84	3,99	4,70
	0,97	2,96	5,14	2,79
	1,14	3,23	2,02	6,02
Resumen Tasas de Oxidación por Decapado				
Mínima g/mm <sup>2</sup>	0,97	1,41	1,86	2,79
Máxima g/mm <sup>2</sup>	1,55	3,23	5,14	6,20
Media g/mm <sup>2</sup>	1,24	2,30	3,85	4,71
S g/mm <sup>2</sup>	0,22	0,69	1,54	1,32
V %	17,6	30,0	40,0	28,0

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 a 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

superficies metálicas, debido a las razones señaladas no usaremos este tipo de limpieza como criterio válido de medición en nuestros ejemplos, por ser poco representativo.

#### 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 12 y 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.Of77, 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 12 y 25**

Grado de Oxidación	Identificación Muestras			Masa por Unidad de Longitud		
	Barra mm	Nº	Largo mm	Inicial g/cm	Final g/cm	Diferencia g/cm
A(*)	12	25	203	8,91	8,84	0,07
		26	201	8,89	8,82	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	8,87	8,79	0,08
		33	200	8,94	8,86	0,08
	25	34	200	38,72	38,52	0,20
		35	203	37,61	37,43	0,18
		36	200	38,68	38,51	0,17
C	12	37	197	8,76	8,60	0,16
		38	200	8,51	8,31	0,20
		39	202	8,65	8,47	0,18
	25	40	200	38,22	37,85	0,37
		41	198	37,23	36,82	0,41
		42	201	36,45	36,05	0,40
D	12	43	200	8,22	7,94	0,28
		44	198	8,37	8,07	0,30
		45	202	8,29	8,01	0,29
	25	46	200	36,13	35,48	0,66
		47	201	35,99	35,30	0,69
		48	200	36,50	35,78	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.Of77, para barras con resaltes de diámetros 12 y 25.

Tabla 6.2.5.5.4				
Tasas de Oxidación - Limpieza por Arenado Grado 1 Barras 12 y 25				
mm	Recién Laminada Gr A g/mm <sup>2</sup>	Poco Oxidada Gr B g/mm <sup>2</sup>	Oxidada Gr C g/mm <sup>2</sup>	Muy Oxidada Gr D g/mm <sup>2</sup>
12	0,87	1,18	2,19	3,70
	0,86	1,08	2,61	3,97
	0,95	1,03	2,33	3,74
25	1,02	1,25	2,34	4,17
	0,96	1,12	2,65	4,36
	0,90	1,09	2,54	4,57
Resumen Tasas de Oxidación por Arenado				
Mínima g/mm <sup>2</sup>	0,86	1,03	2,19	3,70
Máxima g/mm <sup>2</sup>	1,02	1,25	2,65	4,57
Media g/mm <sup>2</sup>	0,93	1,12	2,44	4,09
S g/mm <sup>2</sup>	0,06	0,08	0,18	0,35
V %	6,5	7,0	7,5	8,5

c) Limpieza con Herramientas

En este caso, se procede a numerar las muestras desde el 49 al 96 para los diámetro 12 y 25, agrupándolas de acuerdo a 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.Of77, 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 12 y 25**

Grado de Oxidación	Tipo de Limpieza	Identificación Muestras			Masa por Unidad de Longitud		
		Barra mm	Nº	Largo mm	Inicial g/cm	Final g/cm	Diferencia g/cm
A <sup>(*)</sup>	Manual	12	49	197	8,91	8,86	0,05
			50	202	8,89	8,83	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	8,91	8,85	0,06
			56	200	8,89	8,82	0,07
			57	200	9,18	9,12	0,06
		25	58	200	39,85	39,71	0,14
			59	198	38,74	38,61	0,13
			60	200	39,96	39,81	0,15
B	Manual	12	61	200	9,01	8,94	0,07
			62	200	8,87	8,80	0,07
			63	198	8,94	8,87	0,07
		25	64	200	38,72	38,54	0,18
			65	203	37,61	37,45	0,16
			66	202	38,68	38,50	0,18
	Motriz	12	67	202	9,01	8,93	0,08
			68	200	8,87	8,79	0,08
			69	199	8,94	8,86	0,08
		25	70	199	38,72	38,53	0,19
			71	200	37,61	37,43	0,18
			72	201	38,68	38,49	0,19
C	Manual	12	73	199	8,76	8,63	0,13
			74	200	8,51	8,39	0,12
			75	202	8,65	8,53	0,12
		25	76	200	38,22	37,93	0,29
			77	200	37,23	36,94	0,29
			78	203	36,45	36,20	0,25
	Motriz	12	79	200	8,76	8,62	0,14
			80	200	8,51	8,38	0,13
			81	201	8,65	8,51	0,14
		25	82	202	38,22	37,89	0,33
			83	200	37,23	36,89	0,34
			84	199	36,45	36,12	0,33
D	Manual	12	85	200	8,22	8,06	0,16
			86	201	8,37	8,21	0,16
			87	196	8,29	8,13	0,16
		25	88	200	36,13	35,68	0,45
			89	197	35,99	35,55	0,44
			90	202	36,50	36,03	0,47
	Motriz	12	91	199	8,22	8,02	0,20
			92	201	8,37	8,17	0,20
			93	203	8,29	8,10	0,20
		25	94	200	36,13	35,65	0,48
			95	203	35,99	35,52	0,47
			96	200	36,50	36,00	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 ensayo 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.Of77, para barras con resaltes de diámetros 12 y 25.

Tabla 6.2.5.5.6

Tasas de Oxidación - Limpieza con Herramientas Barras 12 y 25

mm	Tipo de Limpieza	Recién Laminada Gr A g/mm <sup>2</sup>	Poco Oxidada Gr B g/mm <sup>2</sup>	Oxidada Gr C g/mm <sup>2</sup>	Muy Oxidada Gr D g/mm <sup>2</sup>
12	Manual	0,72	0,98	1,67	2,12
		0,78	0,92	1,56	2,13
		0,73	0,89	1,63	2,17
	Motriz	0,77	1,11	1,83	2,61
		0,90	1,04	1,74	2,61
		0,81	1,00	1,81	2,57
25	Manual	0,88	1,14	1,88	2,89
		0,80	1,01	1,82	2,83
		0,90	1,13	1,57	2,94
	Motriz	0,90	1,21	2,09	3,07
		0,85	1,12	2,18	2,97
		0,96	1,20	2,11	3,17
Resumen Tasas de Oxidación por Limpieza con Herramientas Barras 12 y 25					
Mínima (g/mm <sup>2</sup> )		0,72	0,89	1,56	2,12
Máxima (g/mm <sup>2</sup> )		0,96	1,21	2,18	3,17
Media (g/mm <sup>2</sup> )		0,83	1,06	1,82	2,68
S (g/mm <sup>2</sup> )		0,08	0,10	0,21	0,37
V (%)		9,2	9,8	11,5	13,8

### 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 AZA para hormigón son manufacturadas a partir de un producto semiterminado llamado palanquilla, que luego de seleccionadas según la calidad o 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.

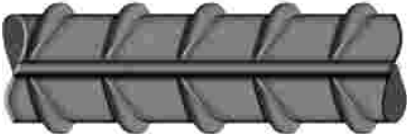




Es en este proceso metalúrgico, al aplicar calor, donde las barras de acero experimentan una fuerte reacción de oxidación con el aire del medio ambiente, dando origen a la formación sobre su superficie a una delgada, compacta, uniforme, poco permeable y firmemente adherida película o escamas de

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 desarrollan 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 el Cuadro 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 poquitas costras y laminillas comienzan a soltarse, pero el núcleo, todos los resaltes 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 resaltes 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 resaltes y nervios longitudinales, para verificar el cumplimiento de los requisitos mínimos exigidos por la norma oficial chilena NCh204.Of77.</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 resaltes y los nervios longitudinales con bastantes cráteres o picaduras. Los resaltes 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 resaltes, no cumpliendo así con los requisitos mínimos exigidos por la norma oficial chilena NCh204.Of77.</p>

6.3 AGENTES AGRESIVOS

6.3.1 Exposición a Congelación y a Deshielo

De acuerdo al 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 ± 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 de Aire Hormigón Resistente a la Congelación (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 NCh 163.Of79.  
+ 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  $AC_3$ , (cemento tipo II), y como cementos altamente resistentes a aquellos con un contenido máximo de 5% de  $AC_3$  (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.

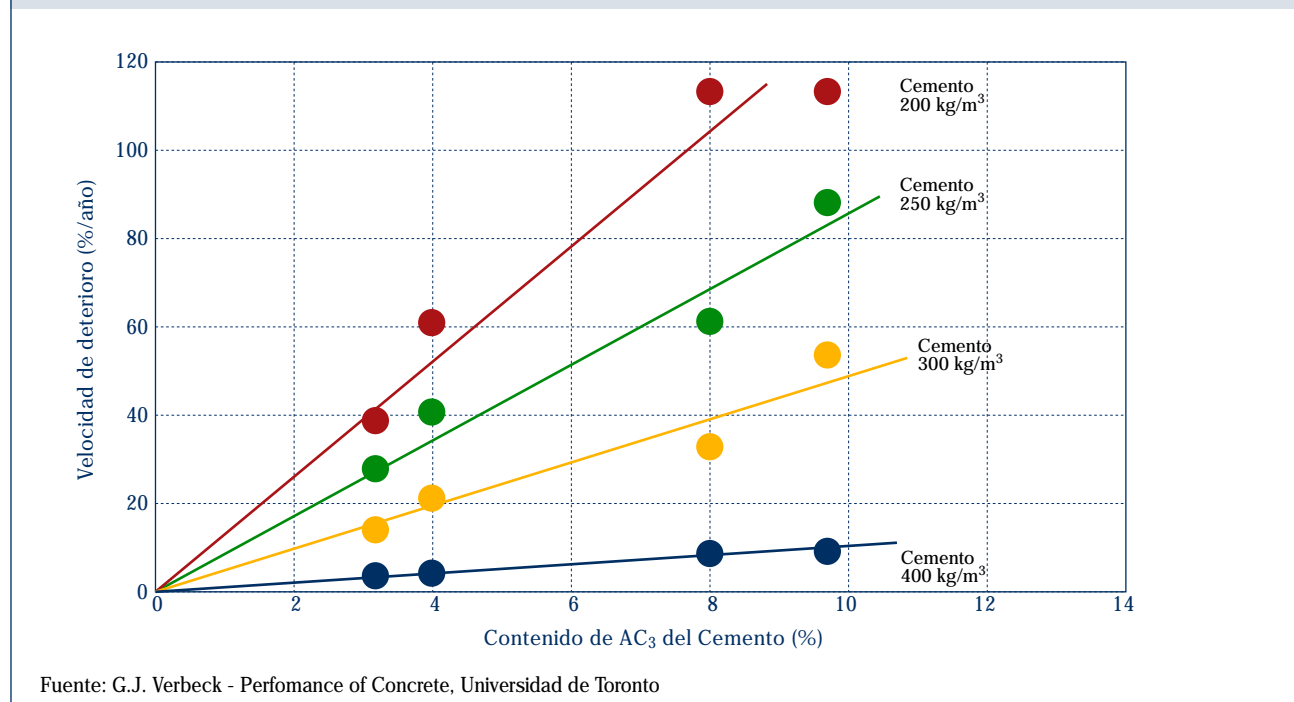
Además, es importante tener en cuenta que una vez que los sulfatos penetran el hormigón endurecido, estos provocan una reacción química que genera compuestos expansivos, como la thaumasita el yeso la ettringita, elemento este último el que, procedente básicamente de la combinación de los sulfatos con 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



**Tabla 6.3.2.1**
**Requisitos para Hormigones Expuestos a Soluciones que contienen Sulfatos (ACI 318)**

Exposición a Sulfatos	Sulfato (SO <sub>4</sub> ) acuosoluble 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 sulforresistente 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<sub>3</sub> 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

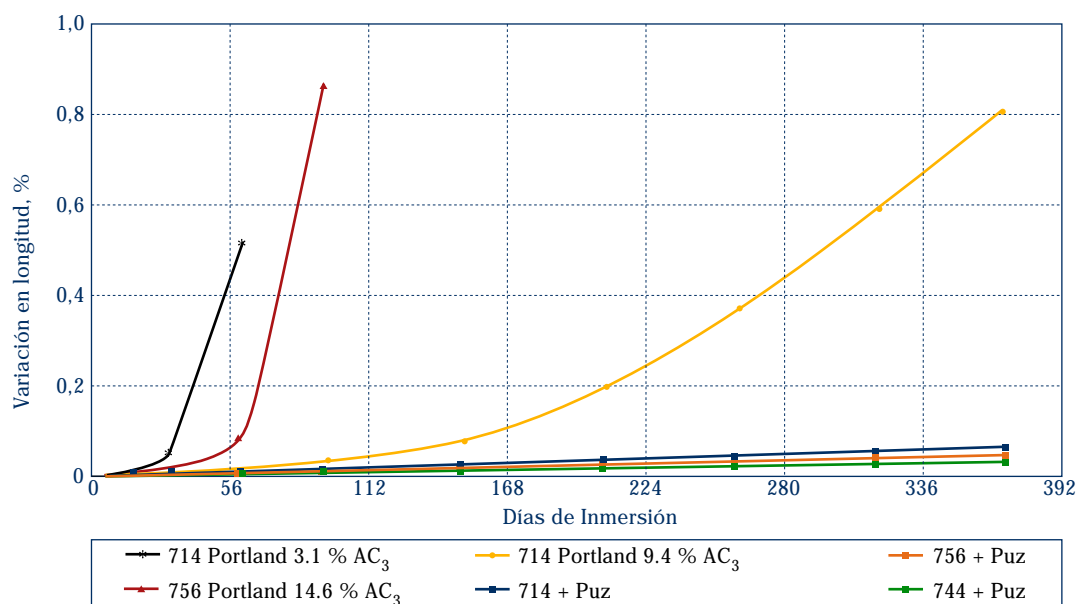
disminuye fuertemente el grado de expansión a niveles adecuados para ser clasificados como resistentes a la exposición de sulfatos.

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 sulforresistentes.

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 a 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.

Gráfico 6.3.2.2

Medición de las Expansiones



Fuente: Revista BIT N° 24 - Diciembre 2001

Tabla 6.3.2.2

Resistencia al Ataque de Sulfatos

Tipo	Clasificación de los Cementos	Expansión Máxima ASTM C1012	
	Norma ASTM C1157	%	
	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		

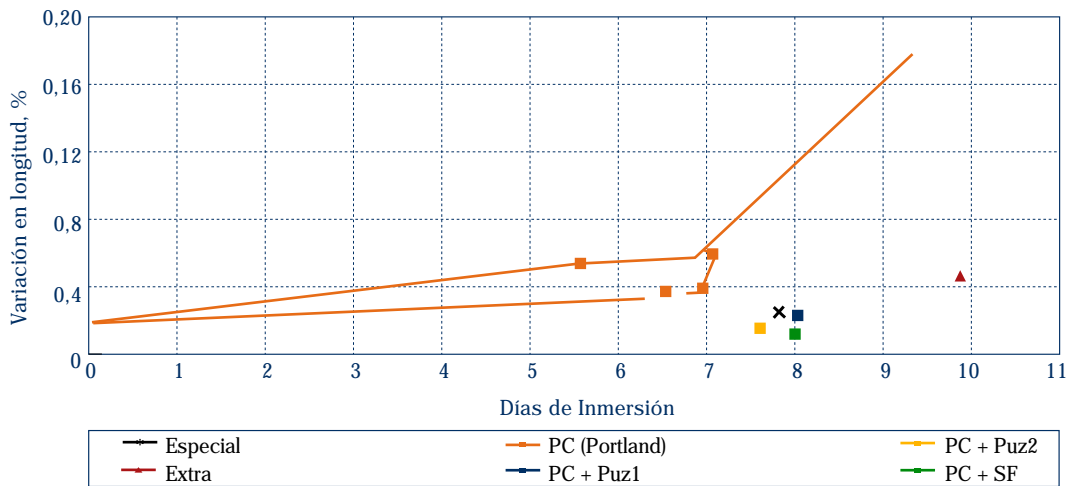
Fuente: Revista BIT N° 24 - Diciembre 2001

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 $SO_4^{2-}$ 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 $SO_4^{2-}$ 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  $\text{mg/m}^3$ ) 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.

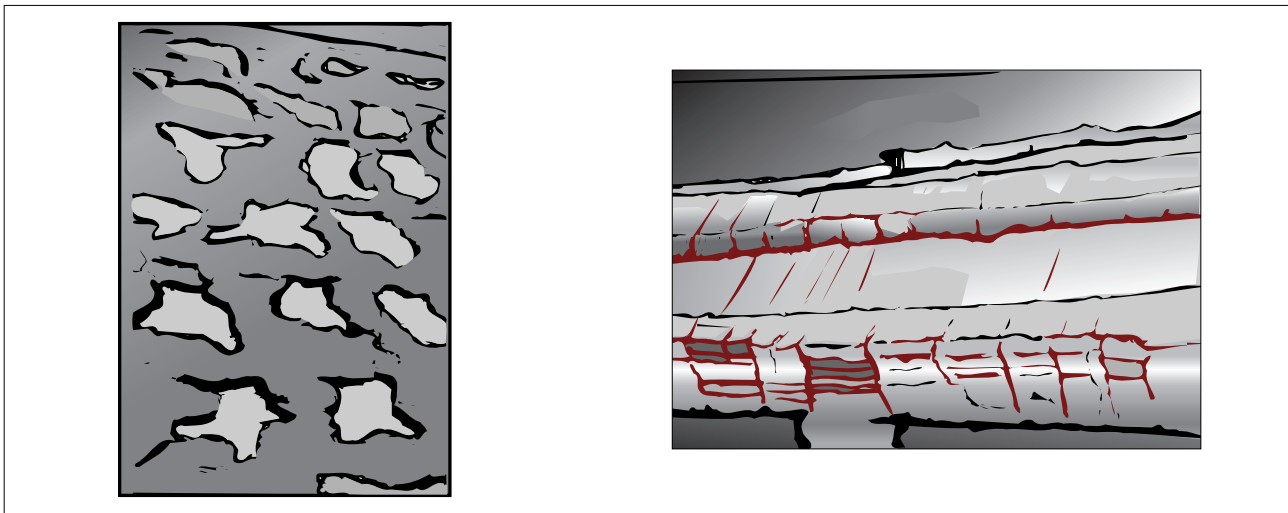


Gráfico 6.3.3.1: Mapa de Fisuras y Desprendimiento del Recubrimiento por Carbonatación del Hormigón

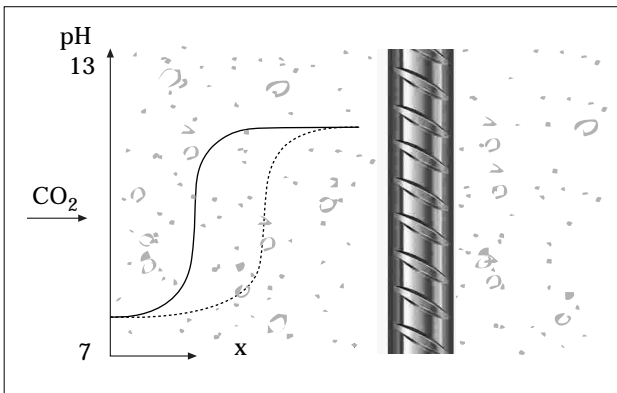


Figura 6.3.3.2: Variación del pH en el Hormigón por Carbonatación

### 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.

$$X = V * t^{0.5} \quad [6.3.3.1.1]$$

Donde:

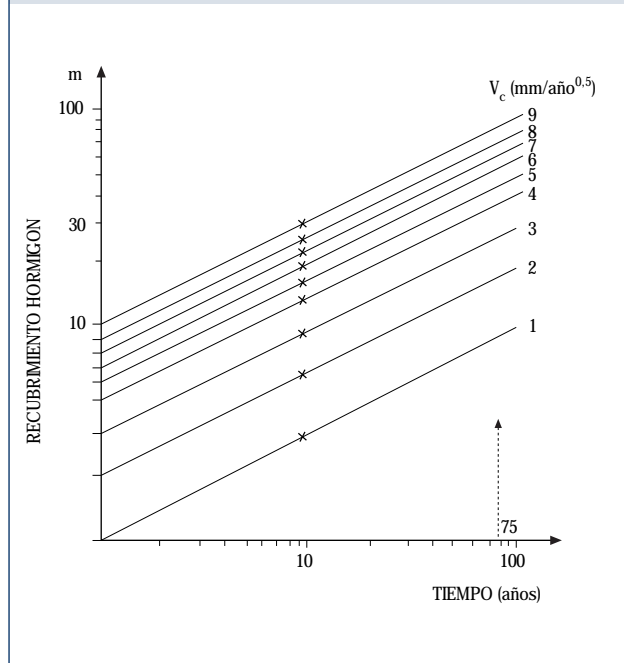
X = Profundidad alcanzada de penetración o frente carbonatado, mm

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 figura 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<sub>CO<sub>2</sub></sub> 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:

$$X = 8 * 5,48 = 44 \text{ mm}$$

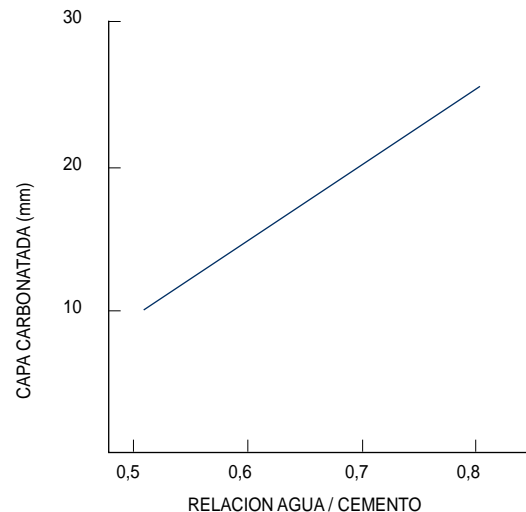
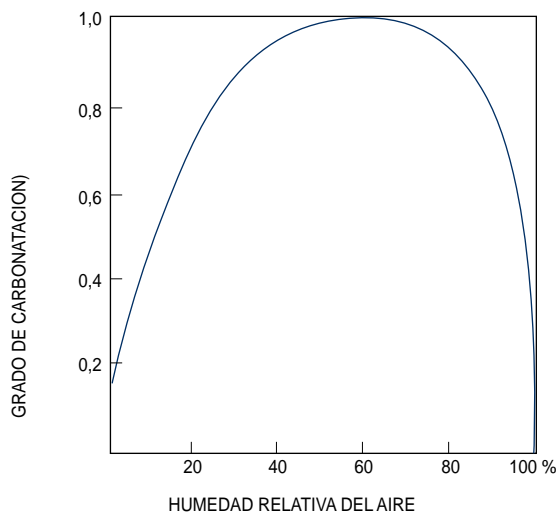
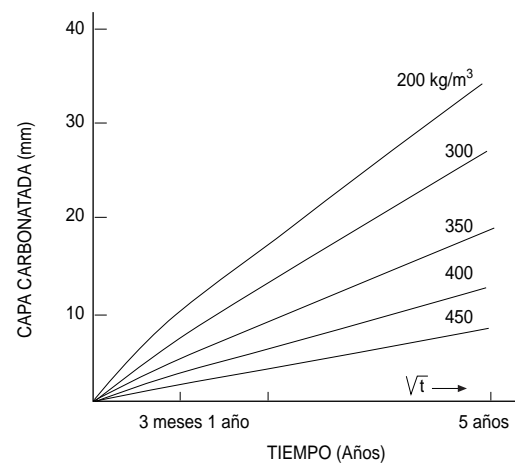
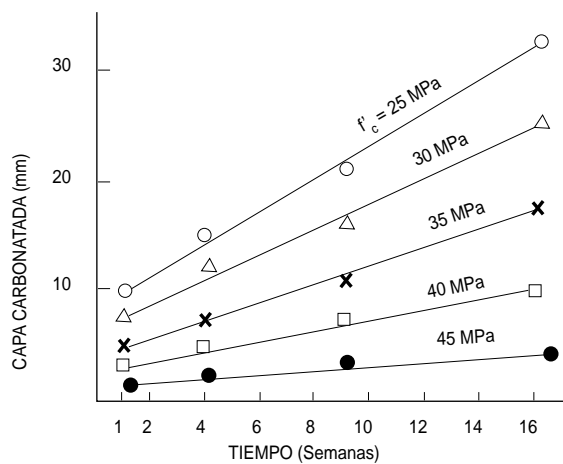
Es decir, sólo hormigones de elevada compacidad y alto contenido de cemento, superior a  $350 \text{ kg/m}^3$ , podrán mantener exenta de corrosión a la armadura en un período de vida superior a 50 años. Todo ello en el entendido de hormigones situados en la atmósfera y protegidos de la lluvia, ya que 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.

$$\frac{C_S}{a} = \sqrt{\left(\frac{k}{2\sqrt{D_{CO_2}}}\right)^2 e^{\left(\frac{k^2}{4D_{CO_2}}\right)} \operatorname{erf}\left(\frac{k}{2\sqrt{D_{CO_2}}}\right)} \quad [6.3.3.1.2]$$

$$a = c \frac{C}{100} DH \frac{M_{CO_2}}{M_{CaO}} \quad [6.3.3.1.2a]$$

$$k = \frac{X_{CO_2}}{\sqrt{t}} \quad [6.3.3.1.2k]$$

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)

$a$  = 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)

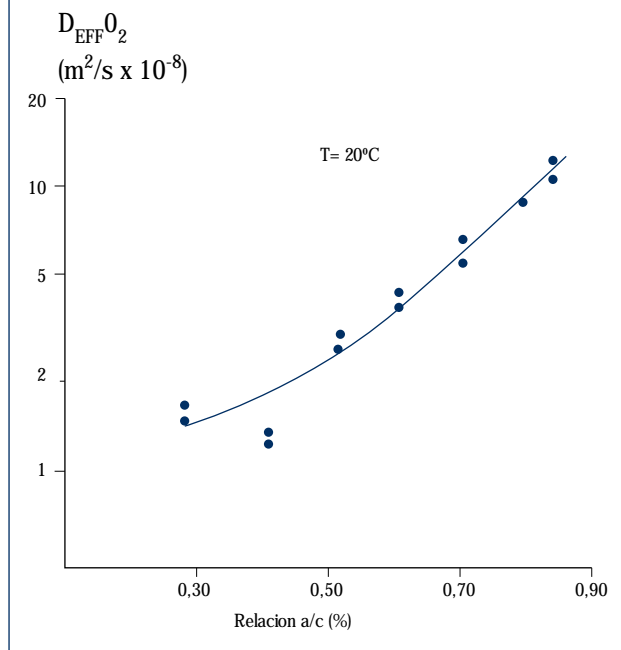
$t$  = Edad (s)

$\operatorname{erf}()$  = 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 a 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



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.

Gráfico 6.3.3.1.4

Efecto de la Humedad Relativa en el Coeficiente de Difusión

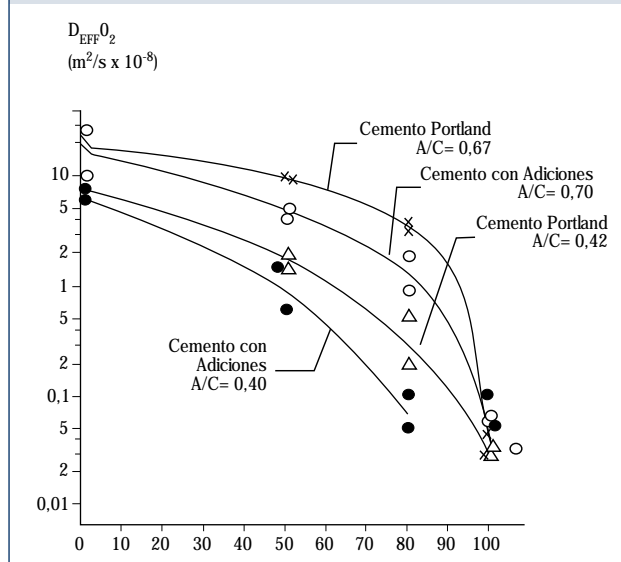


Tabla 6.3.3.1.1

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:

$$X_c = A \sqrt[n]{t_{di} - \left(\frac{X_{ci-1}}{B}\right)^2} \quad [6.3.3.1.3]$$

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  $CO_2$ , ( $m^2/s$ )

$C_1 - C_2$  = 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-Internacional du Beton es muy similar al propuesto por Bakker y proporciona los mismos resultados numéricos que el modelo de Tuutti:

$$X_{CO_2} = \sqrt{\frac{2K_1K_2D_{CO_2} C_S}{a}} \sqrt[t]{\left(\frac{t_0}{t}\right)^N} \quad [6.3.3.1.4]$$

$$a = \frac{CcDH M_{CO_2}}{M_{CaO}} \quad [6.3.3.1.4a]$$

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  $CO_2$ , ( $m^2/s$ )

- $C_S$  = 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 siguiente:

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 al 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 <sup>-</sup> ) 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

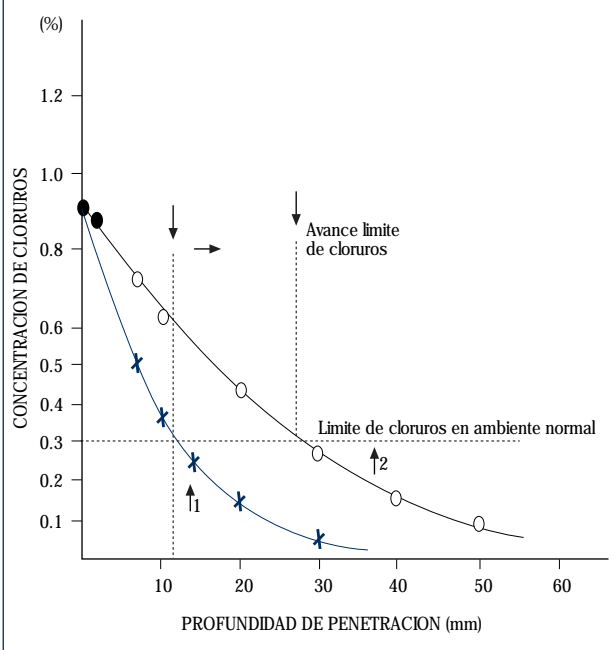
En el gráfico siguiente se muestra el perfil típico de la concentración de cloruros en el hormigón armado en ambiente normal, basado en el ACI 318, versus la profundidad de penetración de ellos.

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 limite 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.

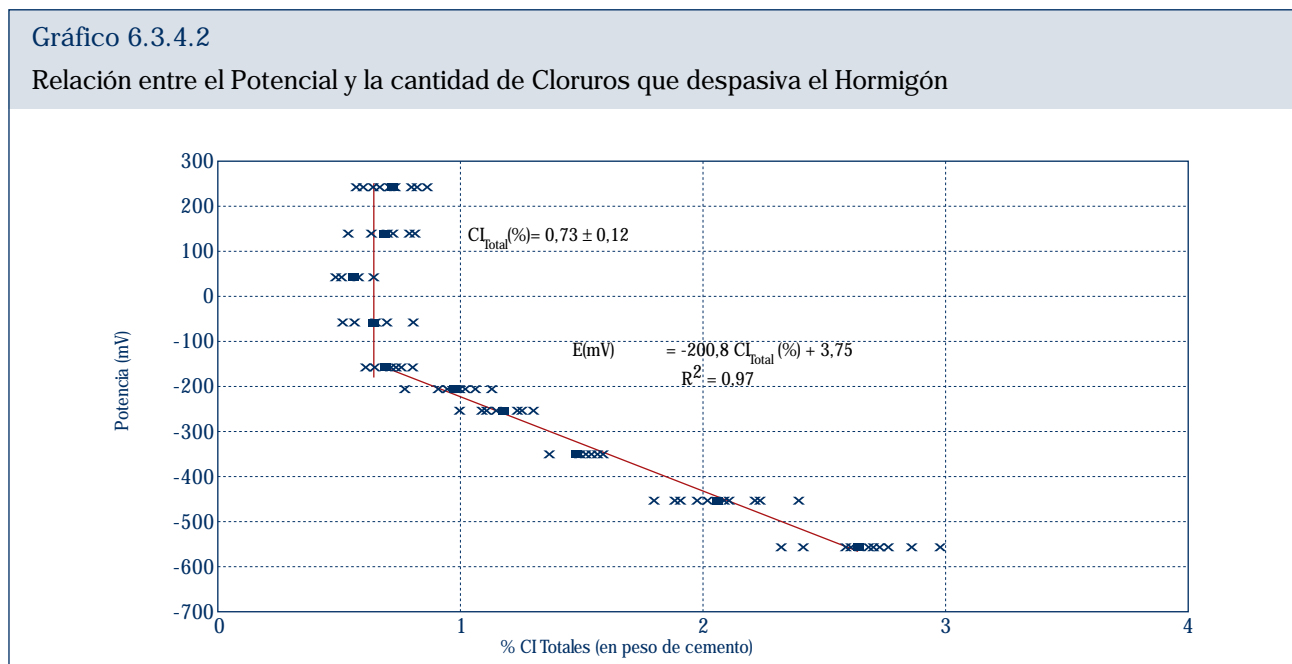
Como se puede apreciar, el potencial depende de los factores anteriores y por lo tanto un mismo hormigón puede presentar diferentes concentraciones límite, dependiendo del potencial que tenga a lo largo de su tiempo de vida, es decir el hormigón más seco tendrá potenciales más nobles (superiores a +0) 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 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.

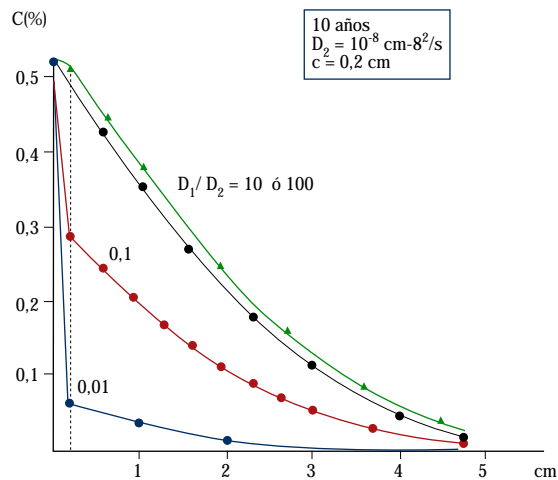
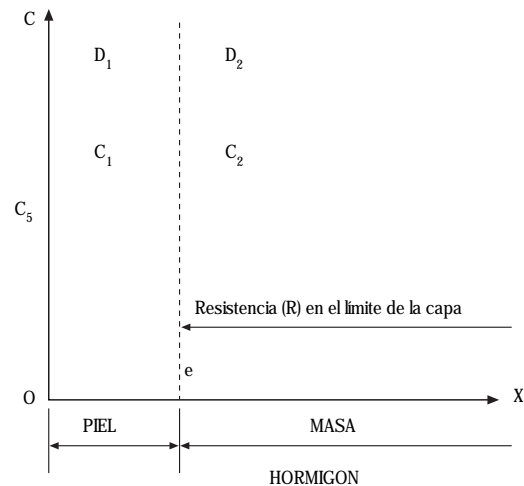
$C_i$  = Concentración inicial de iones cloruro a la profundidad  $x$ .

$\operatorname{erf}(\ )$  = 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 los gráficos siguientes, 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 de 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 a las expresiones matemáticas para el cálculo con efecto piel siguientes:

$$C_1(x,t) = C_S \sum_{n=0}^{\infty} \left( \operatorname{erfc} \left[ \frac{2ne + x}{2\sqrt{D_1 t}} \right] - \operatorname{erfc} \left[ \frac{(2n+2)e - x}{2\sqrt{D_1 t}} \right] \right) \quad [6.3.4.2]$$

$$C_2(x,t) = \frac{2kC_S}{k+1} \sum_{n=0}^{\infty} \left( \operatorname{erfc} \left[ \frac{(2n-1)e + k(x-e)}{2\sqrt{D_1 t}} \right] \right) \quad [6.3.4.3]$$

En donde:

$$k = \sqrt{\frac{D_1}{D_2}} \quad \text{y} \quad = \frac{1-k}{1+k}$$

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:

$$C_2(x,t) = \frac{2kC_S R}{k+1} \sum_{n=0}^{\infty} \left( \operatorname{erfc} \left[ \frac{(2n-1)e + k(x-e)}{2\sqrt{D_1 t}} \right] \right) \quad [6.3.4.4]$$

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 siguiente para ser sustituido posteriormente en la ecuación [6.3.4.1].

$$D_{CL}(t) = D_{CL}(t_0) \left[ \frac{t}{t_0} \right]^n \quad [6.3.4.1]$$

## 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.

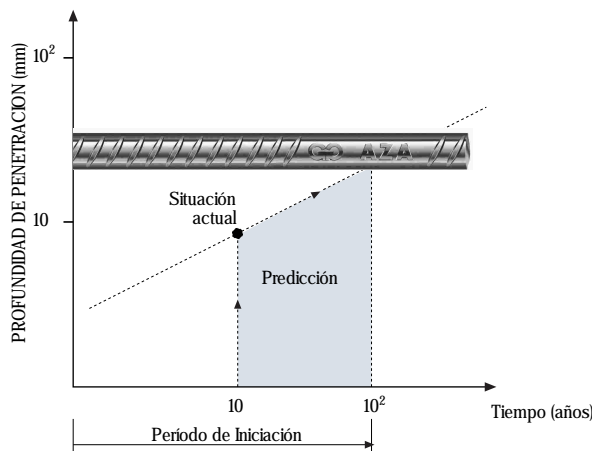
Otros conceptos importantes a tener en cuenta en la durabilidad son los períodos de iniciación y propagación de los agresivos, la vida útil y la vida residual de las estructuras de hormigón armado.

### 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 6.3.3 y 6.3.4 anteriores.

#### 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:

$$h = \frac{2 s \cos}{g r} \quad [6.4.2.2]$$

Donde:

- h = Altura del agua
- s = Tensión superficial del líquido
- = Densidad
- = 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, etc.

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.

$$k = \frac{Q1}{tA_p} \Rightarrow X = \frac{Q1}{tA_p} \sqrt{t} \quad [6.4.2.3]$$

Donde:

- X = Profundidad alcanzada por una cierta proporción del agresivo
- Q = Volumen del fluido
- A = Sección del hormigón
- p = Presión aplicada
- t = Tiempo
- = Viscosidad del fluido.

#### 6.4.3 Período de Propagación, Vida Útil y Residual

El periodo 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 despasiva 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 desarrollados por Tutti, de vida útil 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

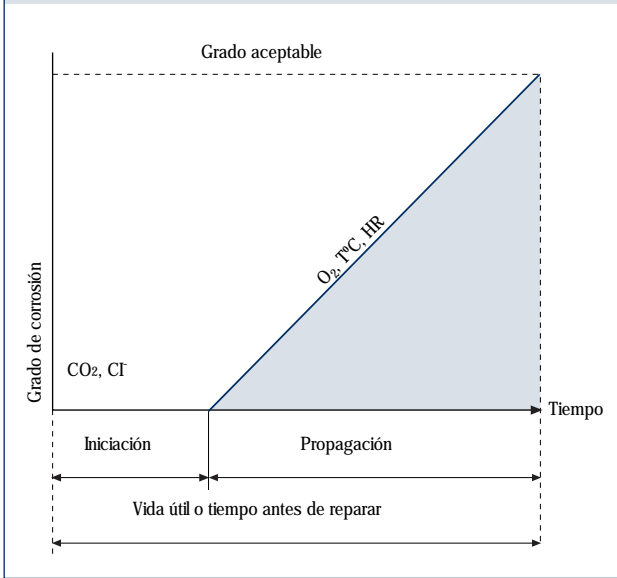
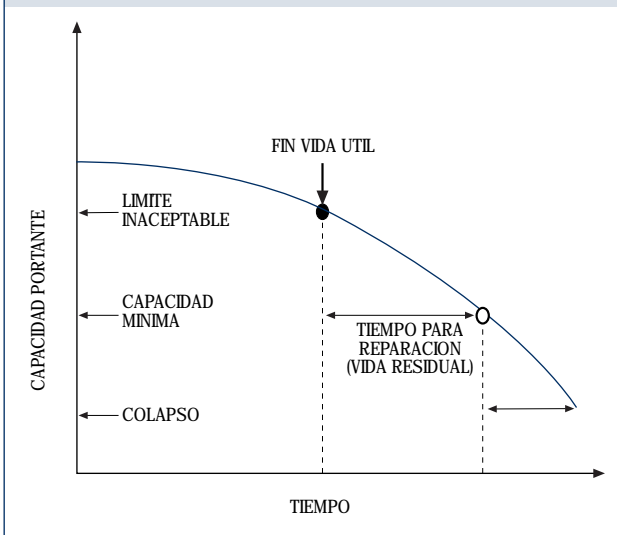


Gráfico 6.4.3.2  
Modelo de Vida Residual



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 cual 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 si 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.

- 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.

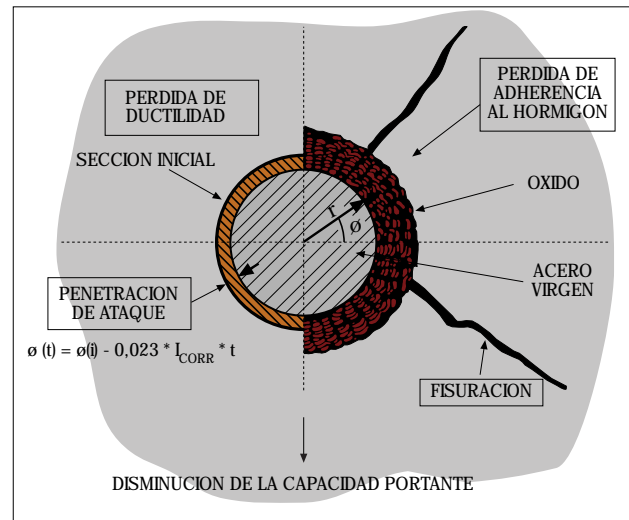
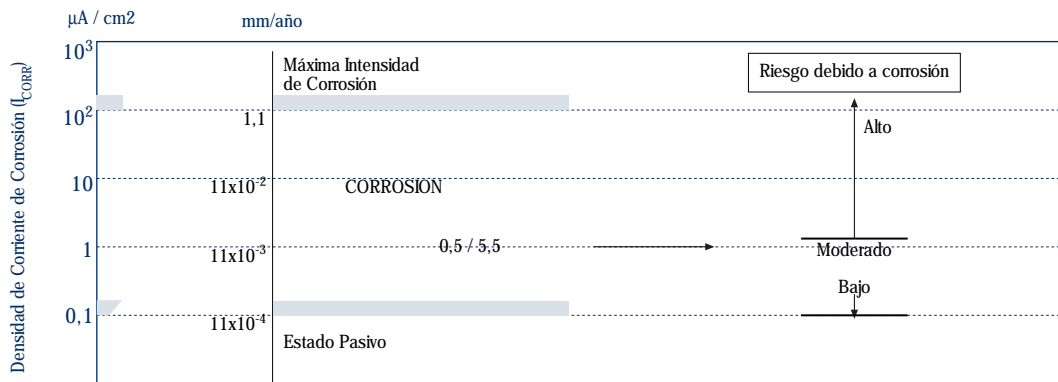


Figura 6.4.3: Consecuencia de la Corrosión de barras embebidas en Hormigón

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.

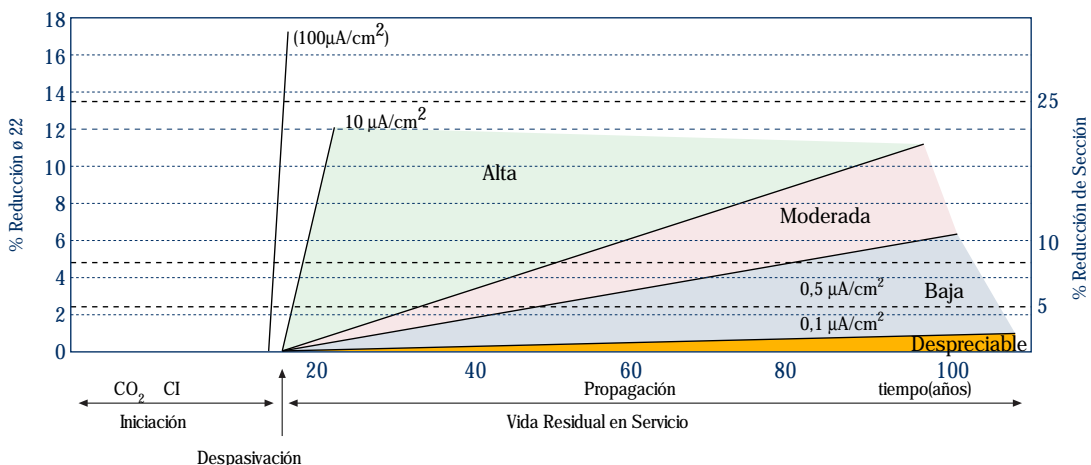
En general, los valores de velocidad de corrosión de las armaduras variarán entre valores inferiores a  $0,1 \text{ A/cm}^2$  ( $1 \text{ m/año}$ ), típicos del estado de pasivación, y un valor máximo de alrededor de  $100 \text{ A/cm}^2$  ( $1.000 \text{ m/año}$ ), característico de un hormigón con una muy elevada contaminación de cloruros.

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 22 milímetros, en función de diversas velocidades de corrosión.

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  $5 \text{ A/cm}^2$  ( $1$  y  $5 \text{ m/año}$ ), esto puede

Gráfico 6.4.3.4

Vida residual de armaduras  $\varnothing 22 \text{ mm}$  con diferentes velocidades de corrosión



dar lugar a penetraciones locales de ataque diez veces superiores a estos valores, es decir a penetraciones de 10 a 500 m/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:

$$t = \frac{X_{CO_2}^2 + \text{pérdida de diámetro límite}}{K_{CO_2} \text{ velocidad de corrosión}} \quad [6.4.3.1]$$

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 siguiente, 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 a la fórmula que se indica.

$$t = i - 0,023 i_{corr} t \quad [6.4.3.2]$$

Donde:

t = Tiempo, años

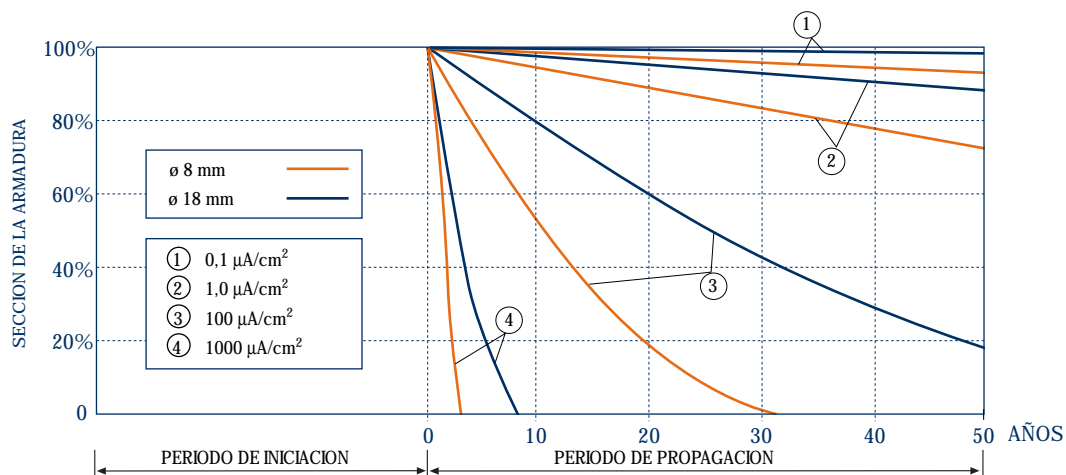
$i_{corr}$  = Velocidad de corrosión, A / cm<sup>2</sup>

t = Diámetro de la barra en el tiempo t, mm

i = Diámetro inicial de la barra, mm

**Gráfico 6.4.3.5**

**Pérdida de Sección en Barras 8 y 18, en función de la Velocidad de Corrosión**



Importante:

Recordar que la norma chilena NCh 204.Of77: 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 a la expresión  $e = 12,74\sqrt{M}$ . Donde e = diámetro de la barra (mm) y M = masa lineal (kg/m), la cual acepta una tolerancia de  $\pm 6\%$  para una barra con resaltes individual.

$$2) \text{ Sección nominal } S_n (\text{cm}^2) = \frac{0,7854}{100} e^2 \quad (\text{ en mm})$$

$$3) \text{ Perímetro nominal } P_n (\text{cm}) = \frac{3,1416}{10} e \quad (\text{ en mm})$$

$$4) \text{ Masa nominal } M_n (\text{kg/m}) = 0,785 S_n \quad (S_n \text{ en cm}^2)$$

#### 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, 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.

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

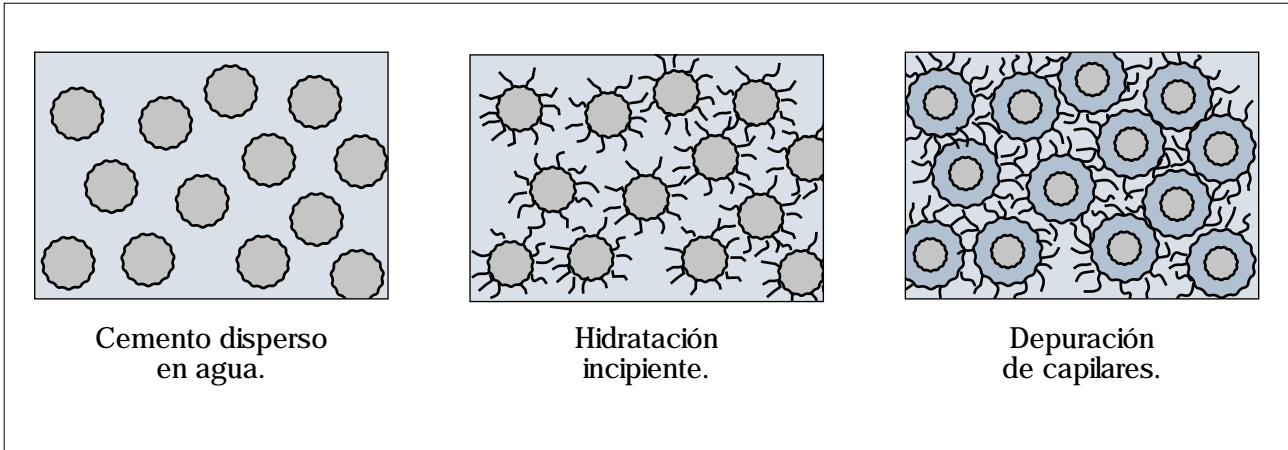


Figura 6.4.4.1: Esquema de las etapas en la hidratación del cemento.

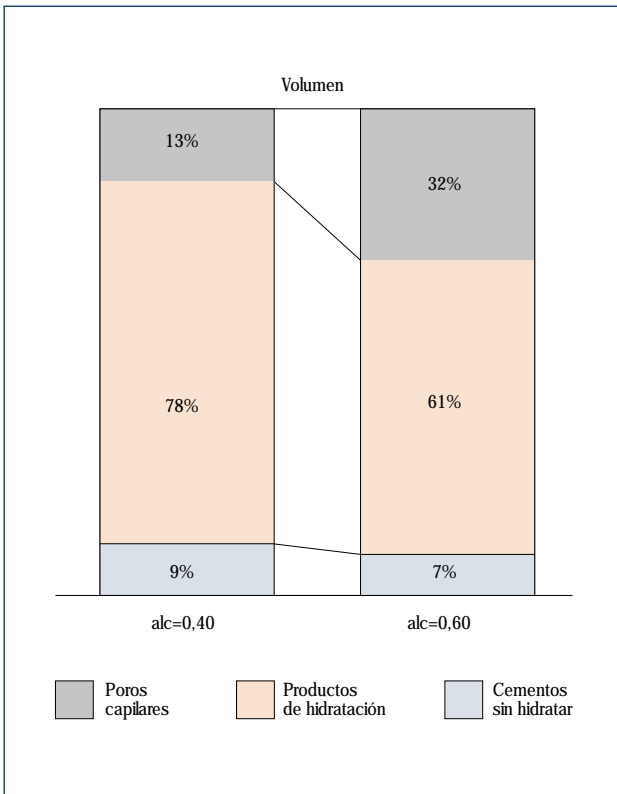


Figura 6.4.4.2: Porosidad Capilar de la Pasta de Cemento y del Hormigón 80% hidratado.

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.

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.

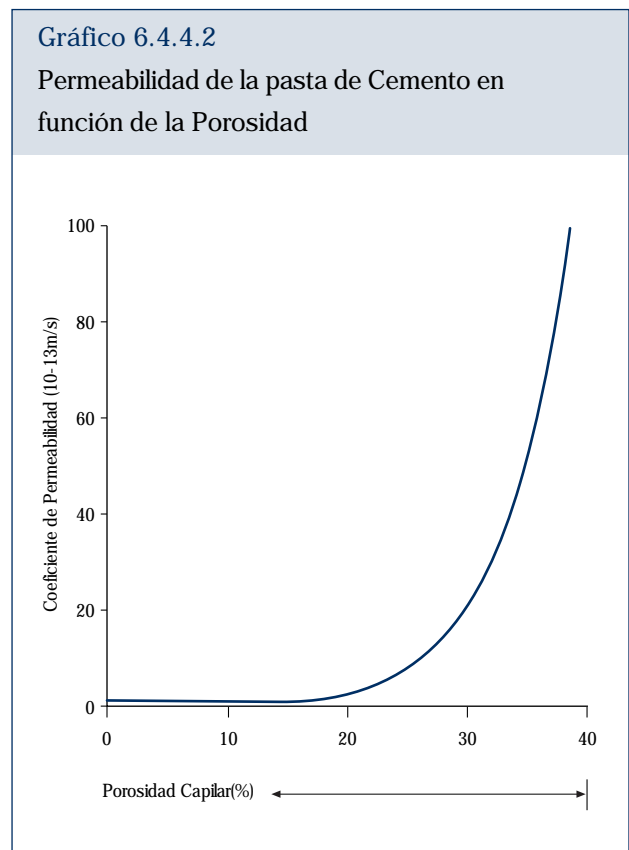
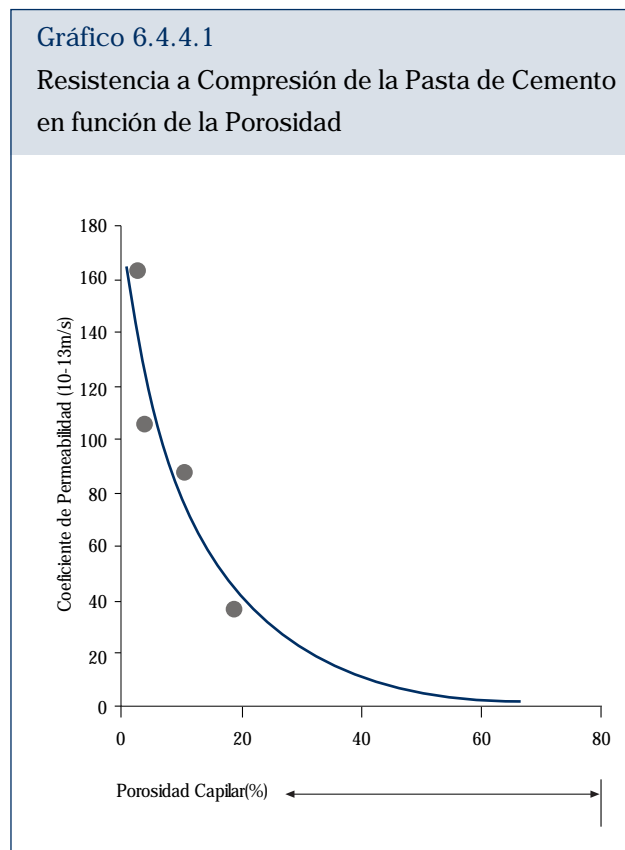
c) Resistencia Mecánica y Permeabilidad

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  $\mu$ m tienen un fuerte efecto sobre la resistencia y la permeabilidad, tal como lo muestran los gráficos siguientes.

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.

**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

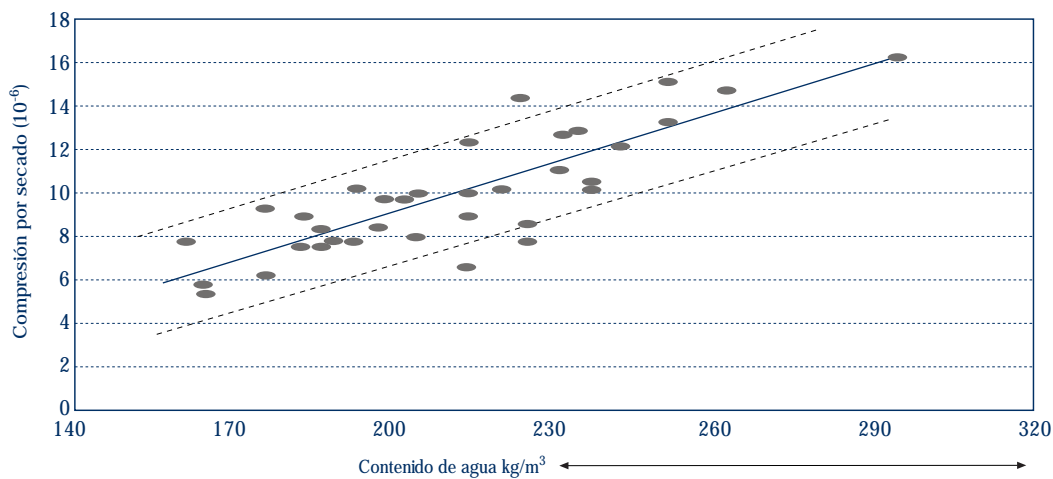
excesiva, aumentos en la curvatura de elementos esbeltos sometidos a cargas y pérdidas de esfuerzos de tensado en hormigones pretensados.

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

**Gráfico 6.4.4.3**  
Efecto del Agua sobre la Magnitud de la Contracción del Hormigón





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.

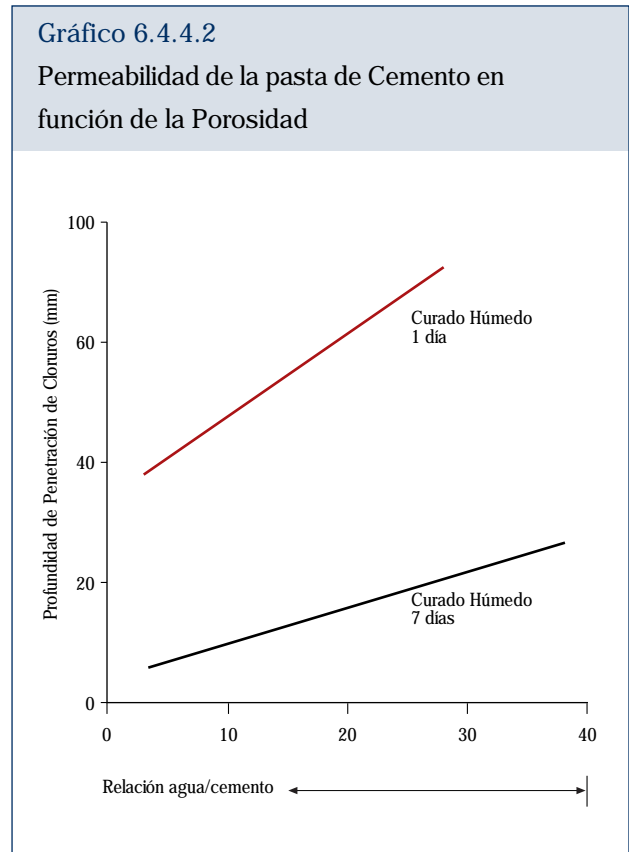
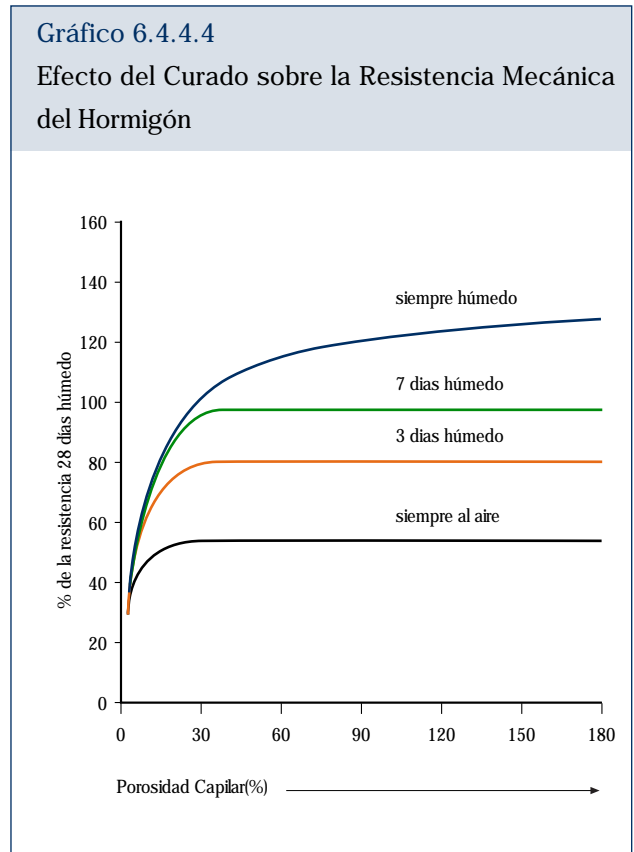
Para evitar interrumpir la hidratación mientras el hormigón desarrolla sus propiedades mecánicas y de durabilidad, debe asegurarse la existencia de una cantidad suficiente de agua protegiéndolo de la evaporación mediante membranas, aportando agua desde el exterior o combinando

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 esta 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.

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 la tablas 6.5.1.1 y 6.5.1.2 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, respectivamente.

a) Condiciones 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 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 (no pretensado)		
Hormigón y elementos Barras y armaduras	Recubrimiento 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 $d_b$ 18 a $d_b$ 36	40	50
Barras $d_b$ 16 y menores	30	40
c) Hormigón no expuesto al aire libre ni en contacto con el suelo.		
• Losas, muros, nervaduras:		
Barras $d_b$ 16 a $d_b$ 36	20	20
Barras $d_b$ 12 y menores	15	20
• Vigas y columnas:		
Armadura principal	30	40
Amarras, estribos y zunchos	20	30
• Cáscaras y placas plegadas:		
Barras $d_b$ 18 y mayores	20	20
Barras $d_b$ 16 y menores	15	15
d) Elementos de confinamiento en albañilerías.		
Armadura principal $d_b$ 10 y menores	20	30
Amarras, estribos y zunchos $d_b$ 8 y menores	15	20

$d_b$  = Diámetro Nominal de la Barra.

**Tabla 6.5.1.2**
**Recubrimientos Mínimos para Hormigón Prefabricado en Condiciones de Control de Planta**

Hormigón y elementos Barras y armaduras	Recubrimiento Mínimo mm	
	Condiciones Normales	Condiciones Severas
a) Hormigón expuesto al suelo o al aire libre.		
• Paneles para muros: Barras $d_b$ 36 y menores	20	20
• Otros elementos: Barras $d_b$ 18 a $d_b$ 36	30	40
Barras $d_b$ 16 y menores	20	30
b) Hormigón no expuesto al aire libre ni en contacto con el suelo.		
• Paneles para muros: Barras $d_b$ 36 y menores	15	15
• Vigas y columnas: Armadura principal, $d_b$ pero; Amarras, estribos y zunchos	$\geq 15 \leq 40$ 10	$\geq 15 \leq 40$ 10
• Cáscaras y placas plegadas: Barras $d_b$ 18 y mayores	15	15
Barras $d_b$ 16 y menores	10	10

$d_b$  = Diámetro Nominal de la Barra.

**Comentario:**

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.

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.

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.

En el caso que el doblado sea realizado con las barras ya galvanizadas estas deben cumplir con las disposiciones de la norma ASTM A767, y si como resultado de estas operaciones se producen algunas grietas o descascaramientos 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

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 siguientes.

##### 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 6.5.2.2.1

Reacciones Químicas en Armaduras con Pintura Epóxica

Condiciones	Reacciones
a) Oxidación en aire: 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) Hidrólisis en aire húmedo: El aire con contenido de humedad, presenta una corrosión más acelerada.	$2 \text{Fe}^0 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Fe(OH)}_2$
c) Carbonatación en el hormigón: 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.	$\begin{array}{ccc} \text{Ca(OH)}_2 & & \text{CaCO}_3 \\ \text{NaOH} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} & \rightarrow & \text{NaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \\ \text{K}_2\text{OH} & & \text{K}_2\text{CO}_3 \end{array}$
d) Atmósfera salina: 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> $\text{Fe}^0 \rightarrow \text{Fe}^{++} + 2\text{e}^-$ $6 \text{Fe}^{++} + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe(OH)}_2$ $4 \text{Fe(OH)}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{Fe(OH)}_3$
e) Debajo de medios salinos: 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> .	$\text{NaCl} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ $\text{Fe(OH)}_2 + 2 \text{Cl}^- \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
f) Efectos del SO <sub>2</sub> de la atmósfera: 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

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

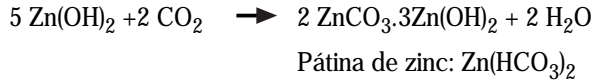
compacta de productos de la reacción inicial del zinc con el hormigón, para dar lugar a la formación de cincatos. Si hay riesgo de ataque por cloruros, es importante que la capa de zinc del galvanizado tenga un espesor mínimo de alrededor de 50 micras.

Tabla 6.5.2.2.2

Reacciones Químicas en Armaduras Galvanizadas

Condiciones	Reacciones
a) Oxidación en aire: 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) Hidrólisis en aire húmedo: 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) Carbonatación en la armadura: 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) Atmósfera salina: Da lugar a la formación de nuevas capas de protección y a la vez del debilitamiento del espesor de zinc de la armadura.	$6 \text{Zn} + 8 \text{NaCl} + 4 \text{CO}_2 + 7 \text{O}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ $4 \text{Zn(OC)}_2 + 2 \text{Zn(HCO}_3)_2 + 8 \text{NaOH}$ En algunos casos: $\text{Zn(OC)}_4$
e) Debajo de medios salinos: 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 CO <sub>2</sub> .	$\text{NaCl} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ $\text{Cl}^- + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{HCl}$ $\text{Zn(OH)}_2 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
f) Efectos del SO <sub>2</sub> de la atmósfera: 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.	$\text{Zn}^0 + \text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{ZnSO}_4$
g) Dilución de la pátina de zinc: La dilución de la capa final de protección (pátina de zinc) se realiza en ambientes con contenidos altos de SO <sub>2</sub> .	$2 \text{Zn(HCO}_3)_2 + \text{O}_2 + 2 \text{SO}_2 \rightarrow 2 \text{ZnSO}_4 + 4 \text{CO}_2$ $+ 2 \text{H}_2\text{O}$

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 siguiente se presentan los resultados comparativos de adherencia de barras de refuerzo 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.

Tabla 6.5.2.3

Ensayo de Adherencia en Barras de Refuerzo AZA para Hormigón

Barra	Probeta Tipo	Resistencia al Arrancamiento kgf/cm <sup>2</sup>	
		A63-42H	A44-28H
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 que es un método de evaluación particular por caso, pero 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 soporte, 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, estanqueidad y aislamiento.

Se entenderá como capacidad de soporte de carga a los requerimientos y exigencias que debe cumplir un elemento

estructural para que no llegue a fallar, 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 o gases.

El fuego originado por los incendios se puede producir en lugares abiertos o cerrados, siendo estos últimos los más severos ya que en ocasiones pueden llegar a alcanzar temperaturas superiores a 1.000°C, como es el caso de los túneles y pasillos que son considerados como espacios confinados.

Es un fenómeno que puede llegar a 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 los incendios reales del cuadro siguiente.

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)	150.000.000 (estimado)

Hay que 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.

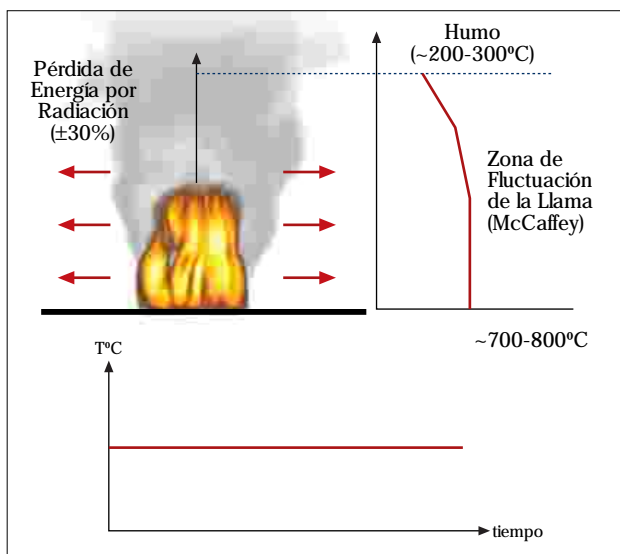


Figura 6.6.1.1: Esquema de un Incendio en Espacios Abiertos.

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 la existencia de elevadas temperaturas que generan incendio a grandes distancias del foco.

En los incendios en 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, 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 es la pendiente que pueda tener la calzada, ya que una mayor pendiente genera un mayor flujo de calor, afectando la estructura y la velocidad de propagación de las llamas y del humo que es rapidísima, lo que dificulta 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 tengan curvas, estas aumentan localmente la carga de fuego favoreciendo el descascamiento del hormigón (spalling) o la pérdida total del recubrimiento en algunas ocasiones, exponiendo aún más las armaduras al fuego, ahora en forma directa.

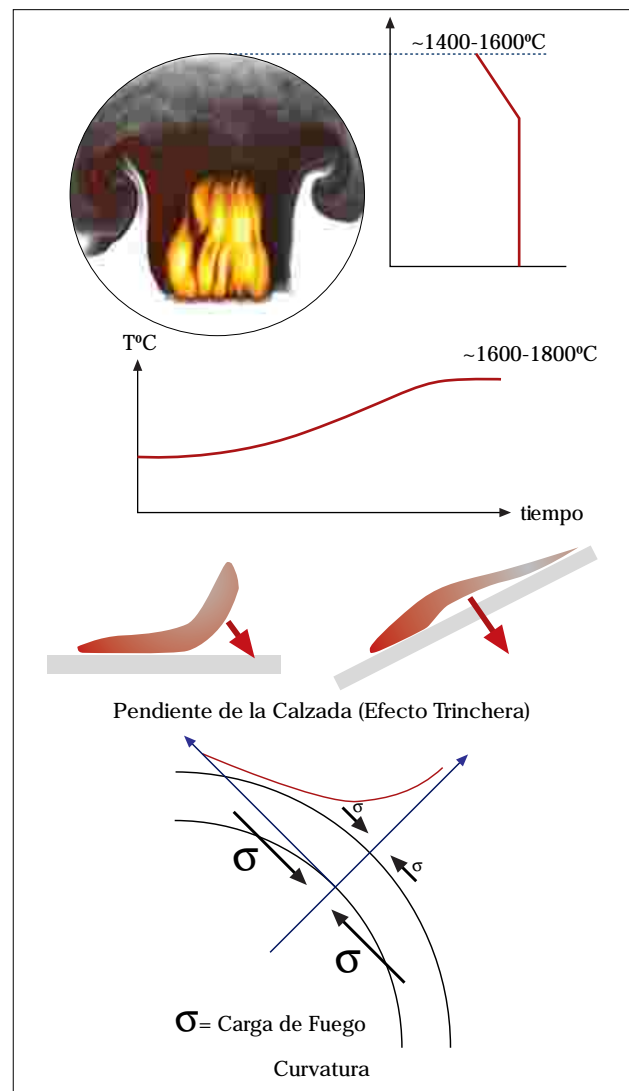


Figura 6.6.1.2: Esquema de un Incendio en un Espacio Confinado.

La interacción de la llama y el humo es un proceso sumamente complicado en 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, por otra parte las llamas se deforman con la ventilación relativa, que a ciertos niveles de ventilación las alargan de una manera importante, aumentando la velocidad de propagación y los flujos de calor, tal como se representa en las figuras esquemáticas siguientes.

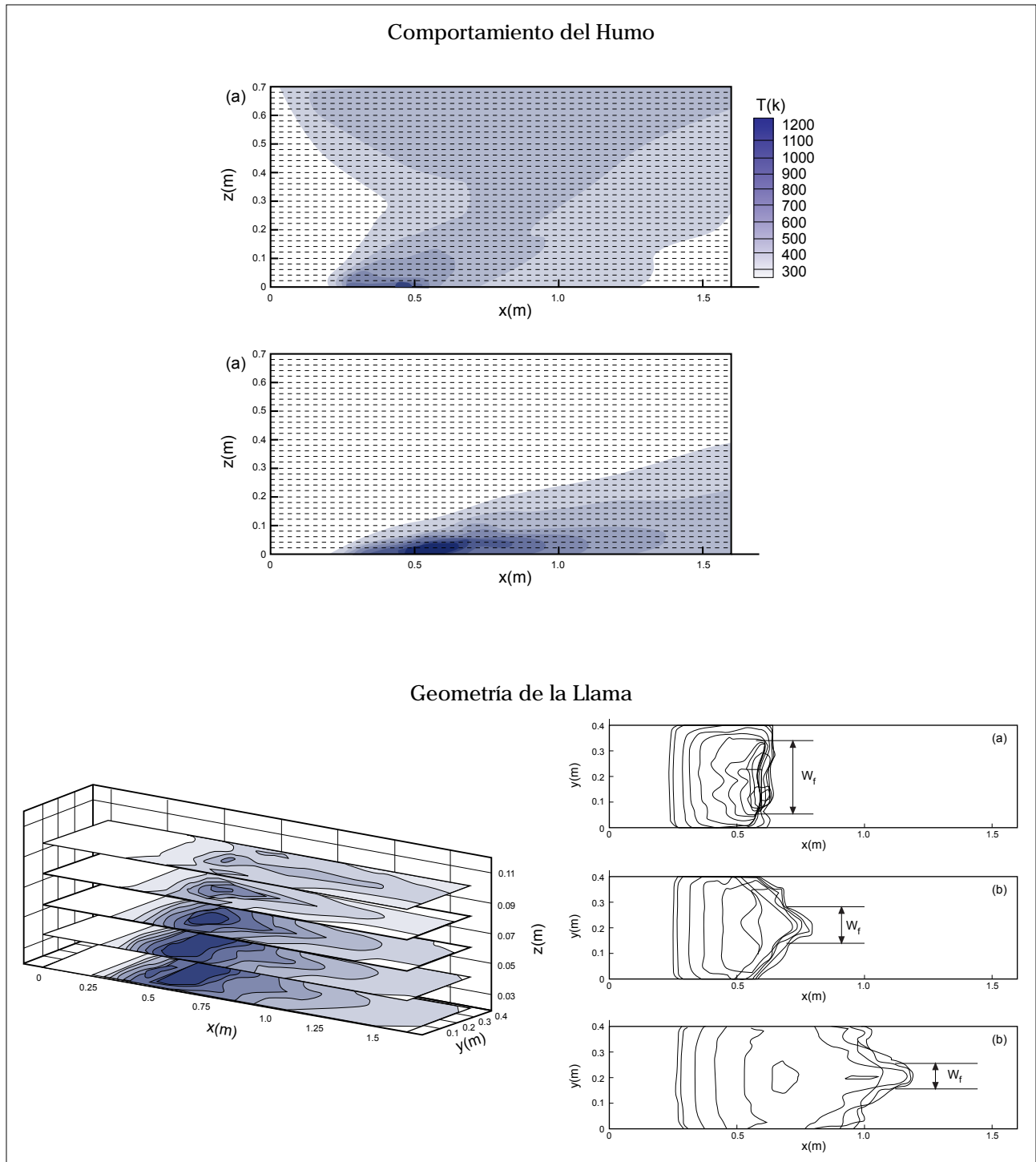


Figura 6.6.1.3: Comportamiento del Humo y Geometría de la Llama en un Incendio en un Túnel o Pasillo.

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 que reúne los fenómenos físicos que se producen para definir criterios generales, es decir estandarizan el incendio y el impacto a partir de un patrón de pruebas de laboratorio realizadas en un horno, de acuerdo a alguna de las normas siguientes; NCh 935, ISO 834, ASTM E-119, BS-476, etc.

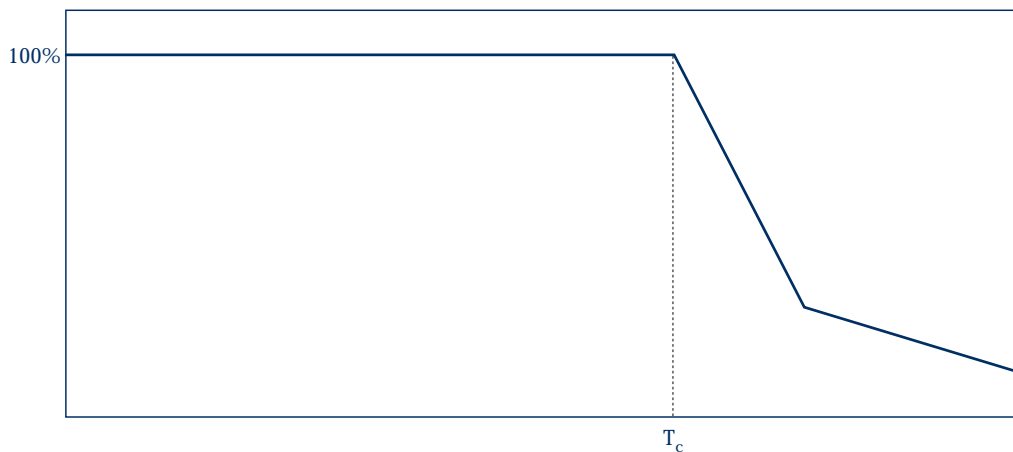
La mayoría de estas guías de diseño consideran que debido a la baja conductividad térmica del hormigón, la resistencia

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 que es 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

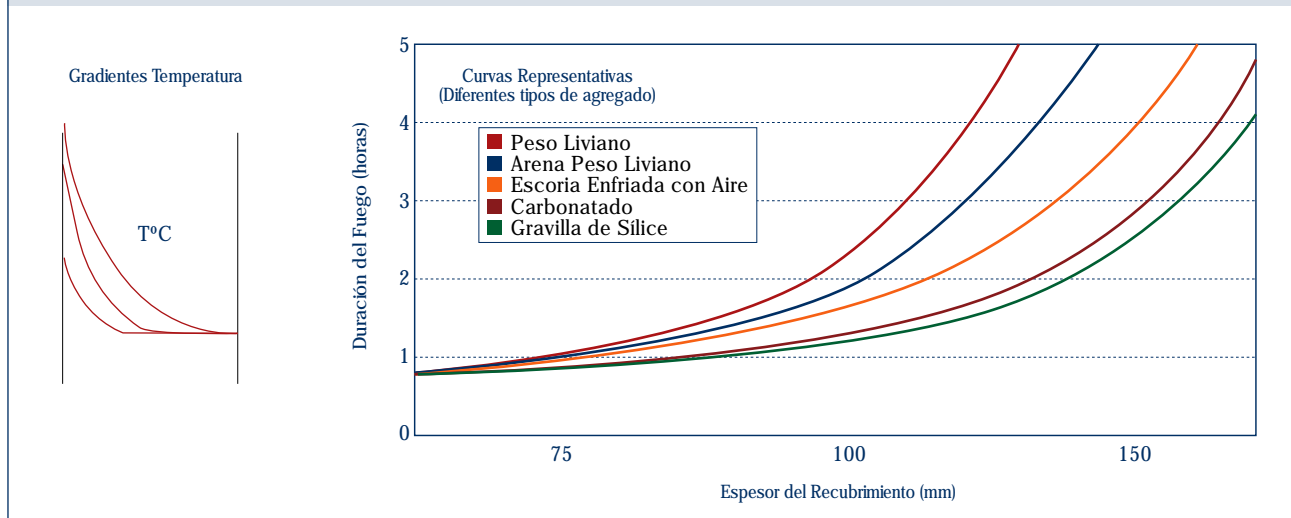
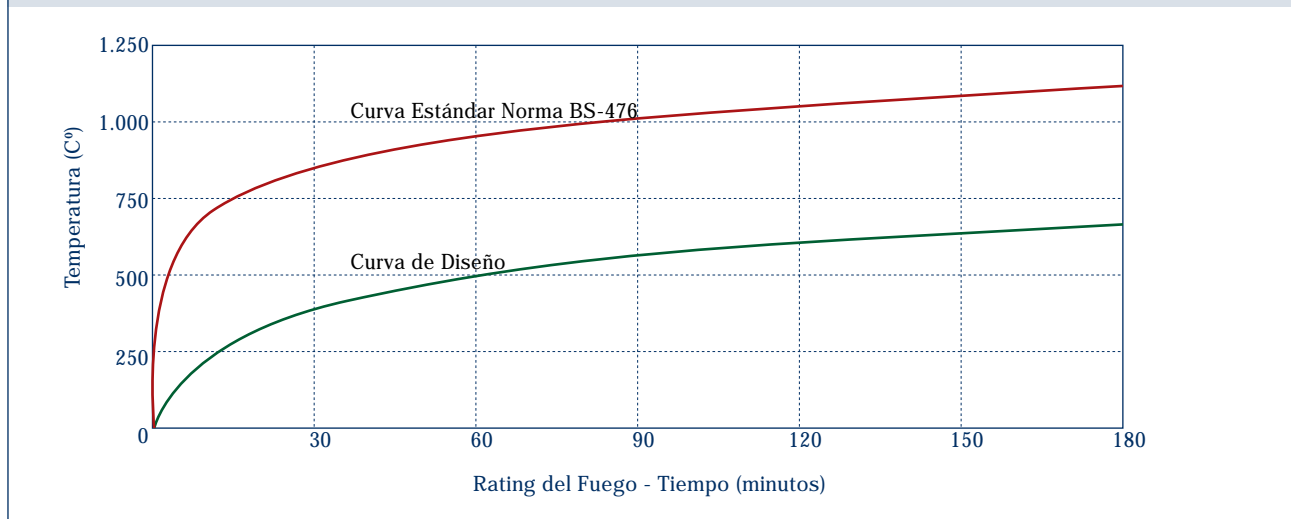


Gráfico 6.6.2.3

Curva Estándar y de Diseño de Resistencia al Fuego



Es difícil incluir todas las ocurrencias en el caso del fuego solo 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, que para columnas es 140°C y 645°C respectivamente, de acuerdo a si los elementos estarán o no sometidos a cargas, como es el caso de vigas con carga

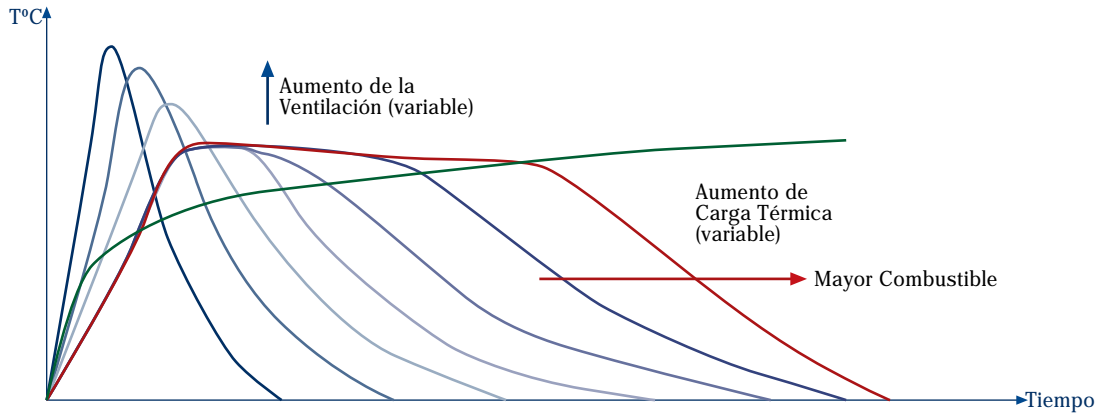
cuya temperatura crítica es de 425°C y sin carga de 530°C, el comportamiento del humo y la ventilación, la carga de fuego y el caso de incendios generados producto de un sismo, entre otras variables.

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 de él, que tienen como objetivo averiguar la semejanza entre un incendio real y la curva estándar, en

función de la introducción de otros parámetros como la carga térmica y la ventilación, así como se muestra en el gráfico que sigue.

**Gráfico 6.6.2.4**  
Curvas Paramétricas de un Incendio vs. Estándar

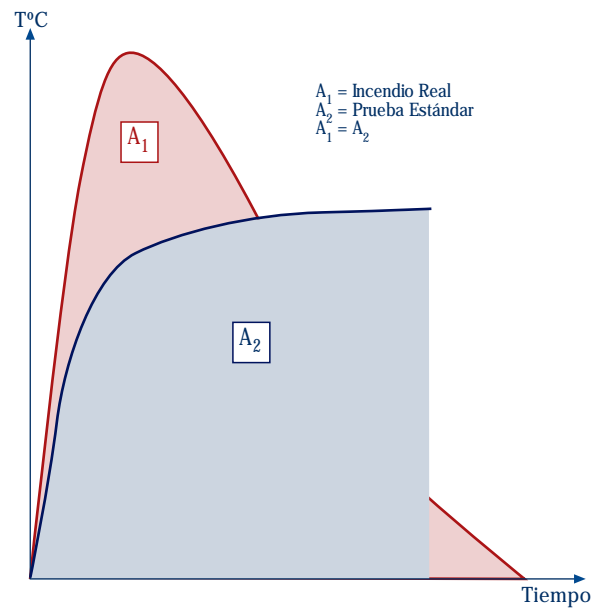


Estas curvas comparables con el estándar conllevan inevitablemente a cargas térmicas comparables, postula que el flujo de calor es proporcional a la temperatura, es decir depende solamente de la diferencia de temperatura entre el gas y el elemento estructural, y acepta como válido integrar el área bajo 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 solo puede dar resultados aproximados.

Por otra parte, las temperaturas no son la mejor manera de describir un incendio en particular, ya que el área que queda bajo la curva puede servir como indicador de severidad del siniestro, pero también puede llevar a resultados incorrectos dado que en general:

Altas temperaturas + Corto tiempo  $\neq$  Bajas temperaturas  
+ Largo tiempo

**Gráfico 6.6.2.5**  
Carga Térmica Total de un Incendio vs. Estándar



### 6.6.3 Carga Térmica y Flujo de Calor

Este concepto comienza a evolucionar a partir de la década de los 80 y es en sí un cambio de la metodología tradicional existente, al admitir que el fuego no se puede describir de una manera estándar, a que las temperaturas deben ser remplazadas por flujos de calor, dado que los cuerpos se calientan por este medio siendo la temperatura una manifestación,

y que 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.

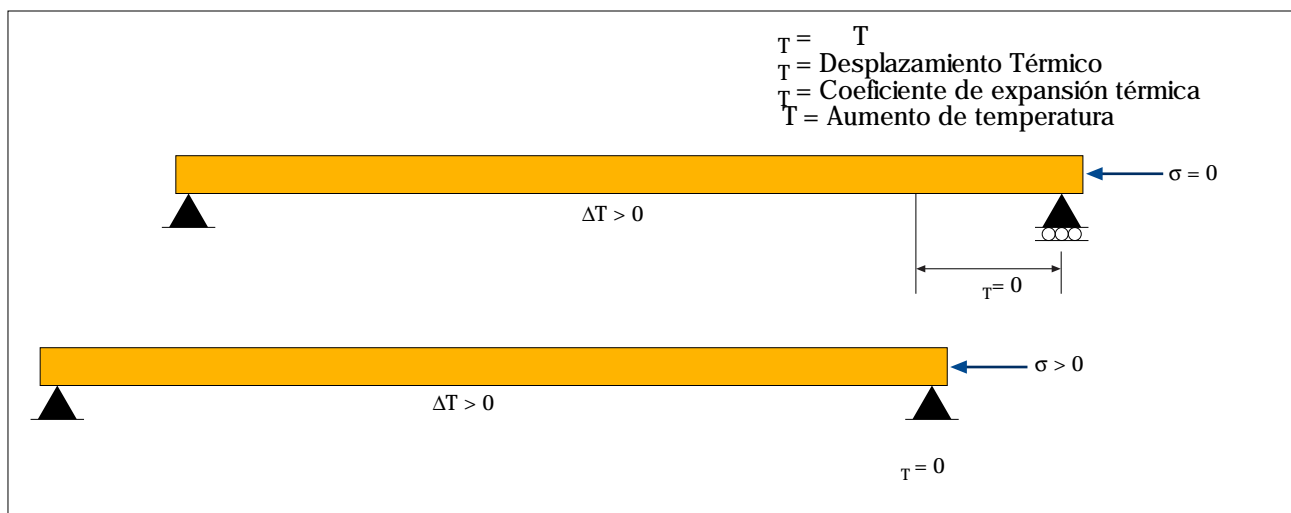


Figura 6.6.3.1: Ensayo de Cardington de Expansión Térmica.

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, que rompe la relación entre las pruebas en el horno y el incendio real y por lo tanto cambia 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 una parte del edificio del Pentágono, en septiembre del año 2001, se origina un nuevo

precedente que confirma que las metodologías comúnmente aplicadas no son eficientes, lo que promueve una revisión importante de los métodos y normas de diseño existentes contra incendio 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 representan en las figuras 6.6.4.2 y 6.6.4.3 a continuación, en donde el incendio generalizado en espacios no completamente confinados admite una temperatura uniforme 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

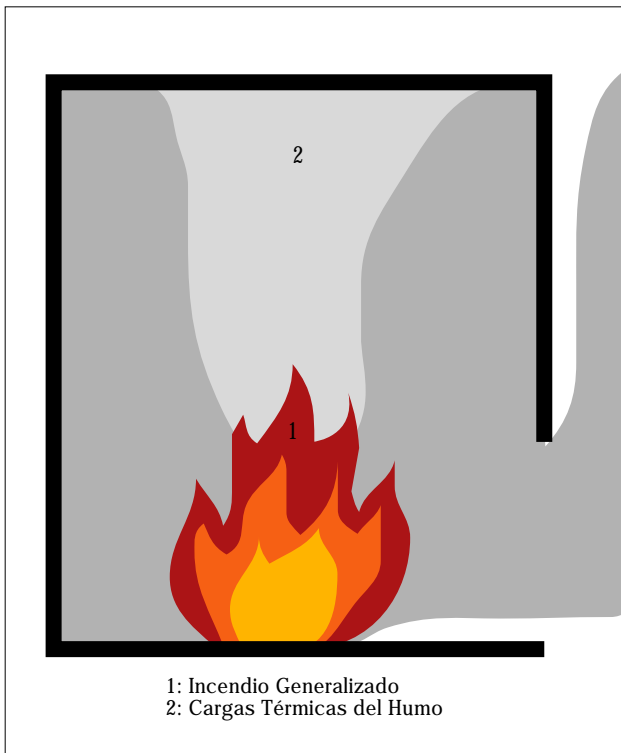


Figura 6.6.4.1: Esquema de Incendio Generalizado y Cargas Térmicas del Humo.

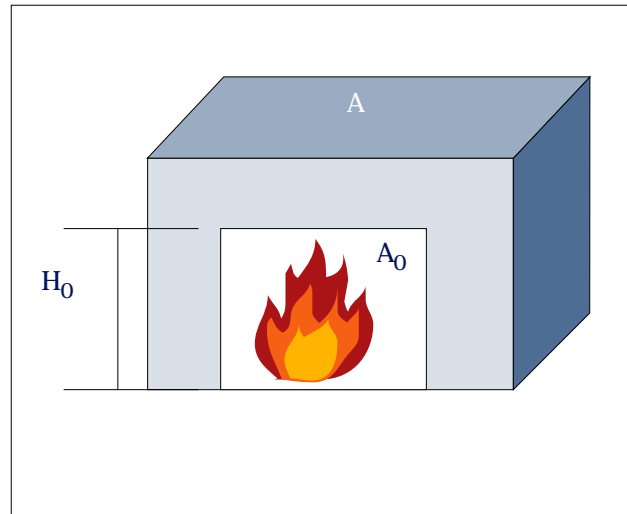


Figura 6.6.4.2: Esquema de Incendio Generalizado y Ventilación.

Para el caso de compartimientos profundos o relativamente confinados, como son las cajas escala, túneles y pasillos, la norma SFPE-04 reconoce que las temperaturas no tienen un comportamiento similar y no son necesariamente homogéneas, y que en ciertas zonas las llamas llegan a tocar directamente los muros o los cielos, lo que crea un elemento nuevo que es necesario establecer directamente de datos empíricos que son 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 podrá variar según el radio de expansión, cuya representación general se entrega en los esquemas de las figuras a continuación.



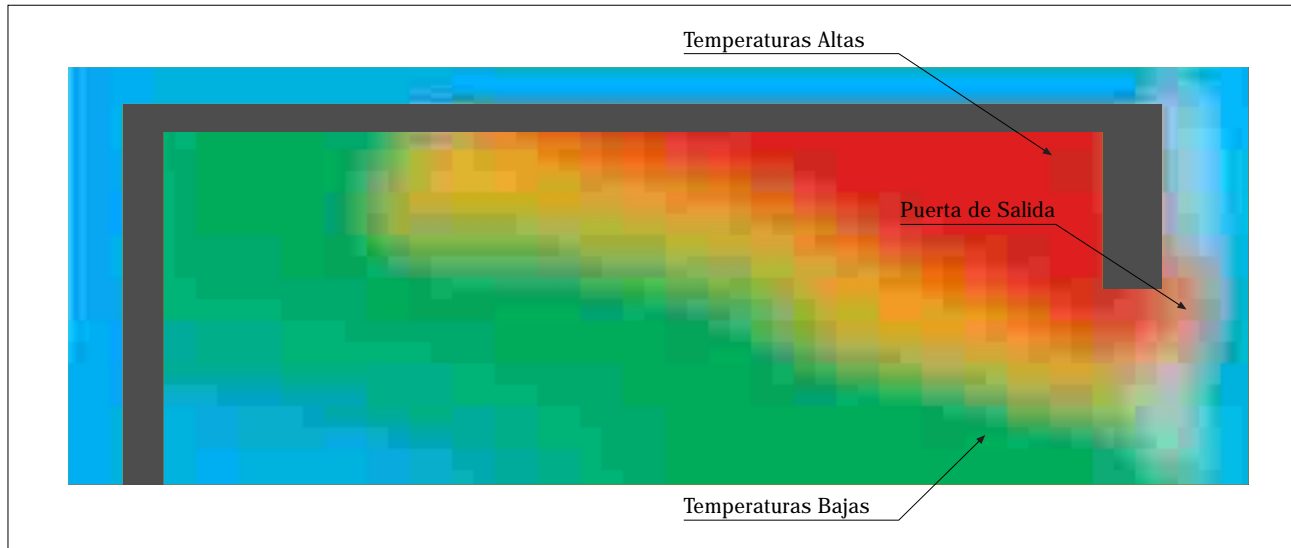


Figura 6.6.4.3: Comportamiento de las Temperaturas en Espacios Confinados.

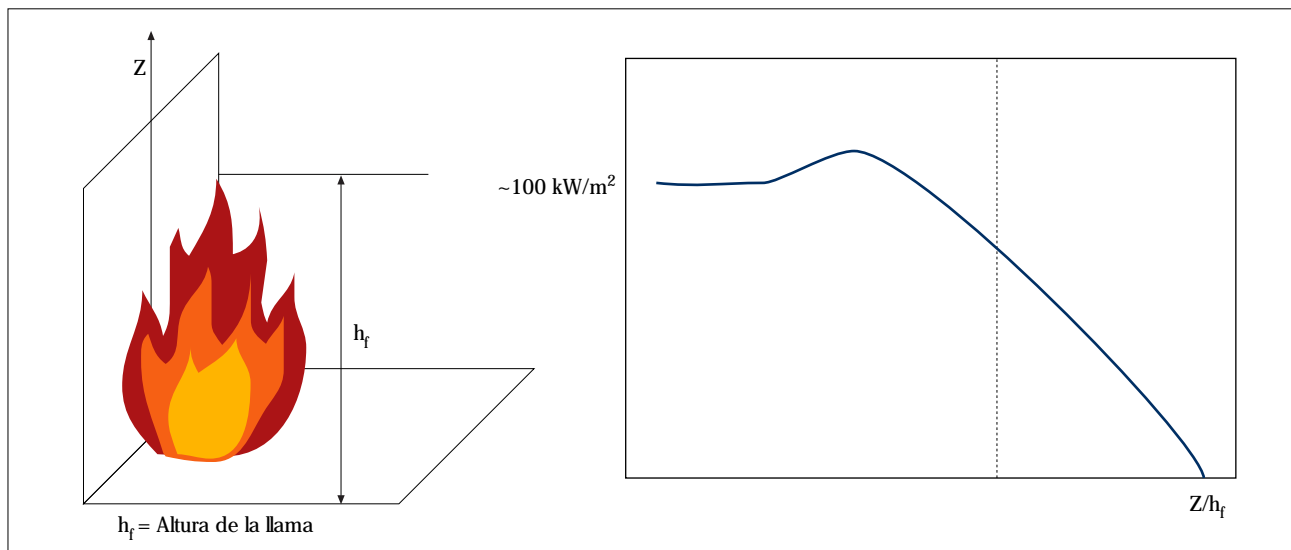


Figura 6.6.4.4: Ejemplo de un Flujo de Calor de la Llama

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 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.

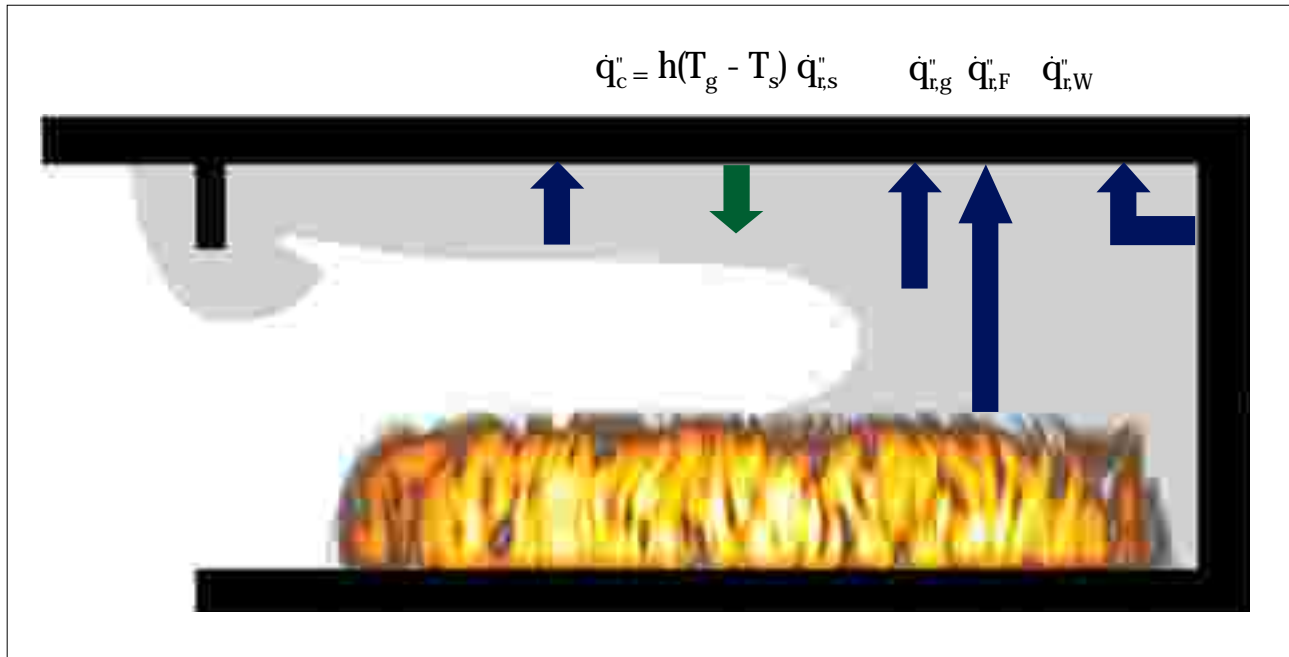


Figura 6.6.4.5: Esquema de los Elementos que constituyen la norma SFPE-04.

#### 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

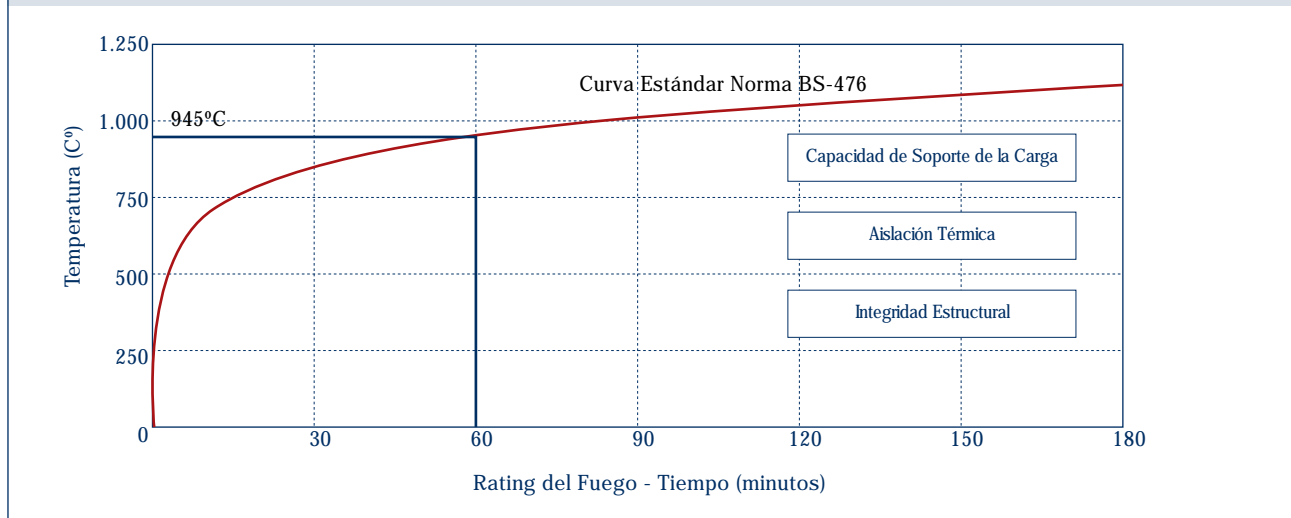
- No presenta una metodología bien definida.
- Su uso y aplicación requiere capacitación adecuada.
- Mantiene la confusión entre temperaturas y flujos de calor.

- No permite una evaluación por caso, como si lo es una evaluación en base a desempeño.
- Se ve restringida para 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 a 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 siguiente.

**Gráfico 6.6.5**  
**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 embebidas.
- El nivel de temperatura y rating de fuego.
- La calidad y características de los materiales componentes del hormigón (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<sup>0</sup>/C que varía según el grado o calidad del concreto, la temperatura tiene un comportamiento de reducción hacia el centro del elemento de hormigón, tal como se ilustra en las figuras siguientes:

Gráfico 6.6.5.1.1

Variación de la Conductividad del Hormigón a Diferentes Temperaturas

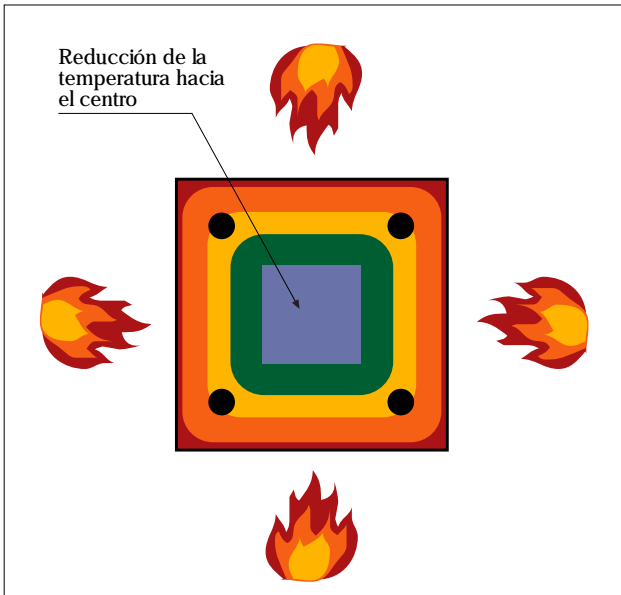
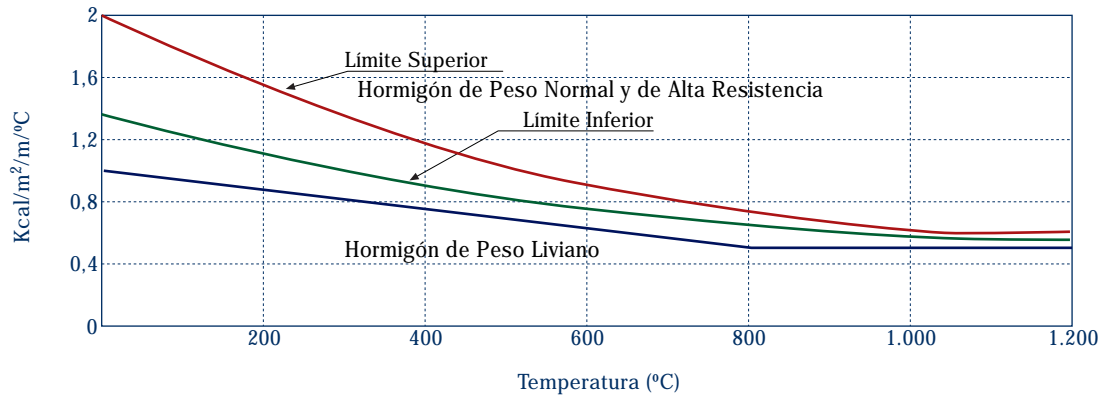


Figura 6.6.5.1.1: Ejemplo de la Temperatura del Hormigón en una viga.

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 y gráficos en las páginas siguientes.

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 a 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 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

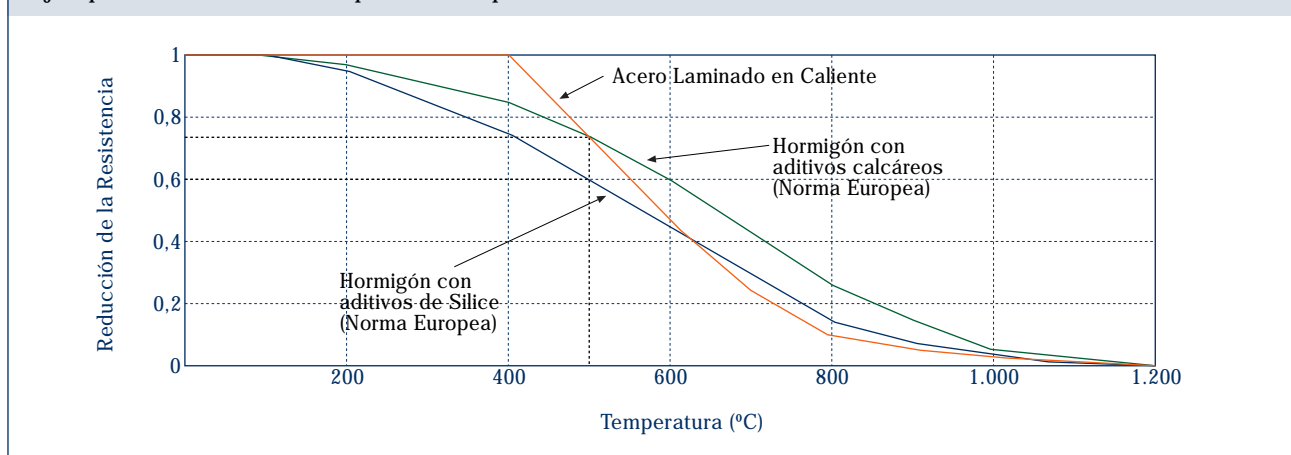


Gráfico 6.6.5.1.3

Resistencia Relativa a la Compresión vs. Deformación

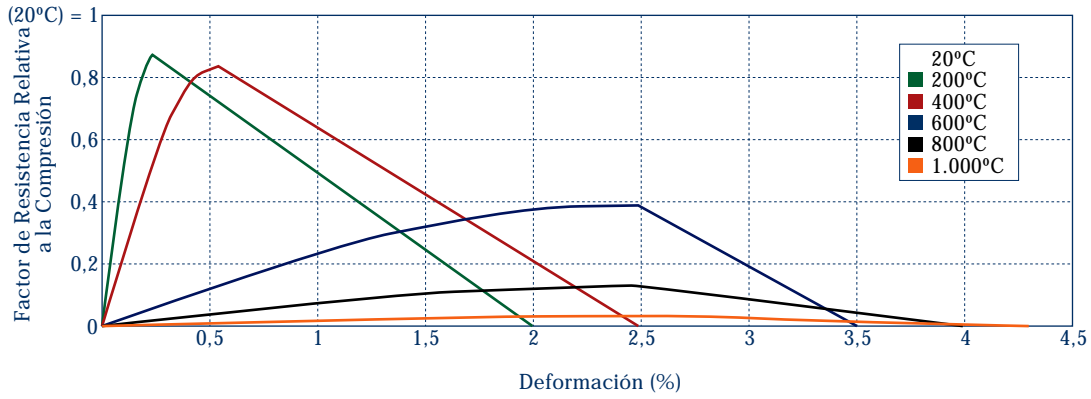


Gráfico 6.6.5.1.4

Temperatura, Rating del Fuego y Capacidad de Resistencia de una Viga

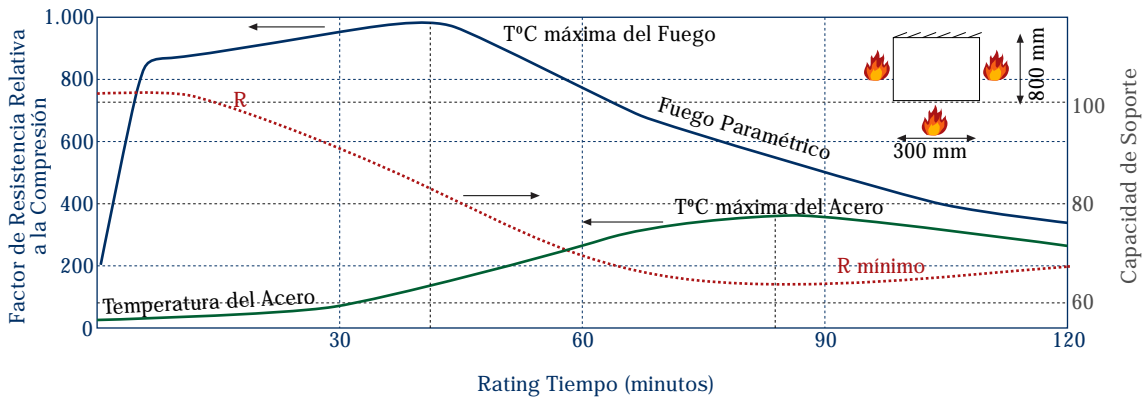
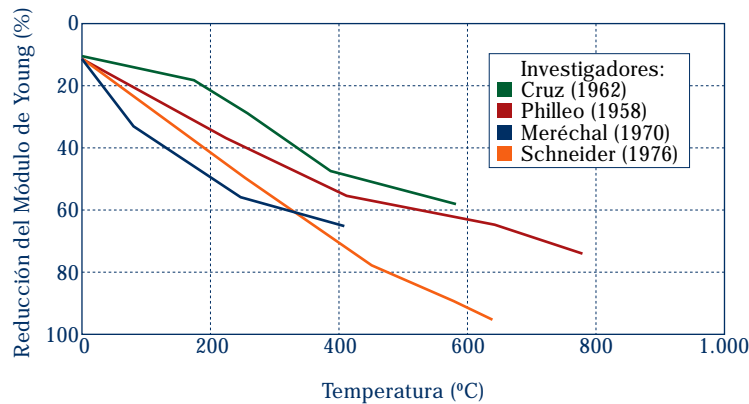


Gráfico 6.6.5.1.5

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 respecto a las propiedades mecánicas del hormigón.

En primer lugar, debido a los cambios físico-químicos que se producen en la pasta de cemento y en los agregados y a la incompatibilidad térmica que existe entre ellos, es de vital importancia considerar la compacidad y trabajabilidad del hormigón y la dependencia de los tipos y mezcla de los agregados que tenga.

Por otra parte, el deterioro de 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 siguientes se presentan algunos ejemplos que explican los conceptos expuestos anteriormente.

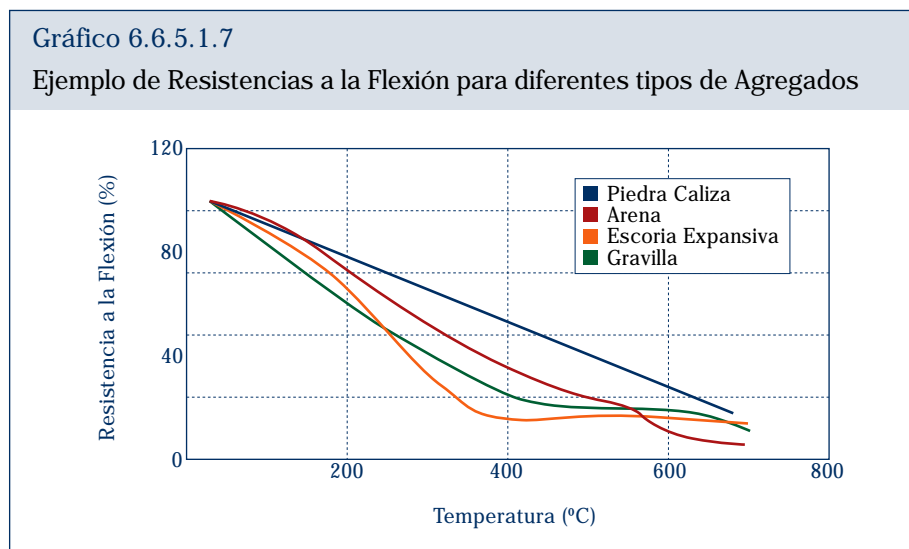
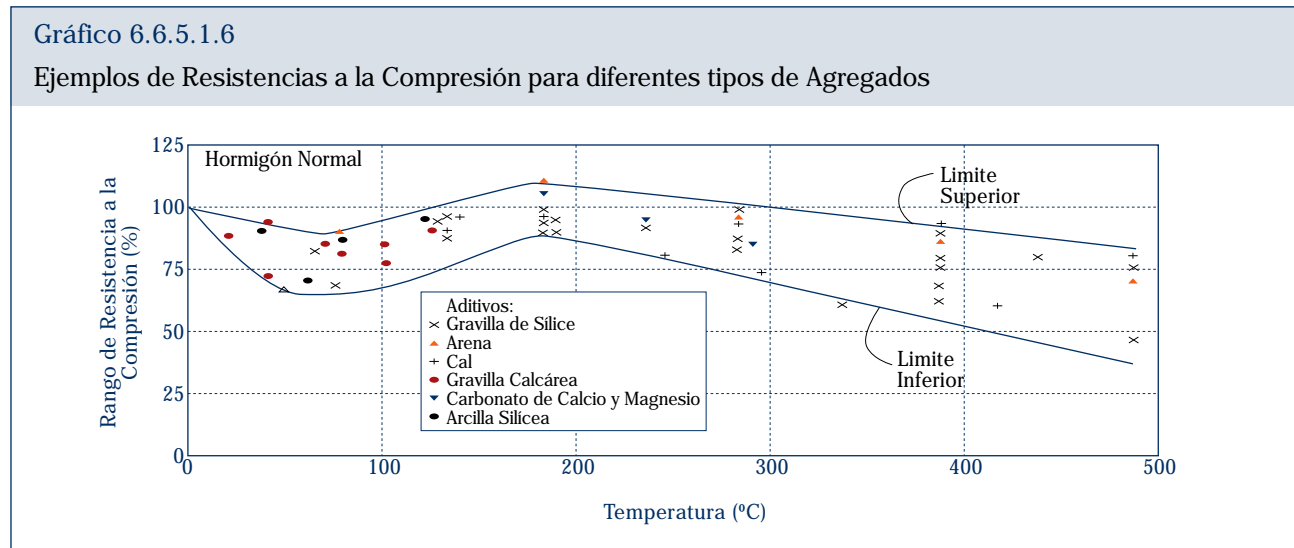


Gráfico 6.6.5.1.8

Ejemplos de Expansiones Térmicas de diferentes tipos de Agregados

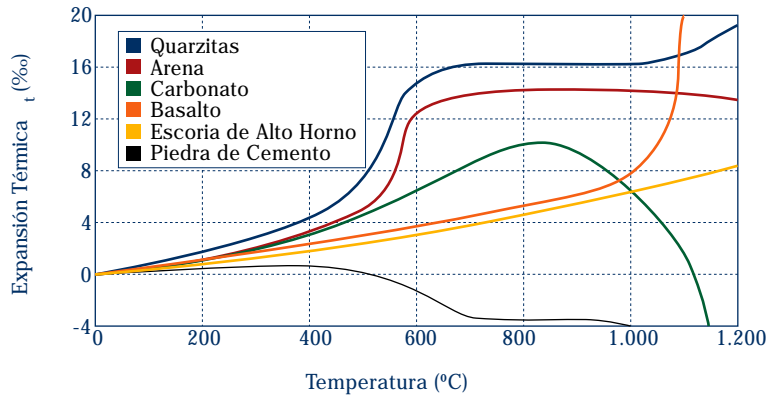


Gráfico 6.6.5.1.9

Factor de Reducción de la Resistencia para diferentes tipos de Acero de Refuerzo

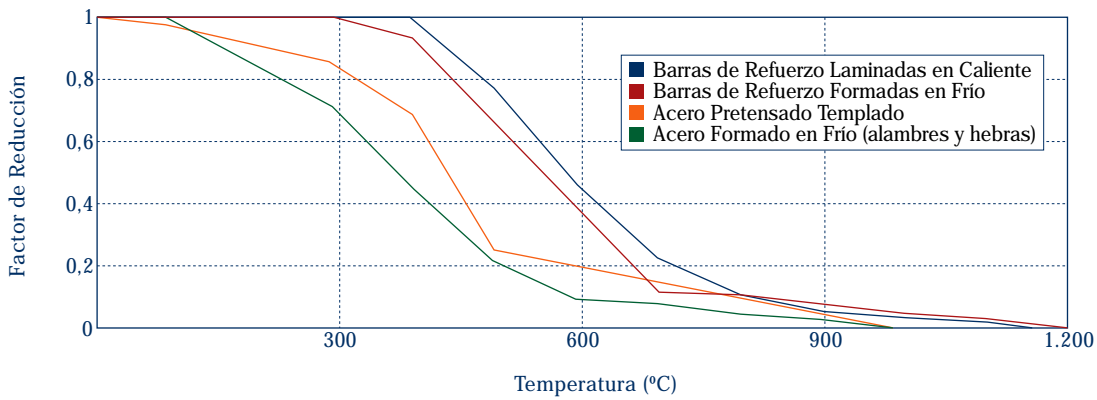
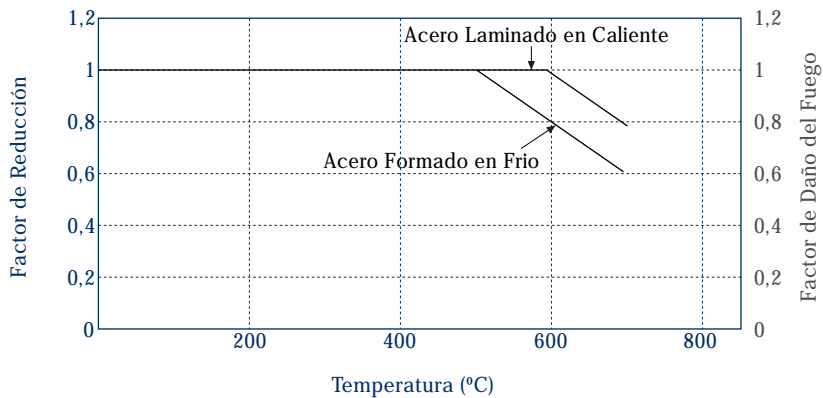


Gráfico 6.6.5.1.10

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 a 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 al 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 siguiente, 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 permite trabajar en forma independiente del diámetro que tengan ellas.

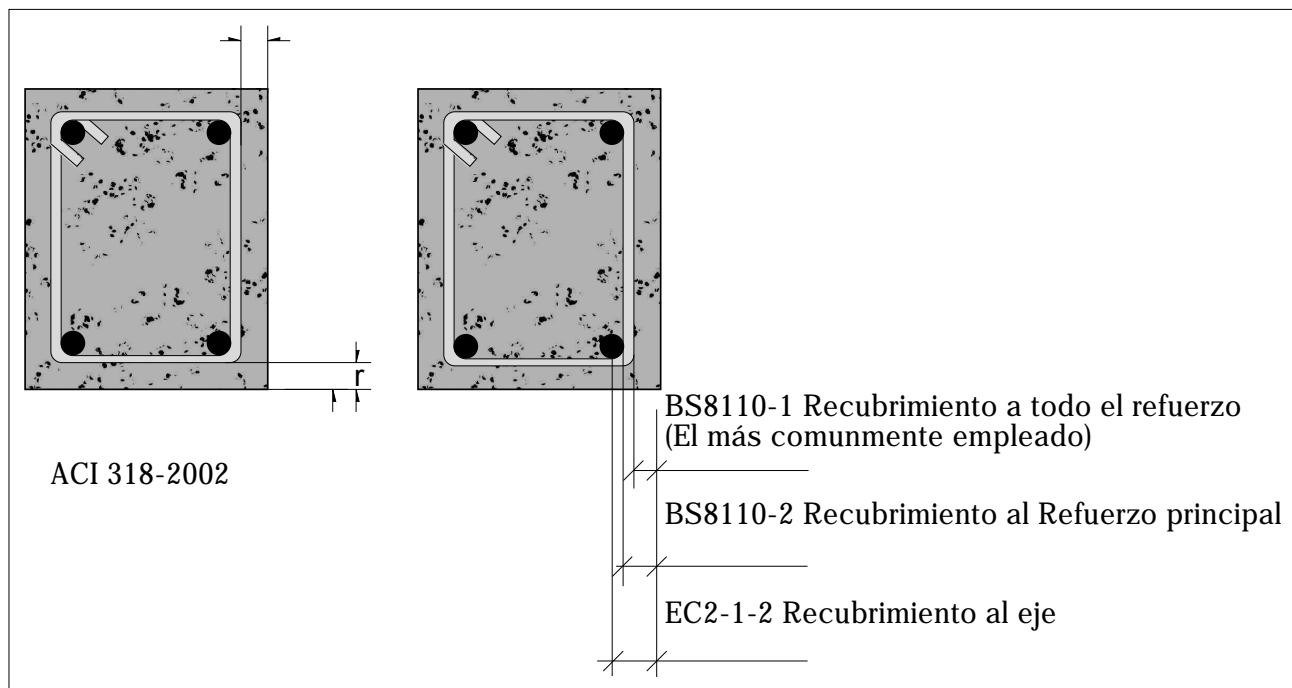


Figura 6.6.5.2.1: Definición del espesor de recubrimiento.

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 siguiente, 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 permanece con una baja temperatura, lo que permite que el factor de daño del hormigón y del acero de refuerzo en esas zonas sea insignificante o nulo.

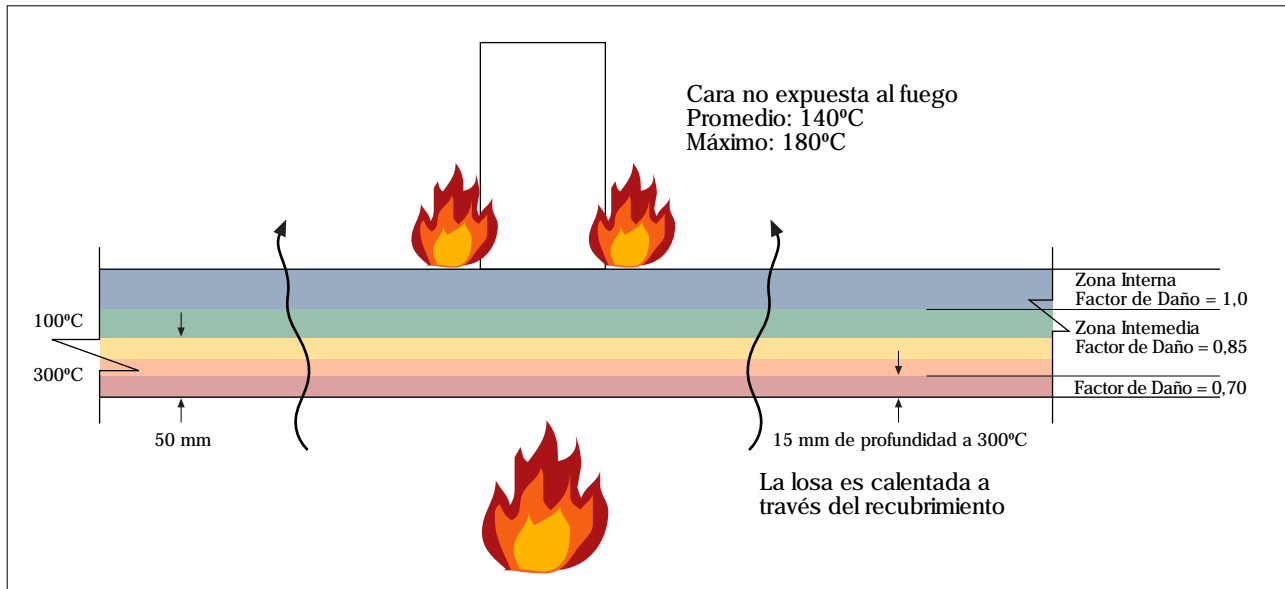


Figura 6.6.5.2.1: Definición del espesor de recubrimiento.

b) Resistencia al fuego o rating

En las tablas a continuación se presentan los períodos de resistencia al fuego dispuestos en minutos por el documento europeo aprobado B2000, que lo establece en función del

uso y altura de los edificios, y aquellos requeridos en Chile por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción que lo hace 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 (minutos)

Uso del Edificio	Altura del Edificio (m)			
	< 5	< 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

Periodos de Resistencia al Fuego NCh935/1.Of84 (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.

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.

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.

Como complemento a lo anterior, en los dos gráficos siguientes 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

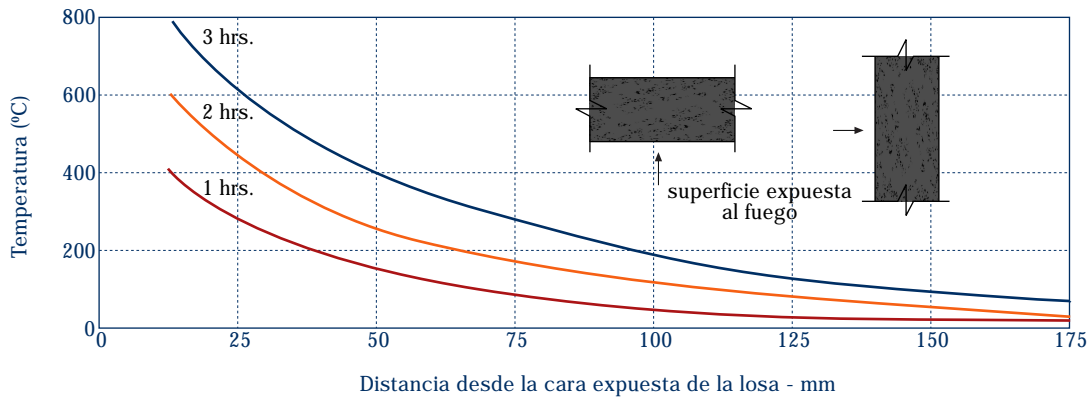
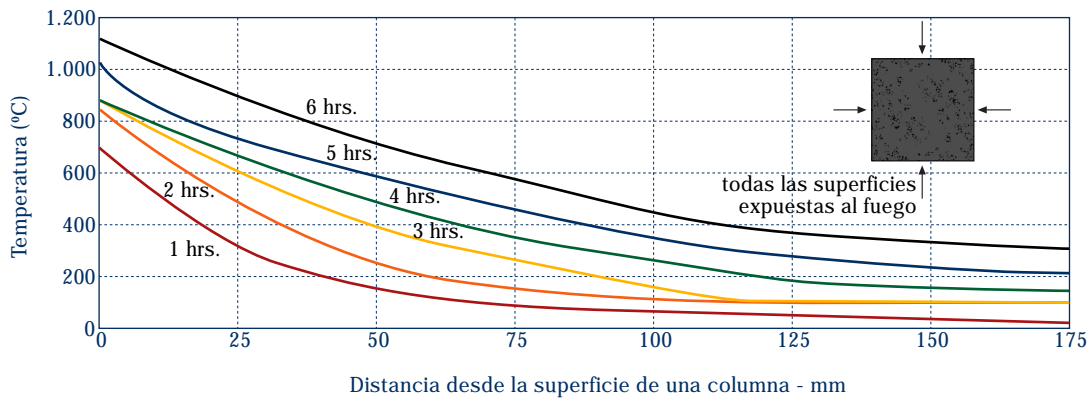


Gráfico 6.6.5.2.2

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)						Columnas
	Vigas		Losas		Viguetas de Piso		
	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 deben considerar descascaramiento (spalling)

Otro método de 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 que resulta 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 ( ) =

$$\frac{\text{Carga o momento aplicado en el estado límite del fuego}}{\text{Resistencia a 20°C}}$$

Para el caso de losas lo hace considerando su espesor, si la armadura es en uno o dos sentidos y la relación entre su ancho y largo. En las tablas siguientes 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
	= 0,2	= 0,5	= 0,7	= 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	300/45	300/45	175/35
R180	300/25	400/38	450/45	230/55
	250/40	350/45	350/57	
	350/35	450/40	450/51	
R240	350/45	350/63	450/70	295/70
	400/61	450/75		

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 oficiales chilenas 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.

## 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, 2002
- 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
- Design for Avoiding Damage due to Carbonation Induced Corrosion: I. Parrot CEN TC 104, Panel 1
- 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
- Initiation Period of Corrosion Steel in Concrete: Editorial Rilem Report 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
- NCh 170.Of85: Instituto Nacional de Normalización (INN)
- NCh 204.Of77: Instituto Nacional de Normalización (INN)
- NCh 935/1 Of.84: Instituto Nacional de Normalización (INN), Prevención de Incendios en Edificios
- 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.

Se recomienda exigir al proveedor de acero de refuerzo para hormigón, la entrega oportuna del Certificado de Calidad 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 predeterminadas o imprevistas, siendo las juntas predeterminadas 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).

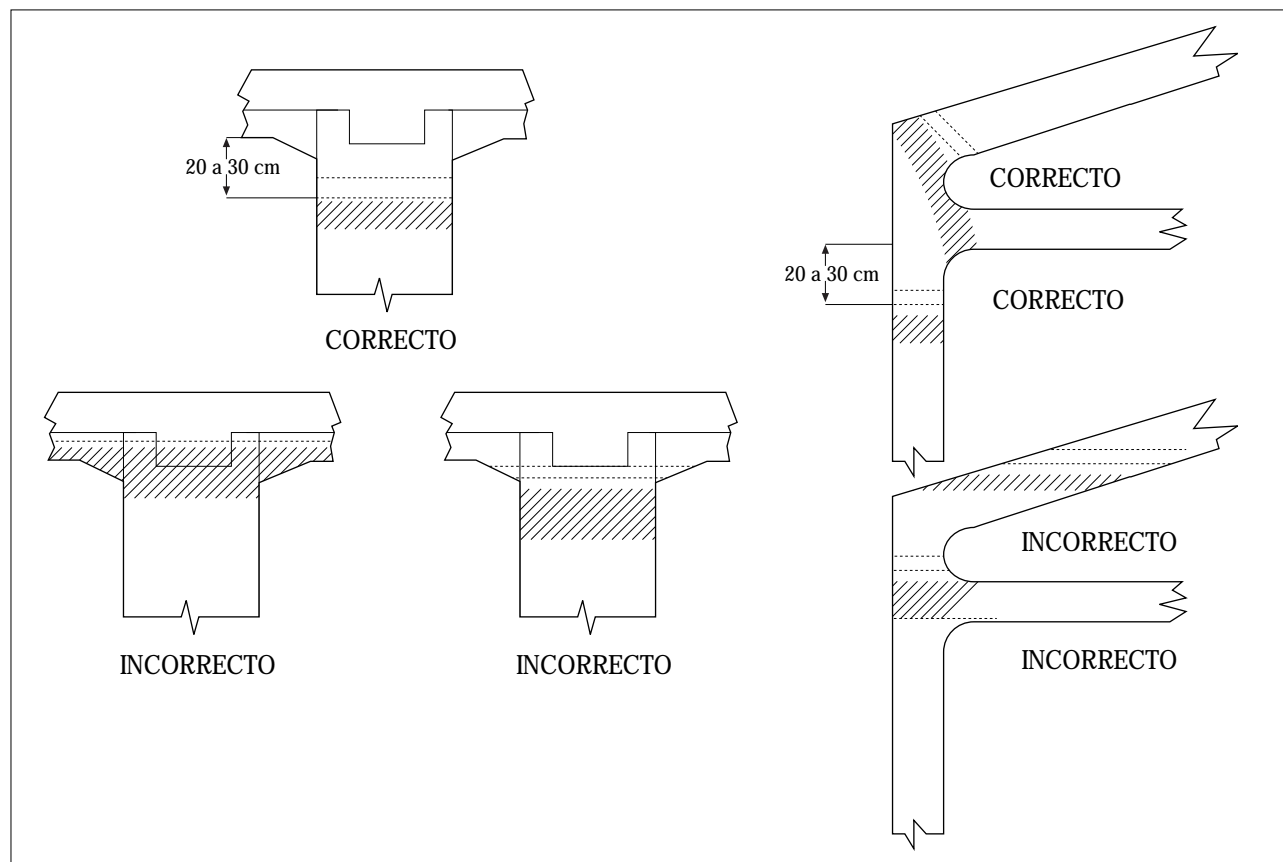


Figura A.1.3: Ubicación de las Juntas de Hormigonado (NCh170.Of85)

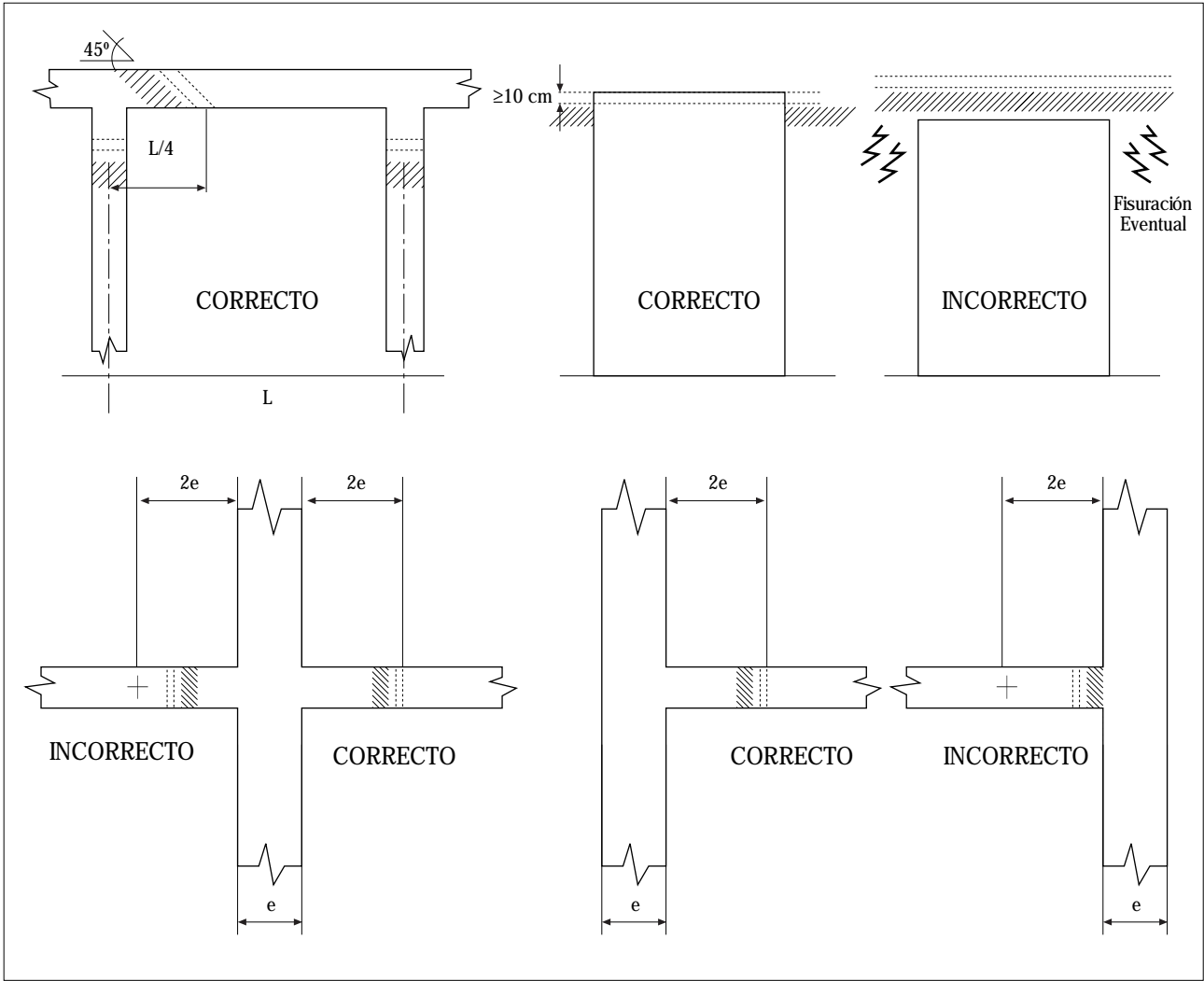


Figura A.1.3b: Ubicación de las Juntas de Hormigonado Losas y Vigas, Vanos de Muros y Cruces y Encuentros de Vigas

## A.1.4 Procedimientos de Evaluación para la Inspección

### 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.

## 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.

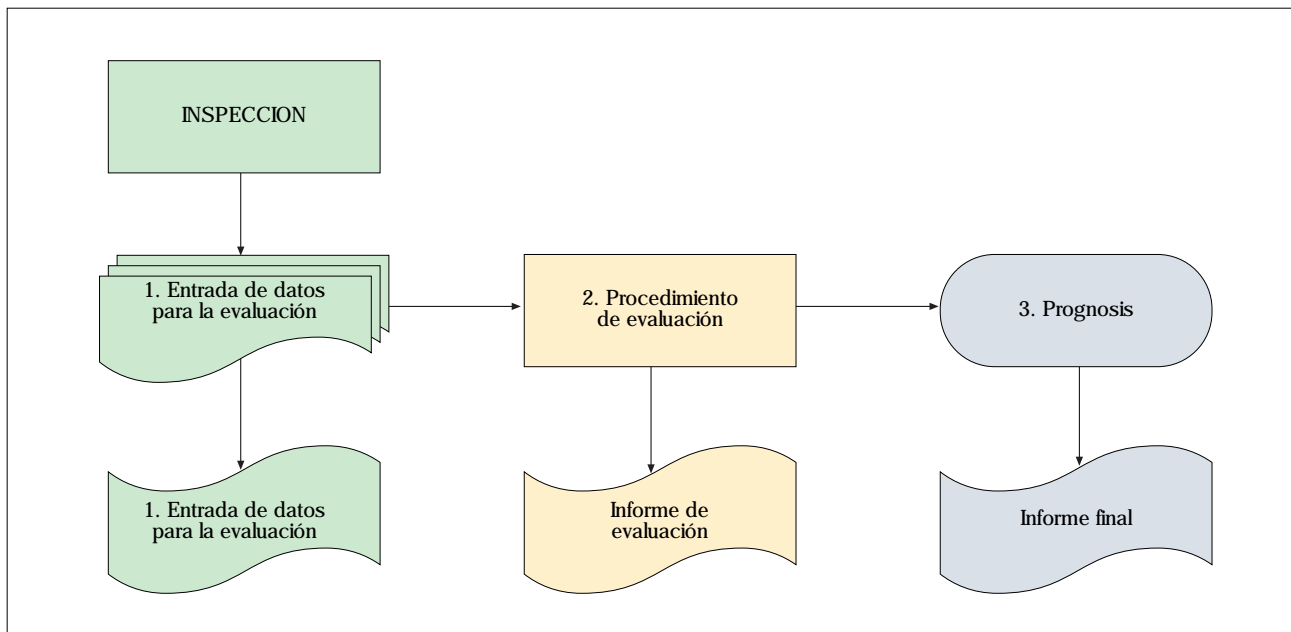


Figura 2.1: Esquema Resumido de las Etapas de Inspección



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.

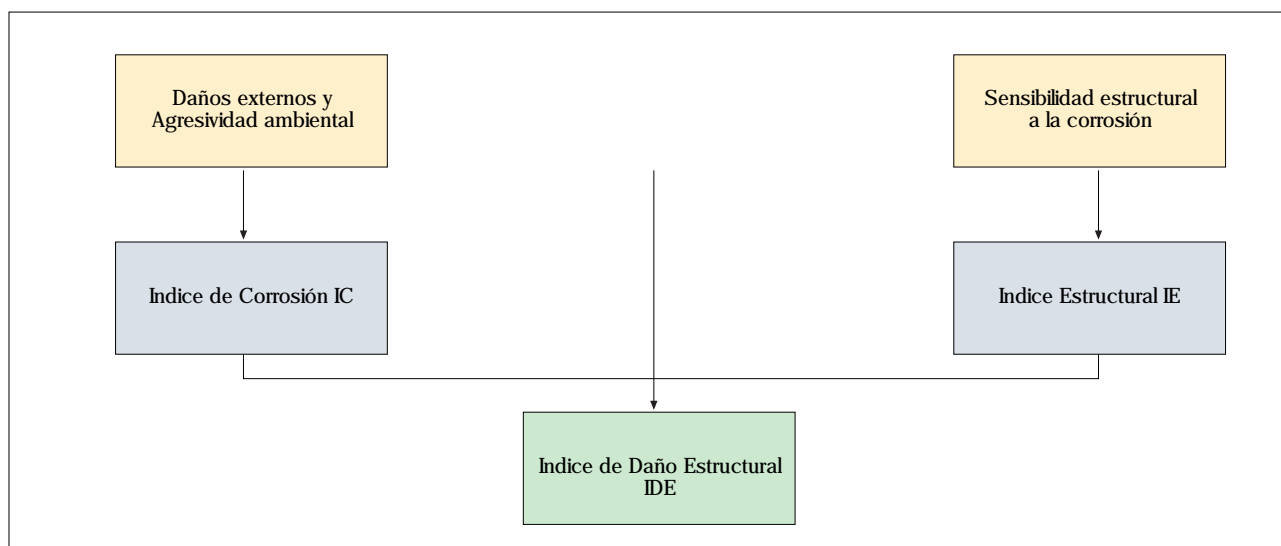


Figura 2.2: Dependencia del Índice de Daño Estructural IDE

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 a el 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 2.3 a continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso completo de evaluación simplificada.

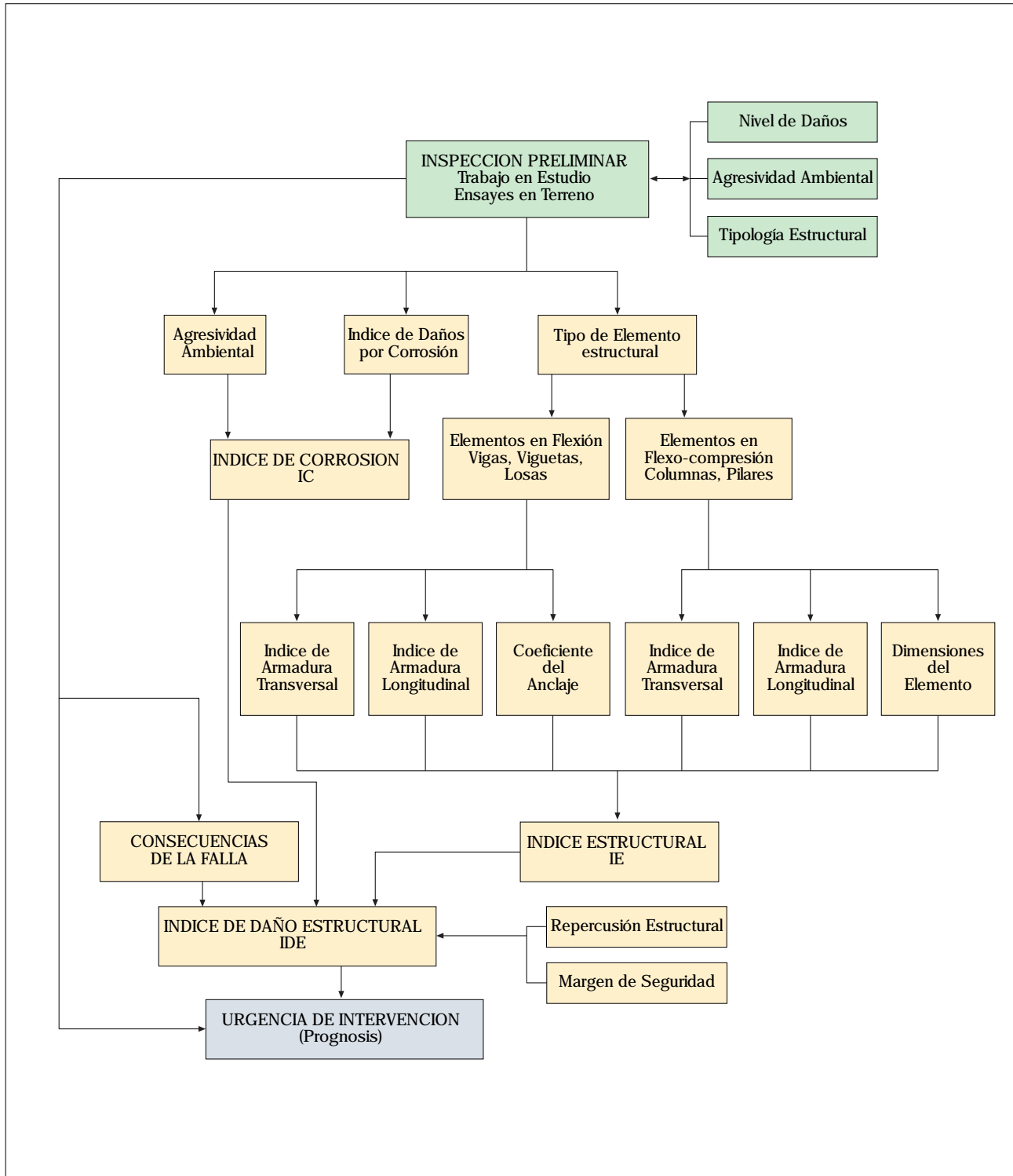


Figura 2.3: Procesos que se deben Cumplir para la Evaluación Simplificada

## 2.1 Fases de la evaluación simplificada

De acuerdo al diagrama 2.3, 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.

### 2.1.1 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.

#### 2.1.1.1 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.

#### 2.1.1.2 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 2.1.1.1 anterior.

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,
- e) Los valores de la intensidad de corrosión,  $I_{CORR}$ , y
- f) Los valores de la resistividad eléctrica del hormigón,

#### 2.1.1.3 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  $I_{CORR}^{rep}$  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).

## 2.2 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  $I_{CORR}$ , 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.

### 2.2.1 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)

#### 2.2.1.1 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.

#### 2.2.1.2 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 2.2.1.1 siguiente.

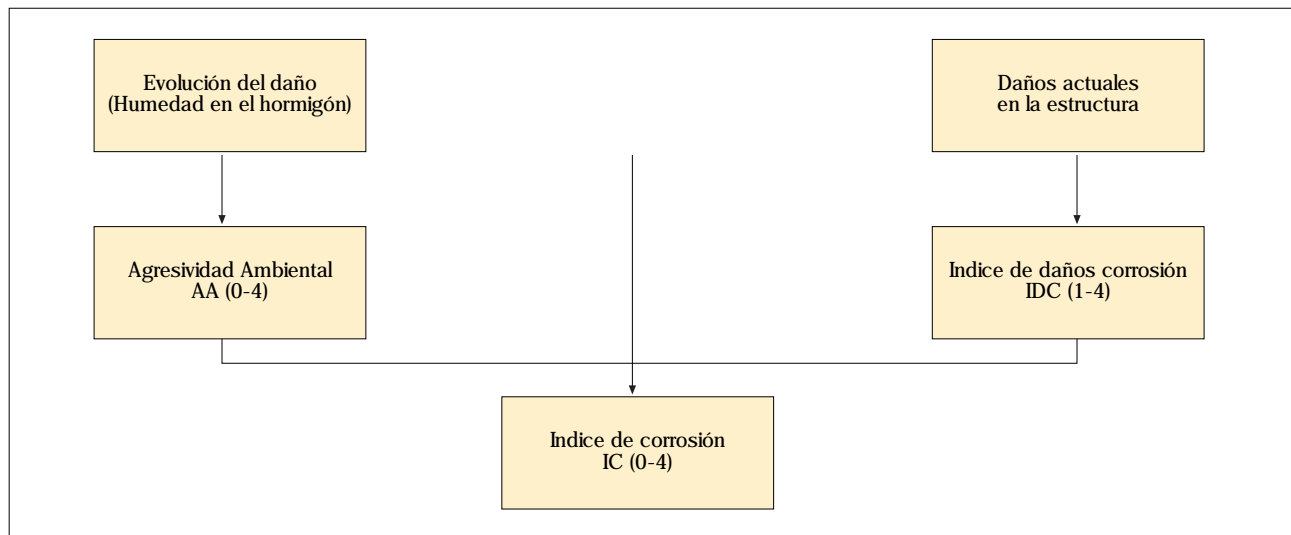


Figura 2.2.1.1: Cálculo del Índice de Corrosión IC.

Los indicadores de daños por corrosión IDC se presentan en la tabla 2.2.1.1 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 2.2.1.1 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 k cm ( )	> 100	50 - 100	10 - 50	< 10
Pérdida de sección ( )	< 1%	1 - 5%	5 - 10%	> 10%
Intensidad de corrosión A/cm <sup>2</sup> ( $I_{COR}$ )	< 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 (I al IV) y realizando la media aritmética de la suma de todos los indicadores, tal como lo señala la expresión [2.2.1.1] siguiente:

$$IDC = \frac{\sum_{i=1}^6 \text{Nivel del Indicador}_i}{6} \quad [2.2.1.1]$$

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 2.2.1.2, 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 2.2.1.2

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 [2.2.1.2], 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 2.2.1.3.

$$\text{Índice de Corrosión} = \frac{AA + IC}{2} \quad [2.2.1.2]$$

Tabla 2.2.1.3

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

2.2.1.3 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 2.2.1.2 siguiente.

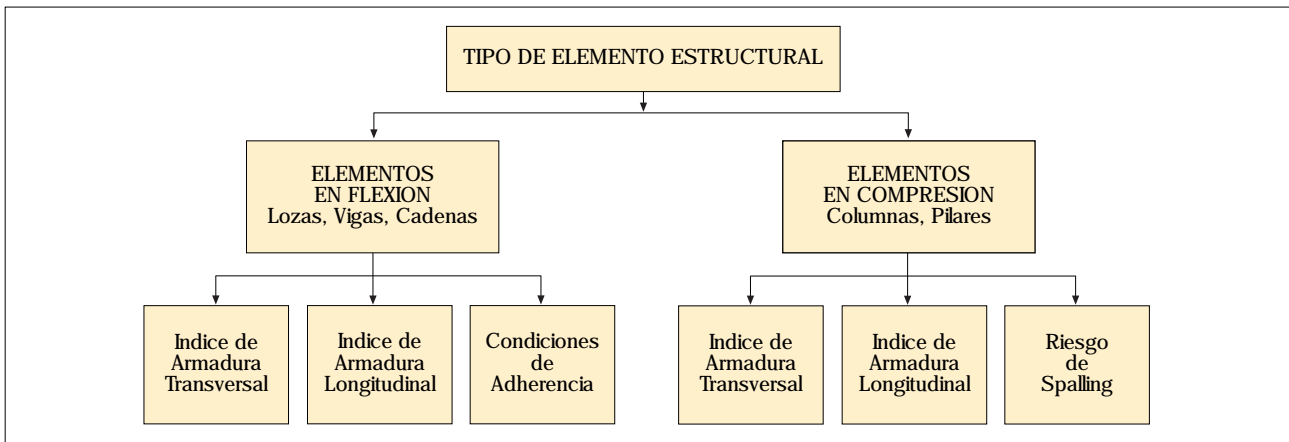


Figura 2.2.1.2: Fases para calificar el Índice Estructural IE



## 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 2.2.1.4 a continuación.

- El diámetro de la armadura transversal
- La distancia de separación entre los cercos o estribos

Tabla 2.2.1.4				
Índice de la Armadura Transversal para elementos en Flexión				
t	Separación de los cercos o estribos			
	$s_t \leq 0,5 d$	$s_t > 0,5 d$ (4 ramas)	$s_t > 0,5 d$	Sin cercos o estribos
> 8 mm	1	1	2	1
≤ 8 mm	2	2	3	1

Donde:

$t$  = 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 2.2.1.5, que en principio define dos grandes categorías en función del diámetro de las barras que forman la armadura:

- Barras de diámetro  $\geq 20$  mm
- Barras de diámetro  $< 20$  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  $\rho_t < 1,0\%$
- Alta cuantía para  $\rho_t > 1,5\%$

Importante:

Para los valores anteriormente presentados como también para los intermedios de  $\rho_t = 1$ , 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  $\rho_t$  sea alta, se deberá tener en cuenta la cuantía de la armadura longitudinal en compresión  $\rho_c$  debido al riesgo de una posible pérdida o estallido del recubrimiento de hormigón (spalling). En los casos en que  $\rho_c > 0,5\%$  el Índice estructural IE deberá ser el mismo que el establecido para las cuantías bajas de  $\rho_t = 1$ , salvo que el ingeniero responsable decida otra cosa.

Tabla 2.2.1.5

Indice Estructural IE de la Armadura Longitudinal en Vigas (\*)

Indice de la Armadura Transversal (**)	Armadura Longitudinal, mm			
	≥ 20		< 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 2.2.1.4

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 2.2.1.5 no estén disponibles, o su obtención resulte demasiado onerosa o difícil, la tabla 2.2.1.6 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 2.2.1.6

Versión Simplificada del Indice 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 siguiente se presentan los valores del Índice de armaduras transversales en función de los parámetros anteriores.

Tabla 2.2.1.7

Índice de la Armadura Transversal para elementos en Compresión

t	= espaciamiento de cercos / barras principales	
	$\leq 10$	$10 <$
$> 8$	1	2
$\leq 8$	2	3

Una vez obtenido el Índice de armadura transversal, el Índice estructural IE se obtiene entando en la tabla 2.2.1.8 siguiente 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:

- : 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 2.2.1.8

Índice Estructural IE de la Armadura Longitudinal en elementos Soportantes

Índice de la Armadura Transversal(*)	= Índice de pérdida del recubrimiento o estallido			
	$\geq 0,75$		$< 0,75$	
	Espaciamiento		Espaciamiento	
	$> 5$	$< 5$	$> 5$	$< 5$
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 2.2.1.9

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 2.2.1.9 siguiente 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 2.2.1.10 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 2.2.1.10								
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 siguiente.

Tabla 2.2.1.11			
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.

### 2.3 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 siguiente.

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 2.3.1

Urgencia de Intervención o Reparación

IDE	Años
Despreciable	> 10
Medio	5 - 10
Severo	2 - 5
Muy severo	0 - 2

## 2.4 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, descascamiento 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 2.2, 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.

### 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 3.1 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.

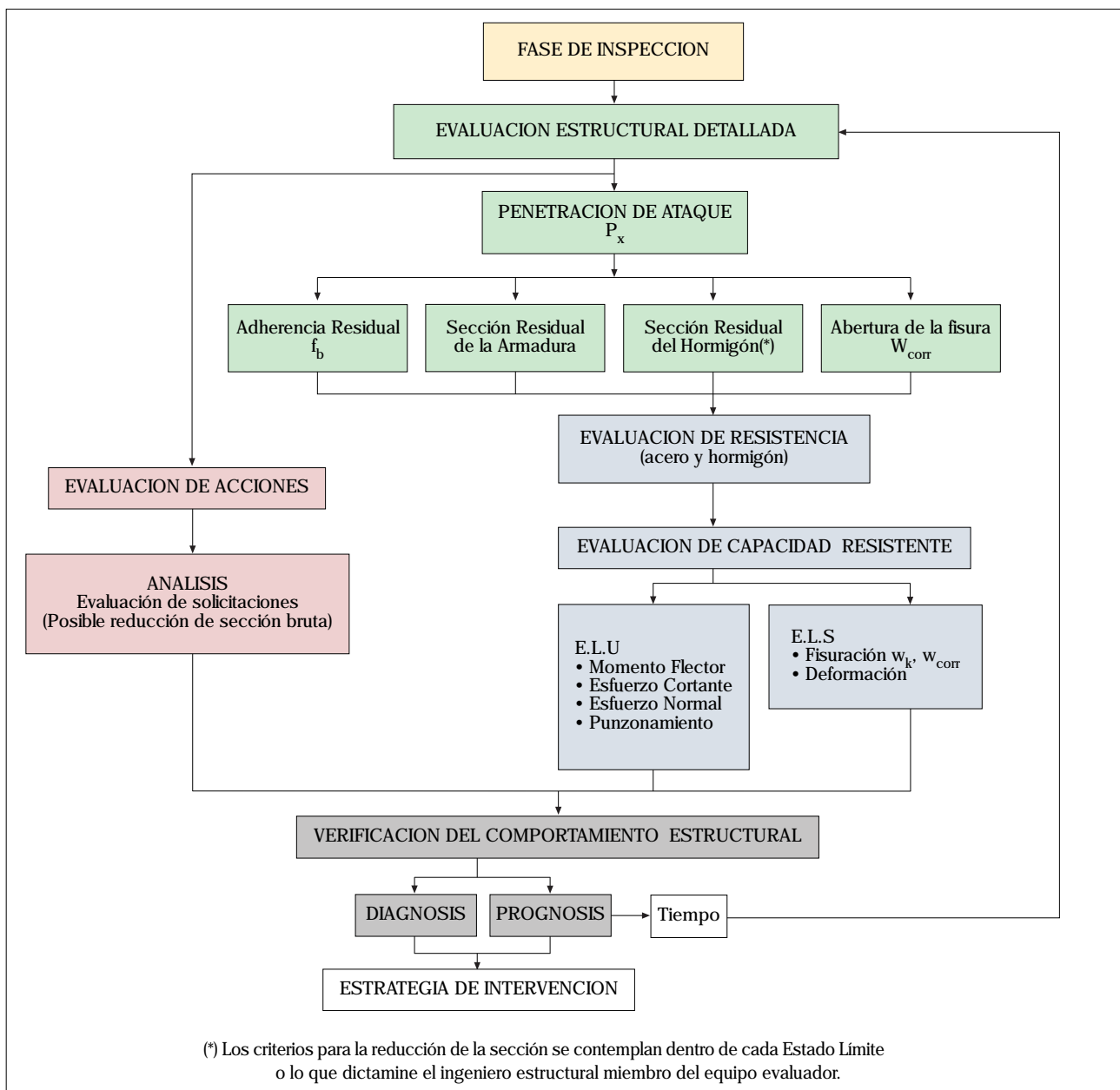


Figura 3.1: Procesos que se deben Cumplir para la Evaluación Detallada



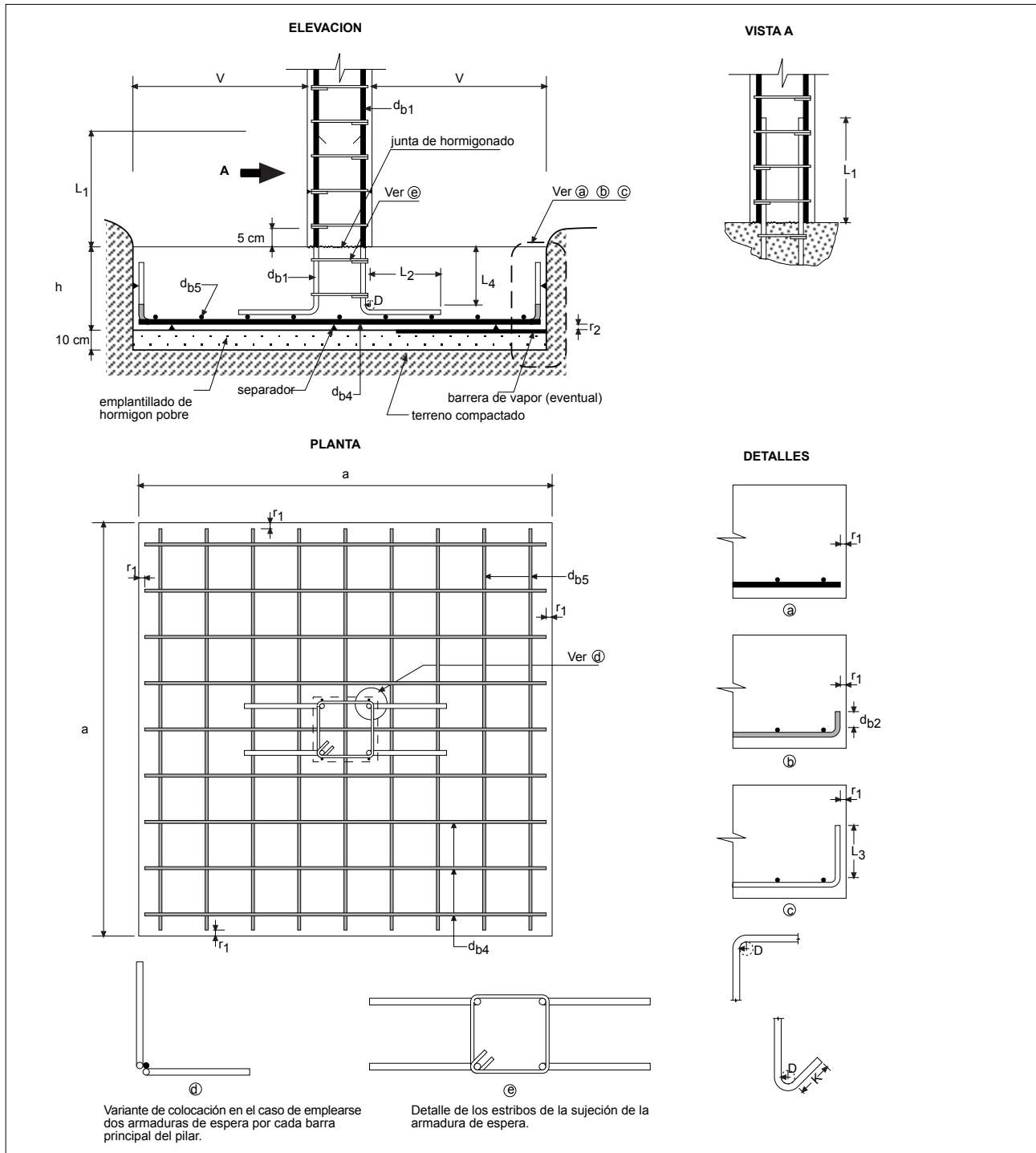
En el diagrama anterior se pueden distinguir cinco fases principales:

- 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 diagnóstico 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.

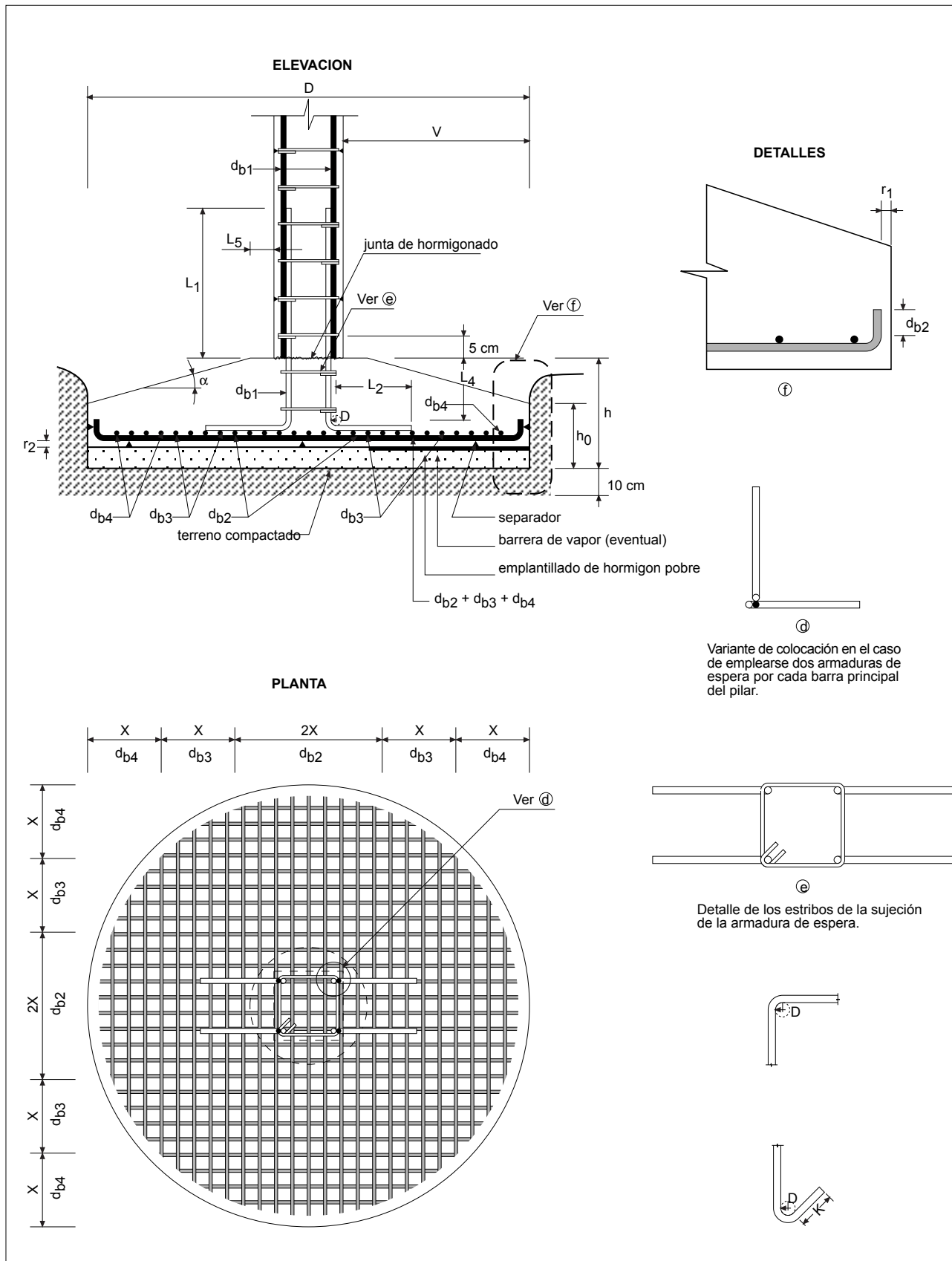
**A.2 DETALLES CONSTRUCTIVOS EN OBRAS DE HORMIGON ARMADO**

La incorporación de las ilustraciones siguientes es una selección de algunos detalles que tienen por objetivo ser

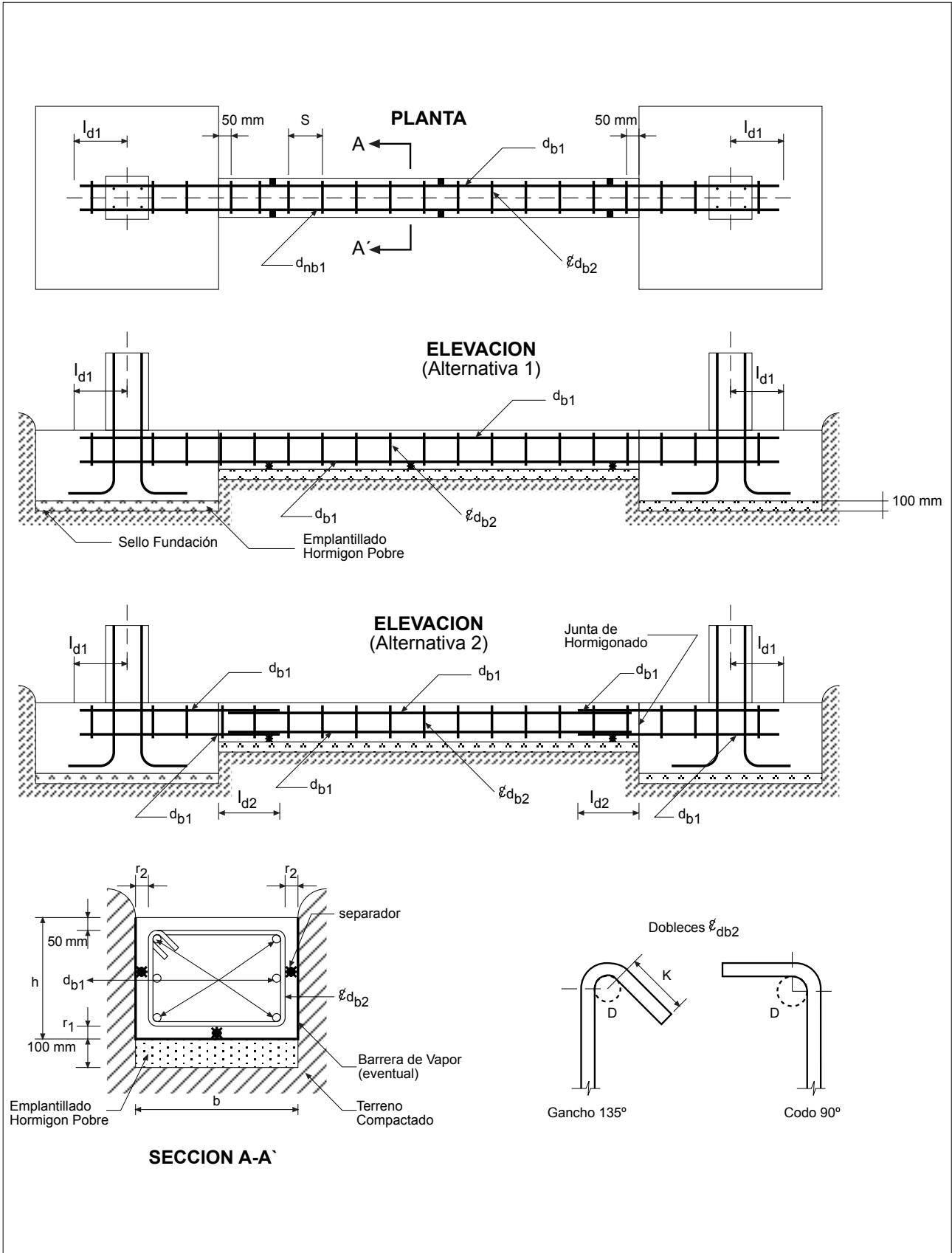
un complemento para la mejor interpretación de los planos de detalle de las estructuras de hormigón armado, en aquellas circunstancias en que existan dudas o ausencia de antecedentes que permitan materializar apropiadamente la obra.



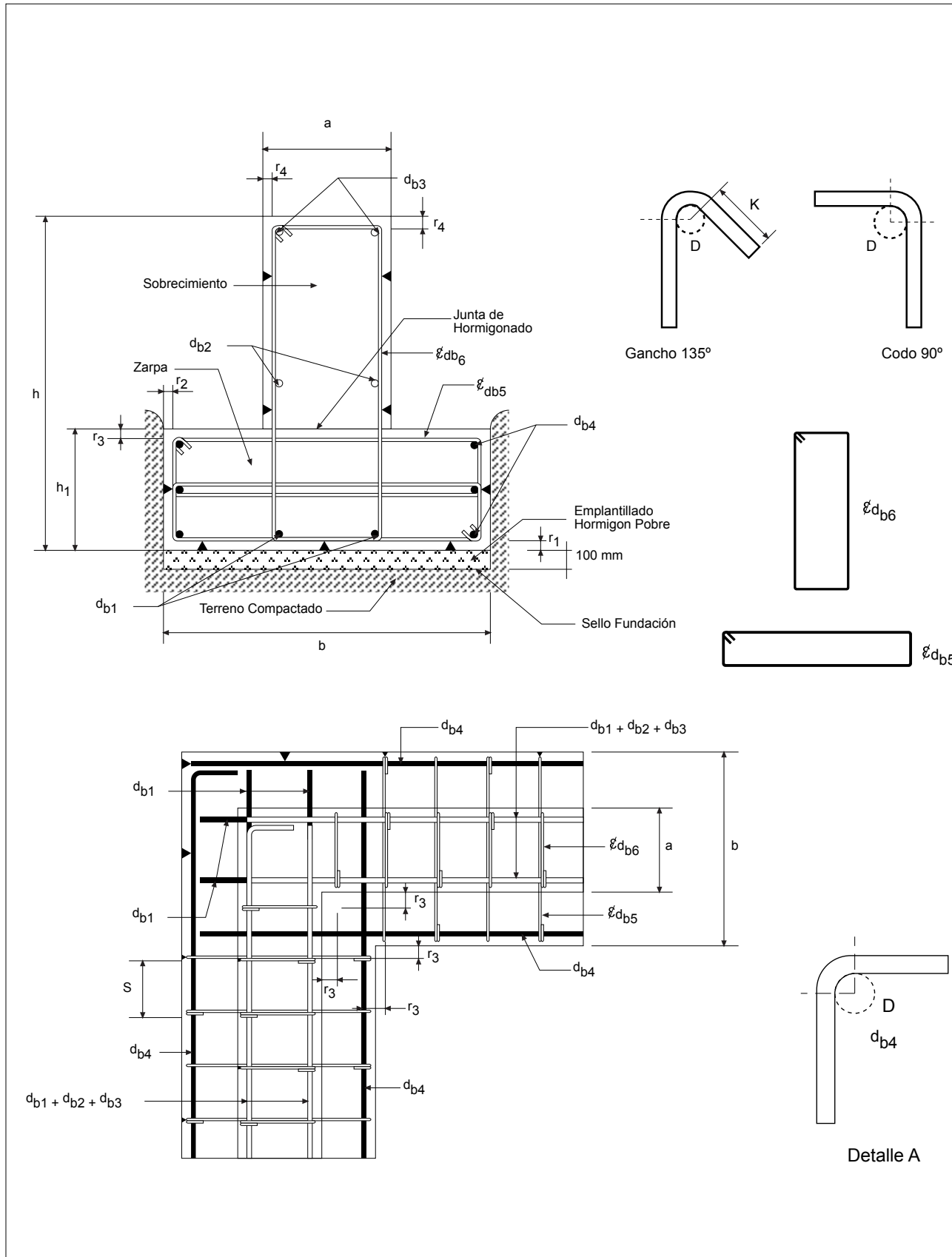
**Zapata Cuadrada o Rectangular.**



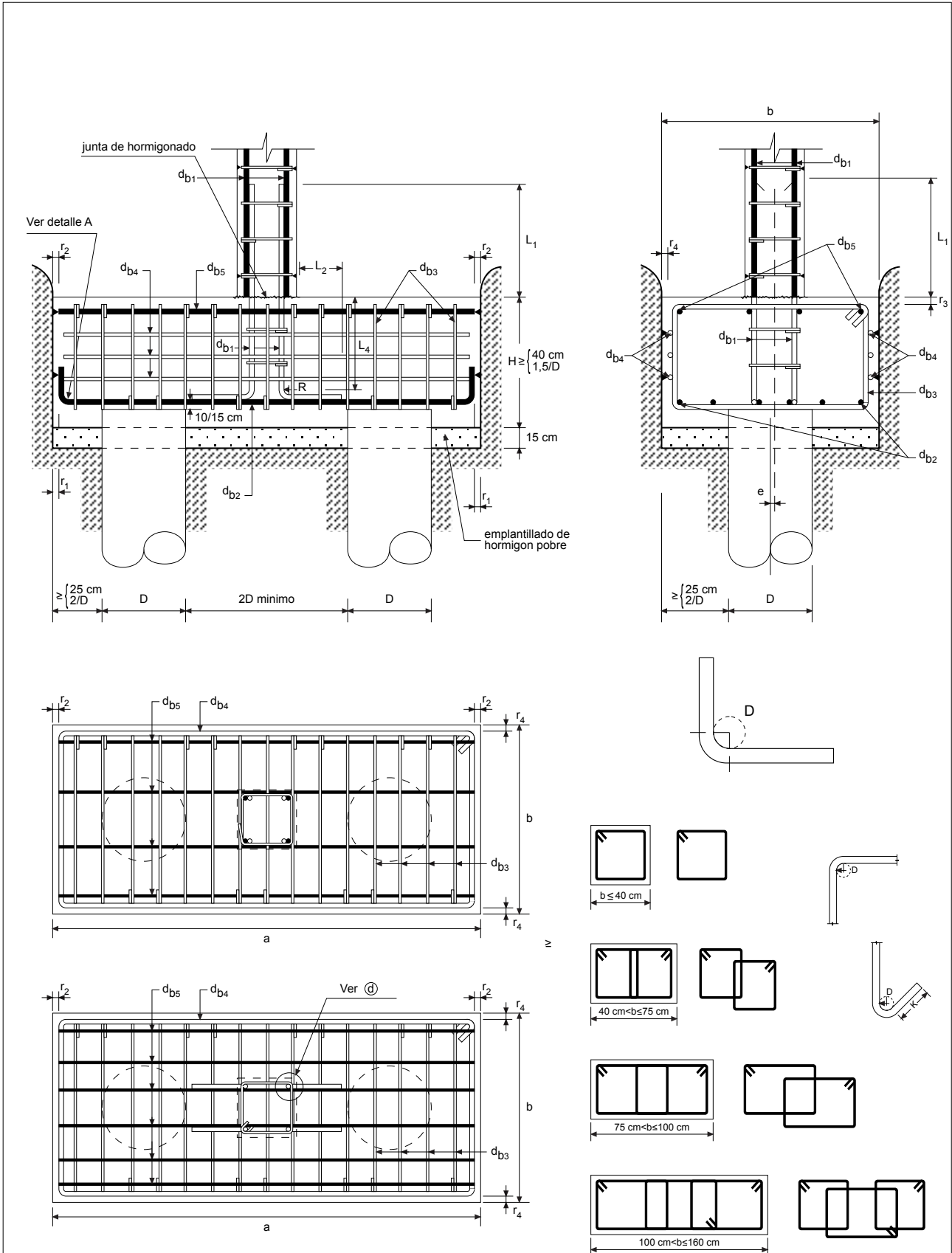
Zapata Circular



Viga de Fundación entre Zapatas.

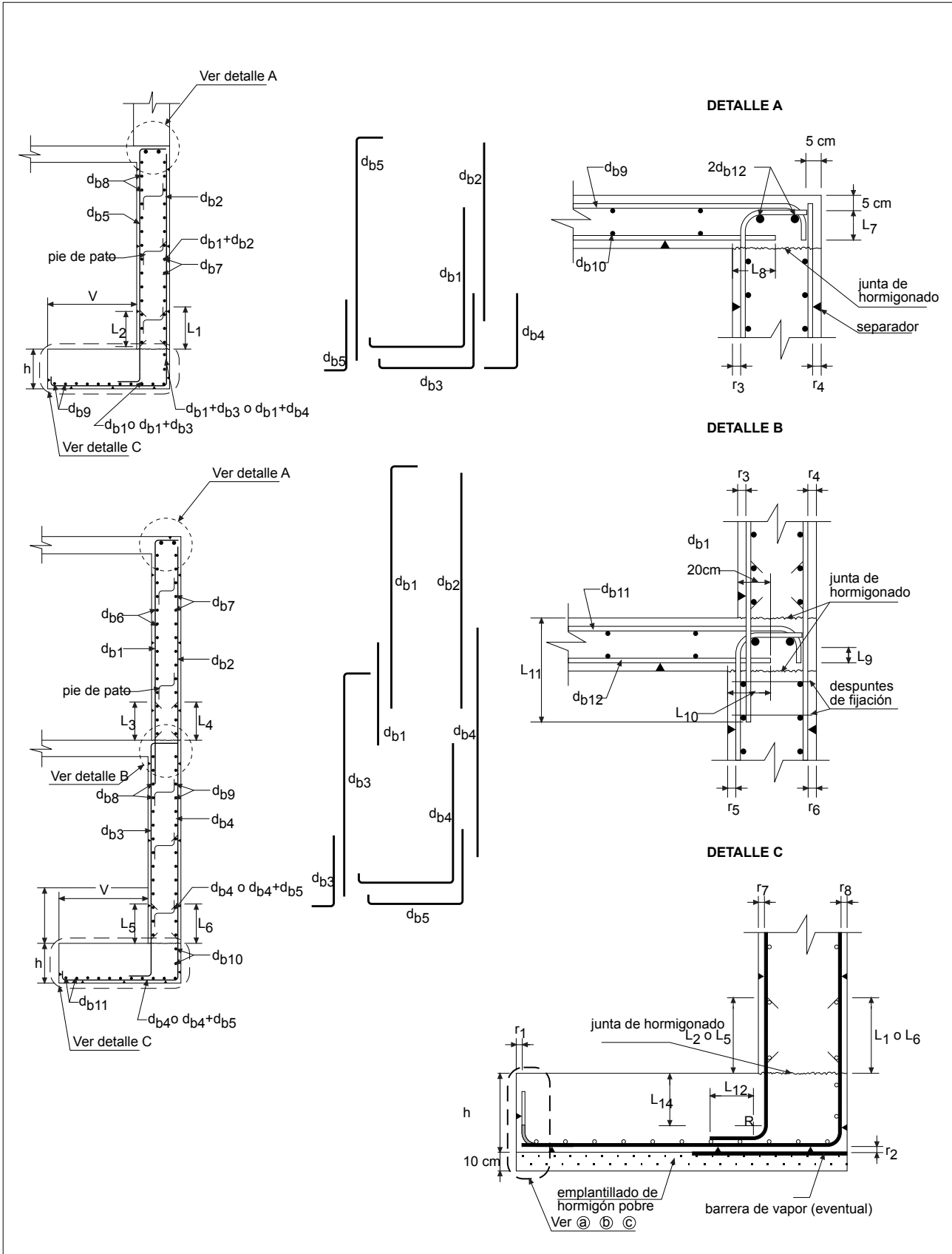


Fundación Corrida Zarpa y Sobrecimiento.



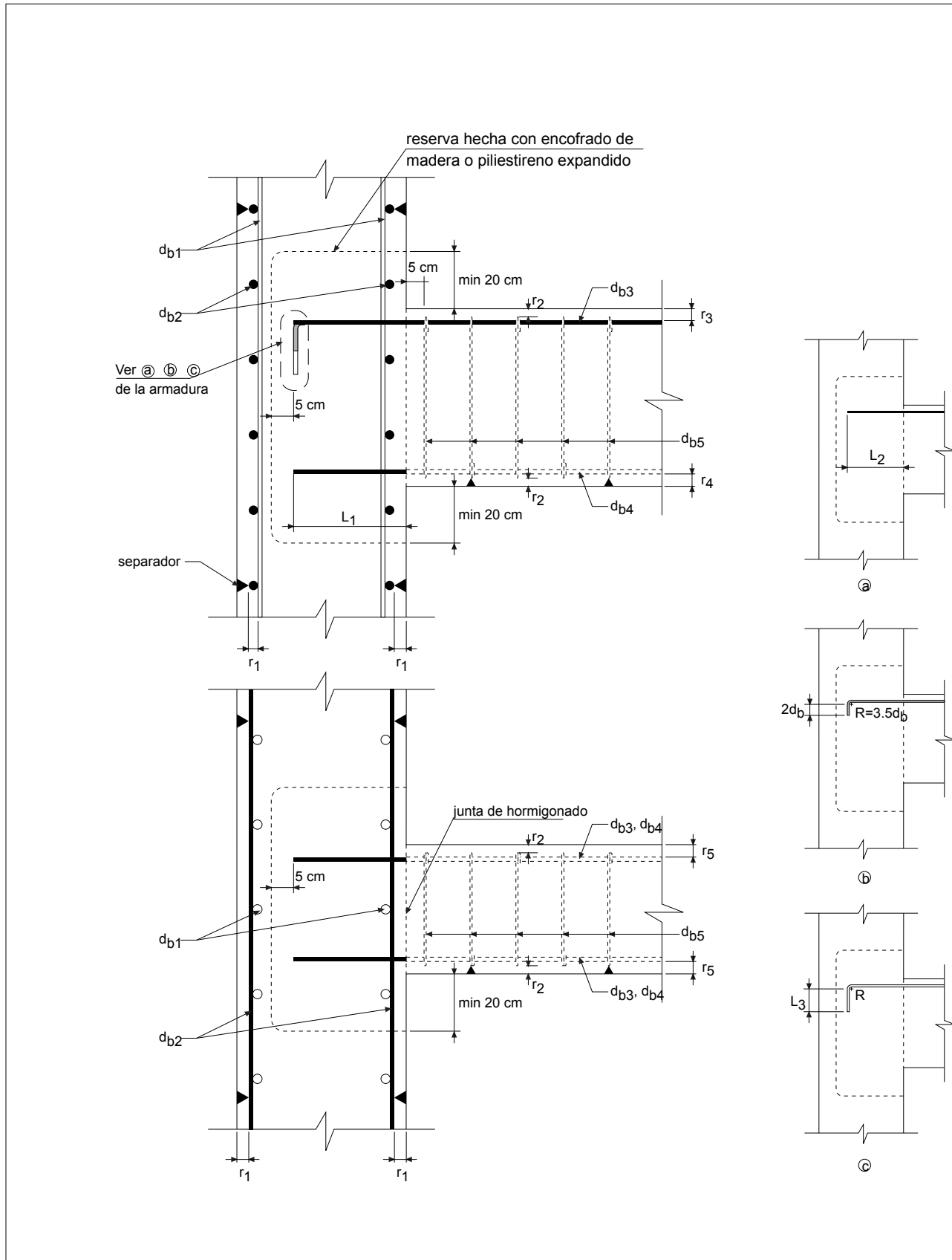
Encepado de dos pilotes.



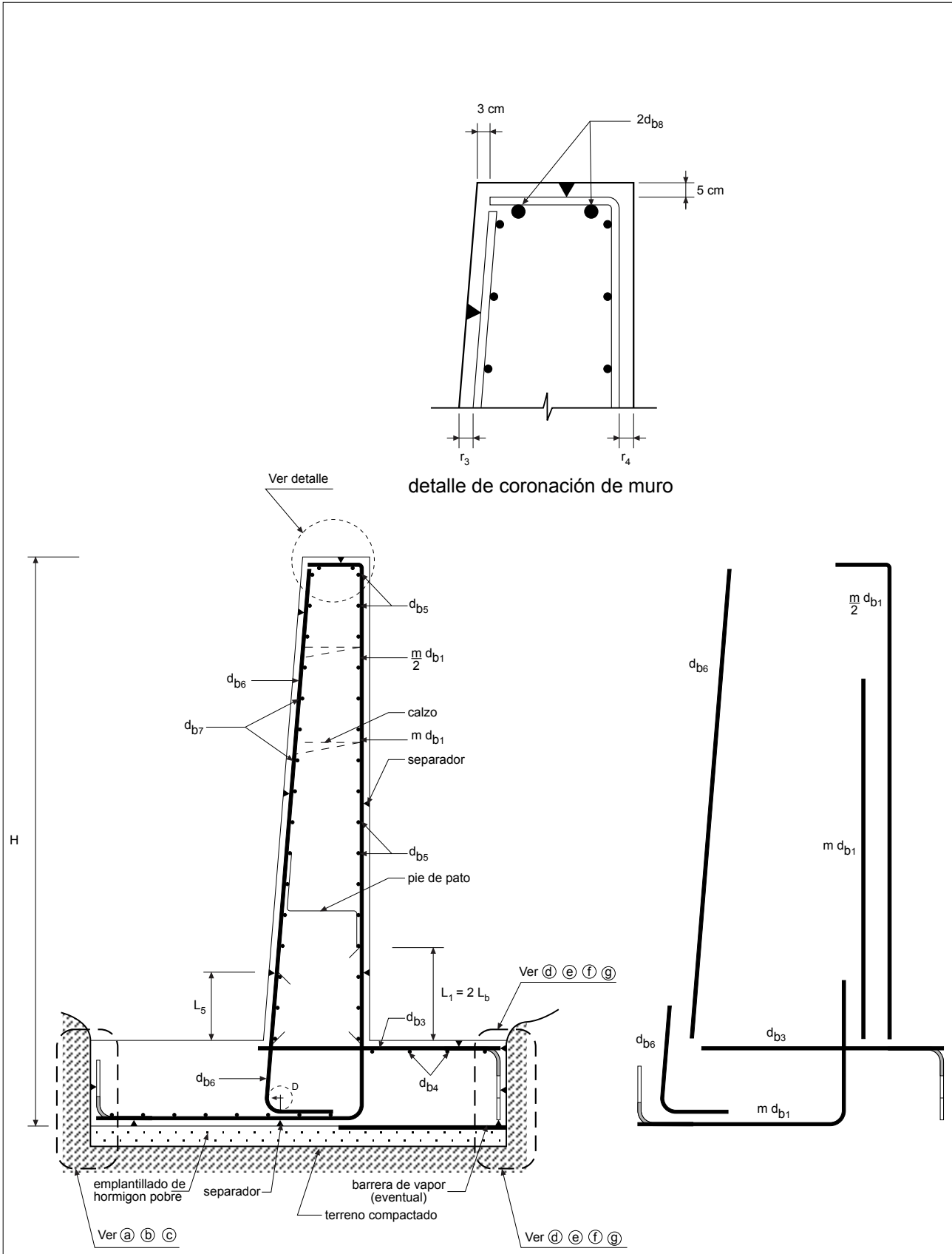


Muros de Subterráneo.





Enlace de Viga a Muro Pantalla.



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.

#### 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 cuarterones los paquetes o atados de barras.
- Utilizar estribos 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 cubicaciones, 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 cortafíos 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 traslapo 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 N°14, N°16 ó N°18.
- 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

**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 refinado 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. **Puzolánico:**

**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 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  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ .

**Medio Urbano:** Entorno que se caracteriza por la presencia de  $\text{SO}_2$ , polvo, gran cantidad de  $\text{CO}_2$ , 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	–	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	103	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/ centímetro cuadrado	kgf/cm <sup>2</sup>	98,07 x 10 <sup>-3</sup>	mega pascal	MPa
	kilogramo-fuerza/ centímetro cuadrado	kgf/cm <sup>2</sup>	14,22	libra-fuerza/pulgada cuadrada	psi
	mega pascal	Mpa	10,20	kilogramo-fuerza/ centímetro cuadrado	kgf/cm <sup>2</sup>
		psi	7,03 x 10 <sup>-2</sup>	kilogramo-fuerza/ centímetro cuadrado	kgf/cm <sup>2</sup>
	libra-fuerza/pulgada cuadrada				
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											
mm		Número de barras									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	Area cm <sup>2</sup>	0,28	0,565	0,848	1,131	1,414	1,696	1,979	2,262	2,545	2,827
	Masa kg/m	0,222	0,444	0,666	0,888	1,110	1,332	1,554	1,776	1,998	2,220
	Perímetro cm	1,88	3,770	5,655	7,540	9,425	11,31	13,19	15,08	16,96	18,85
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

## A.6 PROPIEDADES GEOMETRICAS DE SECCIONES

### A.6.1 Nomenclatura Empleada

Símbolo	Definición	Símbolo	Definición
A	= Area, superficie, sección	R,r	= Radio
Am	= Superficie lateral, manto	S,s	= Recorrido, espesor
Ao	= Superficie exterior	P	= Perímetro
b	= Ancho	V	= Volúmen
D,d	= Diámetro, diagonal	, ,	= Angulos
h	= Altura		= Constante: 3,416...
L	= Longitud, largo		



## A.6.2 Superficies

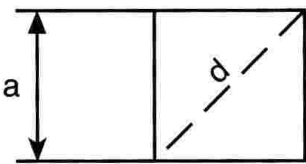
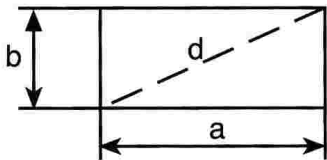
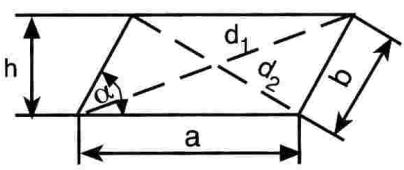
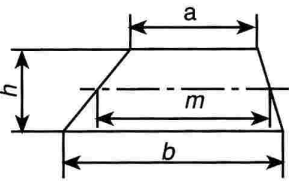
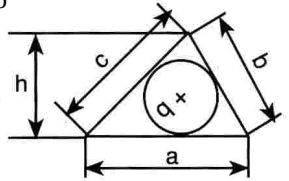
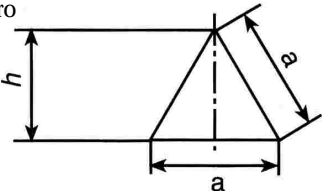
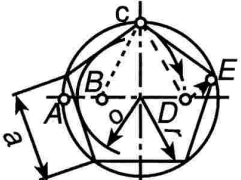
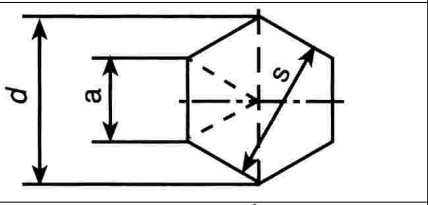
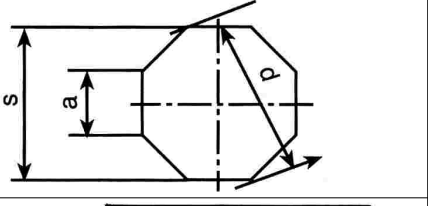
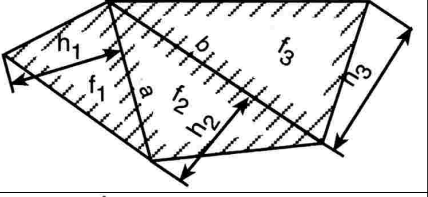
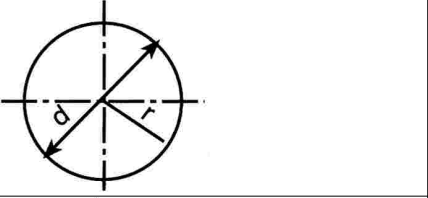
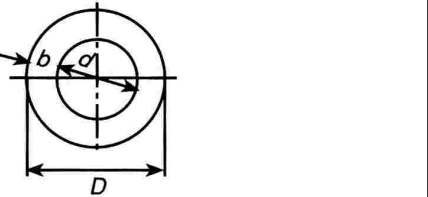
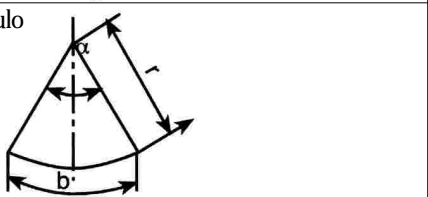
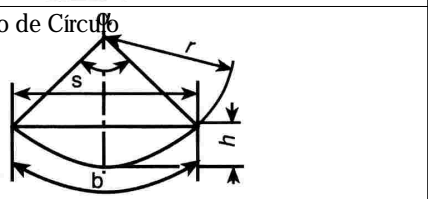
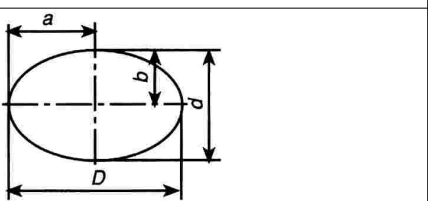
Tabla 6.1	
Figura	Fórmula
<p>Cuadrado</p> 	$A = a^2$ $a = \sqrt{A}$ $d = a\sqrt{2}$
<p>Rectángulo</p> 	$A = a \cdot b$ $d = \sqrt{a^2 + b^2}$
<p>Paralelógramo</p> 	$A = a \cdot h = a \cdot \text{sen } \alpha$ $d_1 = \sqrt{(a + h \cdot \cot \alpha)^2 + h^2}$ $d_2 = \sqrt{(a - h \cdot \cot \alpha)^2 + h^2}$
<p>Trapezio</p> 	$A = \frac{a + b}{2} \cdot h = m \cdot h$ $M = \frac{a + b}{2}$
<p>Triángulo Escaleno</p> 	$A = \frac{a \cdot h}{2} \quad h = q \cdot s$ $= \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$ $s = \frac{a + b + c}{2}$
<p>Triángulo Equilátero</p> 	$A = \frac{a^2 \sqrt{3}}{4}$ $h = \frac{a \sqrt{3}}{2}$
<p>Pentágono</p> 	$A = \frac{5}{8} r^2 \sqrt{10 + 2\sqrt{5}}$ $a = \frac{1}{2} r \sqrt{10 - 2\sqrt{5}}$ $q = \frac{1}{4} r \sqrt{6 + 2\sqrt{5}}$

Tabla 6.1

Figura	Fórmula
<p>Hexágono</p> 	$A = \frac{3 * a^2 \sqrt{3}}{2}$ $d = 2 * a$ $= 1,155 * s$ $s = 0,866 * d$
<p>Octágono</p> 	$A = 2 * a * s = 0,83 * s^2$ $a = 2 * s \sqrt{d^2 - s^2}$ $a = 0,415 * s$ $s = 0,924 * d$ $d = 1,083 * s$
<p>Polígono</p> 	$A = \frac{f_1 + f_2 + f_3}{2}$ $= \frac{a * h_1 + b * h_2 + c * h_3}{2}$
<p>Círculo</p> 	$A = \frac{d^2 * \pi}{4} = r^2 \pi$ $= \sim 0,785 * d^2$ $U = 2 * r * \pi = d * \pi$
<p>Anillo</p> 	$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$ $= \frac{\pi}{4} (d + b) b$ $b = \frac{D - d}{2}$
<p>Segmento de Círculo</p> 	$A = r^2 * \frac{a - \sin a}{360^\circ} = r^2 * \frac{a - \sin a}{2}$ $b = r * \frac{2 \sin \frac{a}{2}}{180^\circ}$ $a = \frac{180^\circ}{180^\circ} (\triangle \text{Medida del arco})$
<p>Corte de Segmento de Círculo</p> 	$s = 2 * r * \sin \frac{a}{2}$ $A = \frac{h}{6 * s} (3h^2 + 4s^2) = r^2 ( \frac{a}{2} - \sin \frac{a}{2} )$ $r = \frac{h + s^2}{2 * 8 * h}$ $h = r (1 - \cos \frac{a}{2}) = s \tan \frac{a}{4}$ $a = \text{Medida de arco } (\triangle \text{ver Segmento de Círculo})$
<p>Elipse</p> 	$a = \frac{D * d * \pi}{4} = a * b * \pi$ $U \approx \frac{D + d}{2} \pi$ $= (a + b) \left[ 1 + \frac{1}{4} \left( \frac{a-b}{a+b} \right)^2 + \frac{1}{64} \left( \frac{a-b}{a+b} \right)^4 + \frac{1}{256} \left( \frac{a-b}{a+b} \right)^6 + \frac{25}{16384} \left( \frac{a-b}{a+b} \right)^8 + \dots \right]$ <p>Donde <math>\frac{a-b}{a+b}</math></p>

## A.6.2 Cuerpos

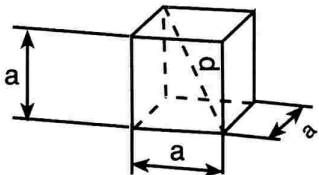
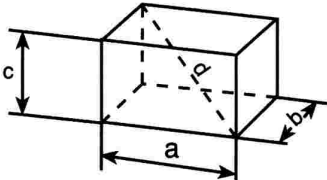
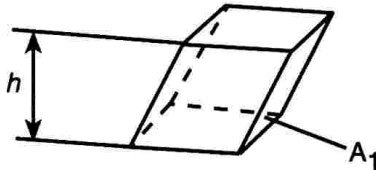
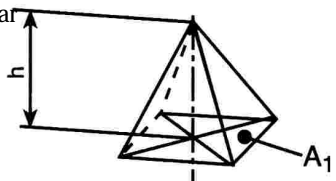
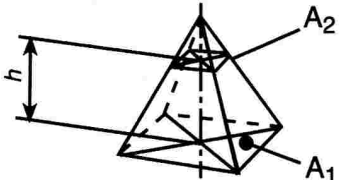
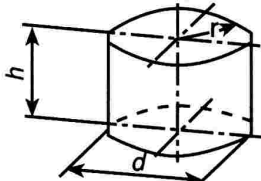
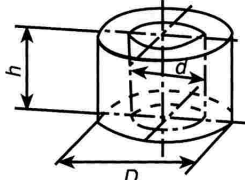
Tabla 6.2		
Figura		Fórmula
Cubo		$V = a^3$ $A_o = 6 * a^2$ $d = a\sqrt{3}$
Prisma Recto		$V = a * b * c$ $A_o = 2 (ab + ac + bc)$ $d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$
Prisma Oblicuo		$V = A_1 * h$
Pirámide Rectangular		$V = \frac{A_1 * h}{3}$
Pirámide Truncada		$V = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 * A_2})$ $\approx h \frac{A_1 + A_2}{2}$
Cilindro		$V = \frac{d^2 * h}{4}$ $A_m = 2 * r * h$ $A_o = 2 * r * (r + h)$
Cilindro Hueco		$V = \frac{h * (D^2 - d^2)}{4}$

Tabla 6.2

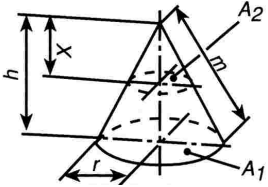
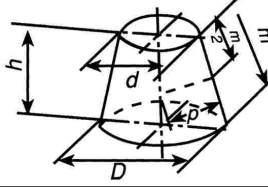
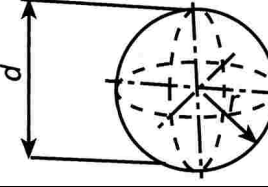
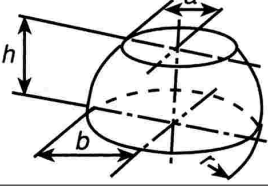
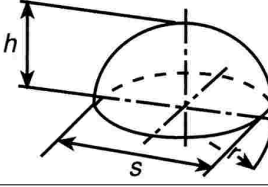
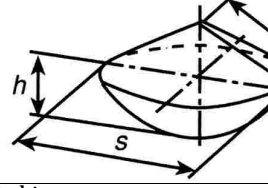
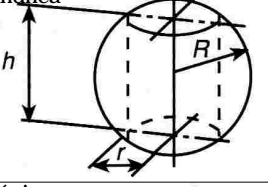
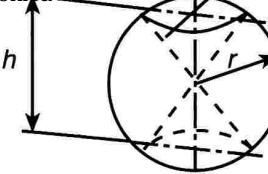
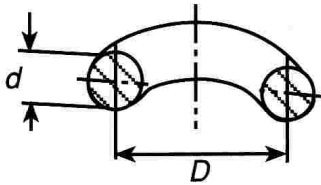
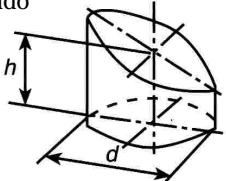
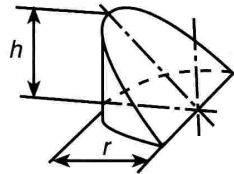
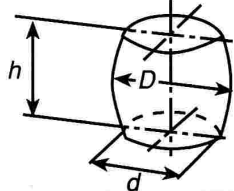
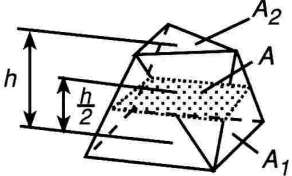
Figura	Fórmula
<p>Cono</p> 	$V = \frac{r^2 \cdot p \cdot h}{3}$ $A_m = r \cdot p \cdot h$ $A_o = r \cdot p \cdot (r + m)$ $M = \sqrt{h^2 + r^2}$ $A^2 : A_1 = x^2 : h^2$
<p>Cono Truncado</p> 	$V = \frac{h}{12} (D^2 + Dd + d^2)$ $A_m = \frac{m}{2} (D + d) = 2 \cdot ph$ $m = \sqrt{\frac{(D - d)^2}{2} + h^2}$
<p>Esfera</p> 	$V = \frac{4}{3} r^3 = \frac{1}{6} d^3$ $\approx 4,189 \cdot r^3$ $A_0 = 4 \cdot r^2 = \pi \cdot d^2$
<p>Segmento de Esfera</p> 	$V = \frac{h}{6} (3a^2 + 3b^2 + h)$ $A_m = 2 \cdot r \cdot h$ $A^m = (2rh + a^2 + b^2)$
<p>Segmento de Esfera</p> 	$V = \frac{h}{6} (3s^2 + h^2)$ $= \frac{h^2}{3} (r - \frac{h}{2})$ $A_m = 2 \cdot r \cdot h$ $= \frac{h}{4} (s^2 + 4h^2)$
<p>Segmento de Esfera</p> 	$V = \frac{2}{3} h \cdot r^2$ $A_0 = \frac{r}{2} (4h + s)$
<p>Esfera con Perforación Cilíndrica</p> 	$V = \frac{h^3}{6}$ $A_0 = 2 \cdot h \cdot (R + r)$
<p>Esfera con Perforación Cónica</p> 	$V = \frac{2}{3} r^2 \cdot h$ $A_0 = 2 \cdot r \cdot (h + \sqrt{r^2 - \frac{h^2}{4}})$

Tabla 6.2	
Figura	Fórmula
<p>Anillo Circular</p> 	$V = \frac{D^2 * d^2}{4}$ $A_0 = D * d$
<p>Cilindro con Corte Inclinado</p> 	$V = \frac{d^2 * h}{4}$
<p>Segmento de Cilindro</p> 	$V = \frac{2 * r^2 * h}{3}$ $A_m = 2 * r * h$ $A_0 = A_m + \frac{r^2}{2} + \frac{\sqrt{p * r^2 + h^2}}{2}$
<p>Barril</p> 	$V = \frac{h * (2D^2 + d^2)}{12}$
<p>Prismatoide</p> 	$V = \frac{h}{6} (A_1 + A_2 + 4 * A)$

A.6.3 FORMULAS TRIGONOMETRICAS

**Triángulo Rectángulo ABC**

Radio AD = AB = AH = 1

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$a^2 = c^2 - b^2$$

$$b^2 = c^2 - a^2$$

$$\text{sen} = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}} = \frac{BC}{AB} = \frac{DF}{AF} = \frac{BC}{AF}$$

$$\text{cos} = \frac{\text{cateto adyacente}}{\text{hipotenusa}} = \frac{AC}{AB} = \frac{AD}{AF} = \frac{AC}{AF}$$

$$\text{tg} = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}} = \frac{BC}{AC} = \frac{DF}{AD} = \frac{DF}{AD}$$

$$\text{cosec} = \frac{1}{\text{sen}} = \frac{AB}{BC} = \frac{AF}{DF} = \frac{AF}{DF}$$

$$\text{sec} = \frac{1}{\text{cos}} = \frac{AB}{AC} = \frac{AF}{AD} = \frac{AF}{AD}$$

$$\text{tg} = \frac{1}{\text{ctg}} = \frac{AC}{BC} = \frac{AD}{DF} = \frac{HG}{DF}$$

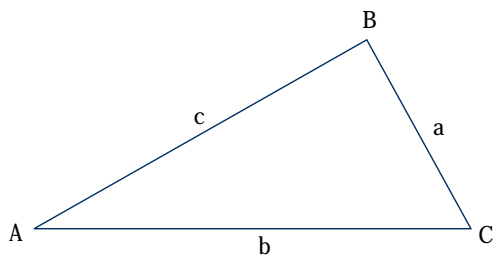
$$\text{sen}^2 + \text{cos}^2 = 1$$

$$\text{sec}^2 - \text{tg}^2 = 1$$

$$\text{cosec}^2 - \text{ctg}^2 = 1$$

Datos	Se obtiene					
			a	b	c	Area
a,b	$\text{tg} = \frac{a}{b}$	$\text{tg } b = \frac{b}{a}$		b	$\sqrt{a^2 + b^2}$	$\frac{ab}{2}$
a,c	$\text{cos} = \frac{a}{c}$	$\text{cos } b = \frac{a}{c}$		$\sqrt{c^2 - a^2}$		$\frac{a\sqrt{c^2 - a^2}}{2}$
,a		90°		a ctg	$\frac{a}{\text{sen}}$	$\frac{a^2 \text{ctg}}{2}$
,b		90° -	b tg		$\frac{b}{\text{cos}}$	$\frac{b^2 \text{tg}}{2}$
,c		90° -	c sen	c cos		$\frac{c^2 \text{sen } 2}{4}$

Triángulo Escaleno ABC



$$a^2 = c^2 + b^2 - 2bc \cos A$$

$$b^2 = c^2 + a^2 - 2ac \cos B$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C$$

$$s = \frac{a + b + c}{2}$$

$$K = \sqrt{\frac{(s-a)(s-b)(s-c)}{s}}$$

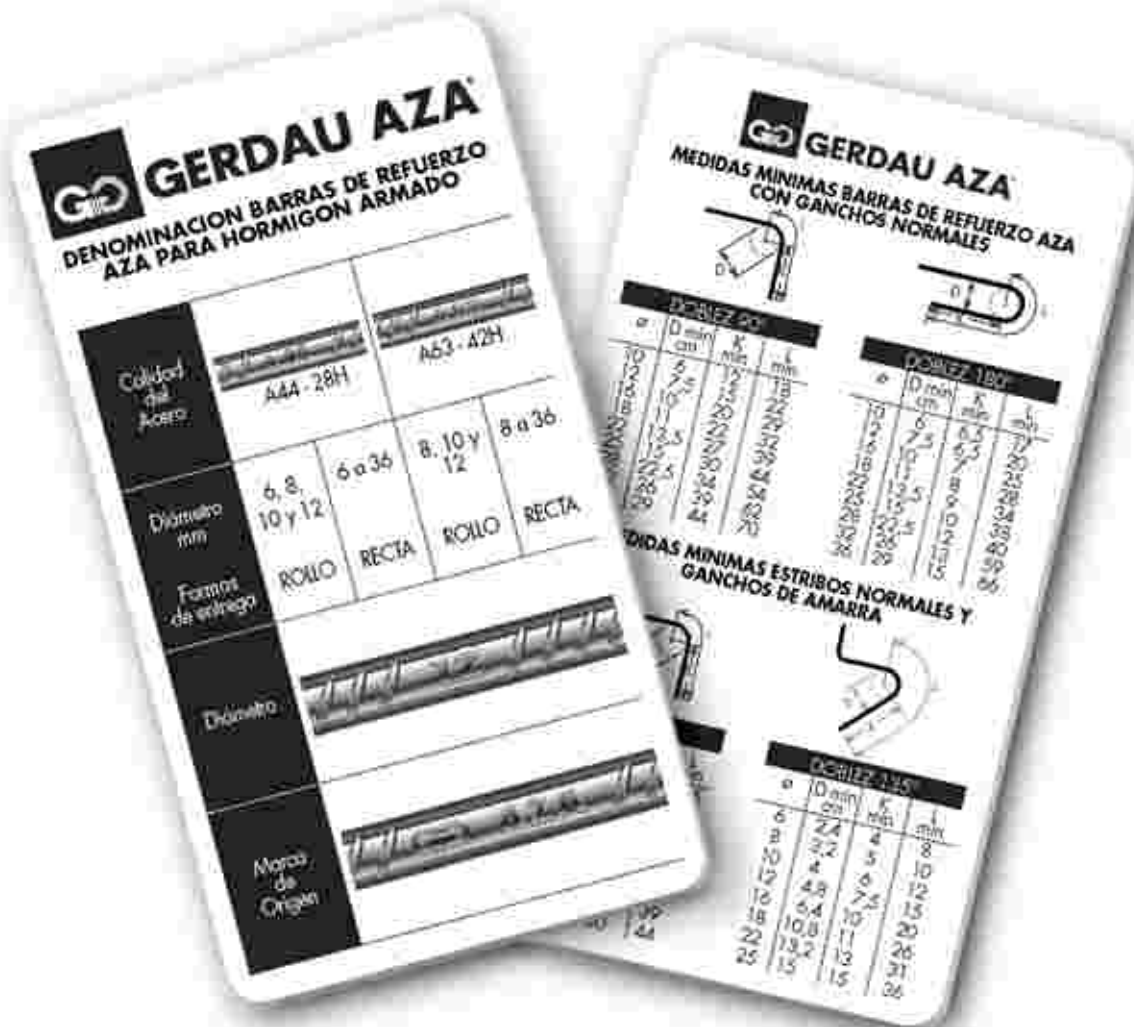
Datos	Se obtiene					
			a	b	c	Area
a, b, c	$\text{tg } \frac{C}{2} = \frac{K}{s-a}$	$\text{tg } \frac{B}{2} = \frac{K}{s-b}$	$\text{tg } \frac{A}{2} = \frac{K}{s-c}$			sK
a, ,			$180 - ( + )$	$\frac{a \text{ sen } C}{\text{sen } B}$	$\frac{a \text{ sen } B}{\text{sen } C}$	
a, b,		$\text{sen } C = \frac{b \text{ sen } B}{a}$			$\frac{b \text{ sen } B}{\text{sen } C}$	
a, b,	$\text{tg } \frac{C}{2} = \frac{a \text{ sen } C}{b-a \cos C}$				$\sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos C}$	$\frac{a b \text{ sen } C}{2}$

**CARTILLA PARA ENFIERRADORES**

La cartilla para Enfierradores es un práctico material de bolsillo orientado al personal que opera directamente en las faenas de fabricación de armaduras, bodega y otros. En ella encontrará información de la identificación de las Barras AZA para Hormigón, como características, formas de entrega y medidas mínimas para producción de ganchos y estribos.

Escriba solicitándola a Gerdau AZA S.A., Departamento de Marketing, La Unión 3070, Renca, Santiago. Indique sus datos personales:

- Nombre
- Rut
- Empresa
- Domicilio
- Fono(s)
- Fax
- E-mail
- Profesión
- Cargo









**GERDAU AZA®**

Gerdau AZA S.A.  
La Unión 3070, Renca, Santiago - Chile  
Código Postal: 746 4522  
Fono: (2) 641 9185 - 641 8683  
Fax: (2) 641 8359  
Fax Ventas: (2) 646 5215  
[www.gerdauaza.cl](http://www.gerdauaza.cl)