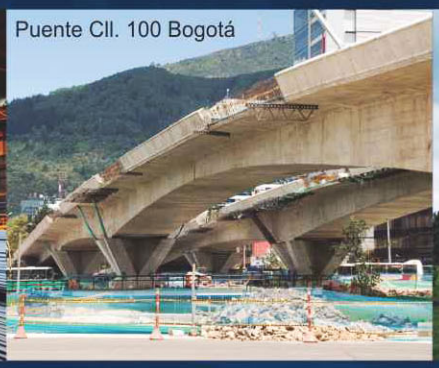
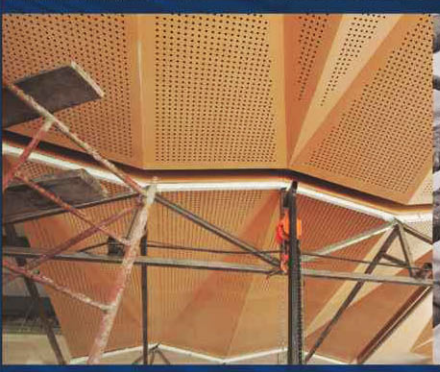
MANUAL DEL ACERO GERDAU DIACO PARA CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES

Planta Gerdau Diaco Tuta


Puente Cll. 100 Bogotá

Colegio Los Nogales - Bogotá



Cumplimos con la norma Colombiana de sismo resistencia NSR 10

GERDAU DIACO

MANUAL DEL ACERO GERDAU DIACO PARA CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES

GERDAU
DIACO

MANUAL DEL ACERO GERDAU DIACO PARA CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES

Cumple la nueva norma colombiana de sismo resistencia NSR-10

Ing. HAROLD ALBERTO MUÑOZ M

GERDAU
DIACO

Diaco S.A. es titular de los derechos de autor sobre el Manual del Acero Gerdau Diaco para Construcciones Sismo Resistentes, cuyo autor es el Ingeniero Harold Alberto Muñoz Muñoz.

Advertencia: La presente publicación se realiza con el objeto de difundir las prácticas de construcción de acuerdo al REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10 y a ellas debe remitirse el usuario. Este manual no las sustituye, por tanto, el uso, la referencia y la reproducción de la presente publicación es de responsabilidad exclusiva del usuario.

Diagramación e Impresión Zeta IGC

Tercera Edición Octubre de 2012

INDICE

Portafolio de productos..... 11

Capítulo 0 – Prefacio

1. Gerdau Diaco..... 15
2. Gestión ambiental..... 16
3. Gestión de calidad..... 17

Capítulo 1 – El acero para las estructuras de concreto

1. Introducción..... 21
2. Proceso de fabricación..... 22
3. Laminación..... 24
4. Enfriamiento y corte..... 25
5. Propiedades..... 26
6. Barras de acero estructural corrugado..... 27
7. Normas de fabricación..... 27
8. Control de calidad..... 28

Productos Gerdau Gerdau Diaco para refuerzo de concreto

Corte y doble..... 32

Barras corrugadas..... 33

Identificación de barras corrugadas..... 33

Alambrones corrugados..... 37

Refuerzo electrosoldado..... 38

Capítulo 2 – El proyecto estructural

1. Diseño estructural..... 43
2. Sistemas estructurales..... 44
3. Planos estructurales..... 46

4. Memorias estructurales..... 48
5. Las especificaciones de obra..... 49

Capítulo 3 – El acero en la obra

1. Planos estructurales planos y despieces..... 53
2. Elementos de las cartillas de despiece..... 54
3. Ganchos de doblez..... 58
4. Diámetros mínimos de doblado..... 60
5. Doblado..... 60
6. Elaboración de las cartillas del refuerzo..... 61
7. Proceso de figuración..... 61
8. Transporte..... 62
9. Recepción en obra..... 62
10. Almacenamiento..... 63
11. Colocación del refuerzo..... 64
12. Tolerancias..... 64
13. Estribos o flejes..... 65
14. Refuerzo longitudinal y principal..... 66
15. Refuerzo de repartición..... 67
16. Refuerzo para control de retracción y temperatura..... 67

Capítulo 4 – Detalles del refuerzo

1. Detalles del refuerzo..... 69
2. Longitudes de desarrollo y empalmes de refuerzo..... 83
3. Tablas..... 85

Capítulo 5 – Mallas de refuerzo

1. Introducción..... 131

2. Características técnicas..... 134
Manejo y almacenamiento de mallas..... 137
3. Usos..... 139
Pañetes estructurales..... 139
Placas macizas..... 140
Placas aligeradas..... 141
Placas de piso..... 141
Placas aligeradas de cimentación..... 142
Muros de contención..... 143
Tanques..... 145
Longitud de desarrollo y empalmes..... 145
Conversión del refuerzo a malla..... 145

Capítulo 6 – Los procesos constructivos

1. Introducción..... 149
2. Coordinación de planos..... 150
3. Planeación y preparación..... 150
4. Normas técnicas y especificaciones de construcción..... 151
5. Características de la industria..... 151
6. Seguridad industrial..... 152
7. Previsiones..... 153
8. Calidad del concreto..... 154
9. Formaleta..... 155
10. Acero de refuerzo..... 155
11. Transporte..... 156
12. Vaciado sobre el terreno..... 157
13. Colocación..... 158

14. Vibrado..... 158
15. Acabado..... 160
16. Curado..... 160
17. Desencofrado..... 160
18. Protección..... 161
19. Características de las formaletas..... 161

Guías de los procesos constructivos

Cimentaciones zapata aislada..... 179
Cimentaciones zapata corrida..... 180
Cimentaciones caissons..... 181
Cimentaciones placa aligerada..... 182
Cimentaciones pilotes pre-excavados..... 183
Cimentaciones pilotes megapress©..... 184
Cimentaciones dados..... 185
Cimentaciones viga de amarre..... 186
Cimentaciones vigas de cimentación..... 187
Columnas..... 188
Nudos..... 189
Pantallas..... 190
Placas de entrepiso macizas..... 191
Placas de entrepiso aligeradas..... 192
Placas de entrepiso vigas..... 193
Escaleras de placa..... 194
Muros pantalla en sótanos..... 195
Muros de sótano..... 196
Rampas..... 197
Elementos no estructurales..... 199

Capítulo 7 – La durabilidad de las estructuras de concreto

1. Vida útil o de servicio de las estructuras de concreto..... 203
2. Factores de deterioro..... 205
3. Durabilidad de las estructuras de concreto..... 206
4. Agresividad del medio ambiente..... 207
5. Resistencia del concreto a los agentes de deterioro..... 209
Construcciones en clima frío..... 210
Construcciones en clima cálido..... 211
El agua..... 213
Exposición a sustancias químicas agresivas..... 214
Abrasión..... 216
Corrosión del acero y de otros materiales inmersos en el concreto..... 218
Reacciones químicas de los agregados..... 220
Lixiviación por aguas puras..... 220

Capítulo 8 – La corrosión de las estructuras de concreto

1. Introducción..... 225
2. Naturaleza del fenómeno..... 225
3. Mecánica de la corrosión..... 226
4. Calidad del concreto..... 230
5. Condiciones ambientales..... 233
6. Superficie del acero..... 234
7. Corrientes eléctricas erráticas..... 234
8. Iones cloruros..... 235
9. Patologías por la presencia de sulfatos..... 236
10. Carbonatación..... 238

11. Lixiviación por aguas blandas..... 240

12. Consecuencias de la corrosión..... 240

13. Influencia de las fisuras..... 243

14. Prevención y protección contra la corrosión..... 243

Anexos – Ayudas de diseño

1. Sistema Internacional de unidades SI..... 247

Propiedades de las secciones..... 248

Diagramas de vigas..... 253

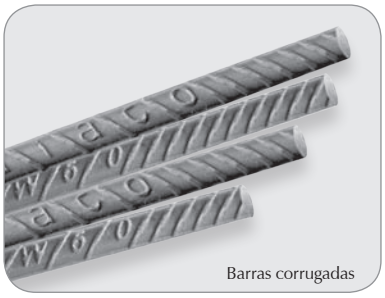
Factores de conversión..... 264

Bibliografía..... 267

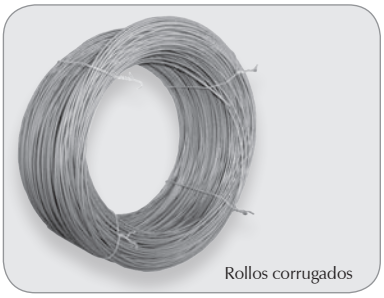
Construcción

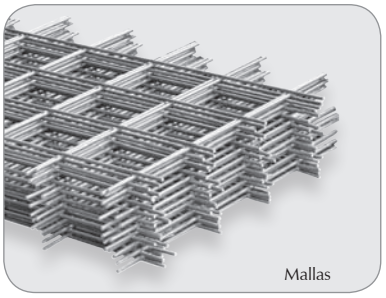
Aplicaciones

Especial para el refuerzo del concreto en obras sismo resistentes: en el amarre del concreto en obras civiles e infraestructura, como refuerzo en losas, entrepisos, pavimentos y muros de viviendas.

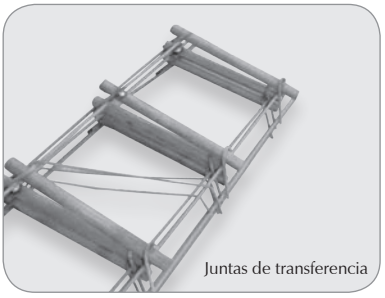

Barras corrugadas

Acero figurado y armado


Rollos corrugados


Mallas

Grafil

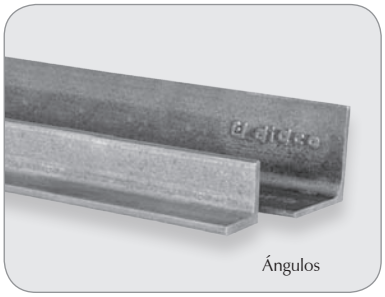

Juntas de transferencia

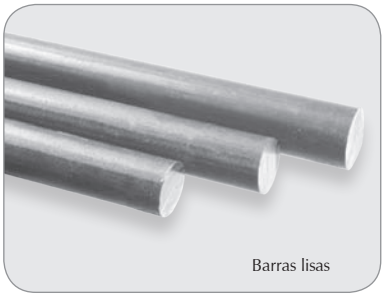
Alambre negro

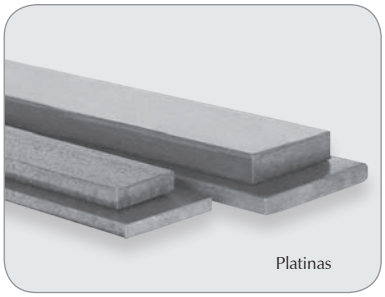
INDUSTRIA

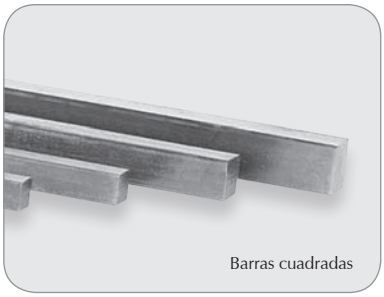
Aplicaciones

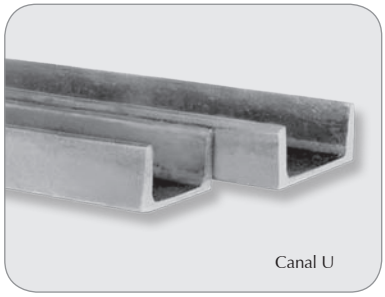
Como materia prima en: torres de comunicación, torres de transmisión de energía eléctrica, puentes vehiculares y peatonales, cubiertas, soportes guiados, señalización, muebles, ventanas, estanterías y carrocerías; industria metalmecánica, ornamentación y estructuras remachadas, atornilladas o soldadas.

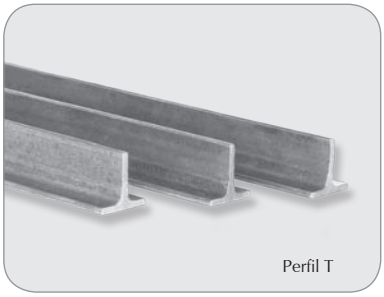

Ángulos


Barras lisas


Platinas


Barras cuadradas


Canal U


Perfil T

Alambrón trefilable

Trefilables

CARACTERÍSTICAS	
GRADOS	**APLICACIÓN**
1008	En calidad drawn y mesh como materia prima para la industria
1010	
1015	
1016	
1018	
1020	

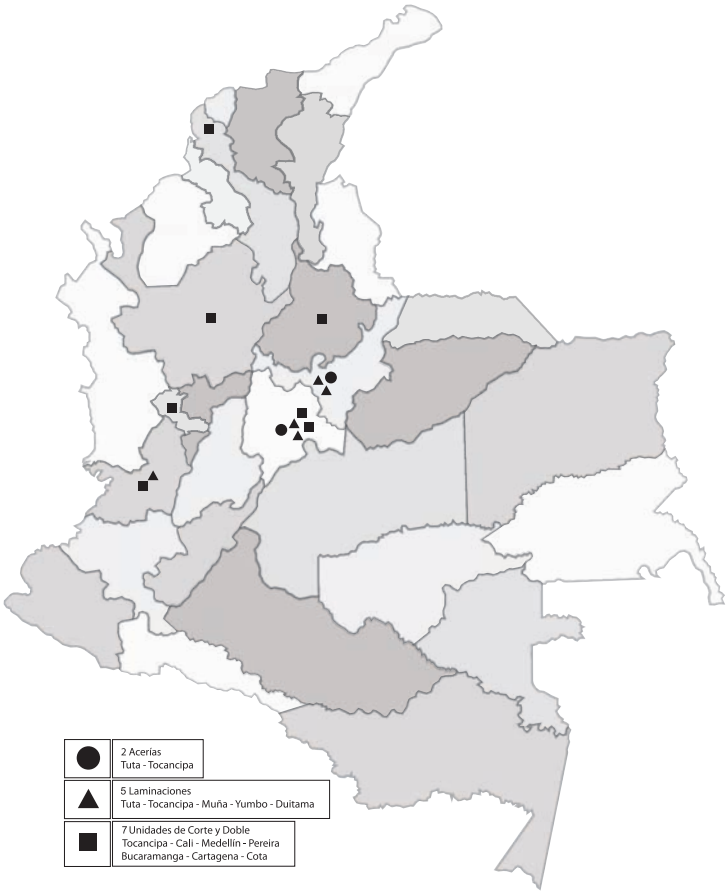
GERDAU
DIACO

capítulo 0

Prefacio

Gerdau Diaco

Empresa perteneciente al grupo Gerdau, empresa líder en el sector siderúrgico colombiano es la resultante de los procesos de consolidación de la industria siderúrgica colombiana desde 1938. Actualmente Gerdau Diaco cuenta con un esquema de gestión de negocio fundamentado en procesos operacionales y de soporte que le permiten entregar productos de acero de alta calidad y satisfacer las demandas de todos lo públicos vinculados a su operación.



La capacidad industrial actual instalada de Gerdau Diaco es:

Dos (2) acerías, seis (6) laminaciones, ocho (8) unidades de corte y doble y cinco (5) centros de acopio.

Que por su ubicación estratégica permiten atender las necesidades de todo el territorio nacional.

Con esta capacidad instalada Gerdau Diaco fabrica y comercializa productos largos de acero para la construcción y la industria. Dentro del modelo de gestión de la organización cabe resaltar su especial interés por la gestión de la seguridad de las personas, gestión ambiental y gestión de calidad.

Gestión ambiental

Gerdau Diaco cuenta con un sistema de gestión ambiental consolidado cuya finalidad es el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente, propiciar procesos sostenibles y buscar las mejores prácticas que garanticen el control de los impactos ambientales de todas sus operaciones en Colombia.

El departamento de Gestión Ambiental esta compuesto por un equipo interdisciplinario altamente capacitado en la implementación de prácticas que conduzcan a la producción limpia, involucrando a cada uno de los colaboradores en la gestión ambiental de cada uno de sus procesos operativos.

El proceso de aprovechamiento de chatarra y reciclaje de elementos de origen metálico ferroso implica ventajas ambientales al disminuir la demanda de recursos naturales no renovables. Así mismo Gerdau Diaco viene gestando el aprovechamiento de todos los residuales de sus procesos industriales y posicionándolos en el mercado para ser aprovechados como materia prima para distintas industrias.

Gerdau Diaco es la primera siderúrgica en Colombia en obtener la certificación ISO 14001 para su operación en el municipio de Tuta, Boyacá. El grupo Gerdau realiza esfuerzos por implementar y certificar todas sus operaciones, en Colombia avanzamos decididamente a obtener el sello en Gestión Ambiental para nuestras unidades siderúrgicas.

De igual manera Gerdau Diaco como proveedor apoya decididamente a sus clientes y usuarios en los procesos de certificación y mejores prácticas de construcción sostenible, lo anterior hace de Gerdau Diaco una empresa comprometida con el desarrollo sustentable de las comunidades de influencia.

Gestión de la calidad

Utilizando como marco de referencia la política de Calidad Gerdau Diaco ha implementado un sistema fundamentado en prácticas de excelencia

que le permite garantizar el cumplimiento todas las normas aplicables a los productos que fabrica y comercializa. Gerdau Diaco fue la primera empresa siderúrgica en obtener la certificación ISO 9001 que desde 1996 valida su modelo de gestión de calidad.

SELLO DE CALIDAD ICONTEC
ICONTEC QUALITY MARK
NTC 2289
(7ª Actualización)
Barras corrugadas de acero
DIACO S. A.
NTC 2289 (7ª Actualización)
Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación, para refuerzo de concreto.
Low-Alloy Steel Deformed Bars and Plain for Concrete Reinforcement.

ICONTEC
CERTIFICADO
ISO 9001
DIACO S.A.
ISO 9001:2000 - NTC-ISO 9001:2000
Esta Certificado es aplicable a las siguientes actividades:
Fabricación y comercialización de productos de acero al carbono para la construcción y la industria
Planufacturing and commercialization of carbon steel products for industrial and construction use

Adicionalmente y considerando que la única forma de brindar seguridad a los usuarios de nuestro producto barras de acero para uso como refuerzo de concreto en construcciones sismo resistentes Gerdau Diaco cuenta con sello de conformidad de producto bajo norma NTC 2289 otorgado desde 1986 y revalidado hasta la fecha por Icontec.

Todos los productos fabricados por Gerdau Diaco tienen la identificación en alto relieve en el producto y debidamente marcado por unidad de empaque con etiquetas que permiten su reconocimiento y diferenciación en el mercado. En adición a esto cada uno de los despachos de producto se acompaña del correspondiente reporte de conformidad en el cual se consignan todas las especificaciones exigibles por su correspondiente norma vigente aplicable.

GERDAU
DIACO

capítulo 1

El acero para las estructuras de concreto

1. Introducción

La construcción de estructuras de concreto reforzado utiliza acero al carbono, el cual es un material cuya composición química es compleja. Además del hierro, cuyo contenido es de más del 98%, la aleación Acero esta compuesta de una gran variedad de elementos químicos que debido a su proceso de producción (manganeso y silicio), a la dificultad que representa extraerlos (azufre, fósforo, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno), o a la casualidad de que se encuentren presentes (cromo, níquel, cobre y otros metales) hacen de esta aleación un material muy útil para uso en aplicaciones de construcción e ingeniería.

Figura 1.1 – Siderurgia - Acuarela Demetrio Lozada Montero.

El acero se obtiene cuando el mineral de hierro se reduce en presencia carbono, se afina, se conforma mecánicamente y se da tratamiento térmico con lo cual adquiere gran resistencia, elasticidad y ductilidad. El carbono presente en el acero, modifica algunas propiedades como la maleabilidad, tenacidad, dureza, soldabilidad, entre otras.

Al aumentar el contenido de carbono, se logra elevar la resistencia, de igual manera aumenta el índice de fragilidad en frío disminuyendo la ductilidad y tenacidad.

Los aceros que se obtienen en la industria provienen de la adición cuidadosa de carbono en los aceros comunes y dependiendo de las adiciones o de los materiales aleantes que contenga; el acero modifica sus propiedades por lo que a estas ultimas aleaciones se les denominan aceros especiales.

Tabla 1.1 - Estados alotrópicos del acero

Estado	Material formado	Temperatura	Propiedades
1	Hierro, o ferrita	Hasta 911 C	Cristaliza en el sistema cúbico centrado (BCC) Dúctil y maleable Disuelve pocas cantidades de carbono
2	Hierro, o austenita	Entre 911 y 1400 C	Cristaliza el sistema BCC
3	Hierro	Entre 1400 y 1538 C	Cristaliza de nuevo el BCC
4	Cementita	Más de 1538 C	Estado líquido. Al añadir carbono se forma carburo de hierro Fe_3C

2. Proceso de fabricación

La producción del acero se realiza a partir de dos materias primas:

- **Mineral de hierro:** este proceso se conoce como siderurgia integrada
- **Acero reciclado o chatarra:** este proceso se conoce como siderurgia semi integrada.

En Colombia se tienen ejemplos de ambos sistemas de producción. Gerdau es líder mundial en la operación de unidades siderúrgicas semi integradas, siendo el reciclaje del acero uno de los pilares de su operación. En Colombia el grupo opera dos acerías semi integradas.

Figura 1.2 – Arrume de la chatarra como materia prima para la producción del acero en una siderúrgica semi integrada.

Reducción

El acero se obtiene a partir de procesos industriales y metalúrgicos denominados procesos siderúrgicos, el primer paso para la producción de acero se realiza con la reducción del mineral de hierro en presencia de carbón coque y caliza, generalmente el hierro se presenta en la naturaleza de manera abundante en forma de hidróxidos de hierro; este proceso se lleva a cabo en el Alto Horno y su producto se conoce como arrabio.

Acería

El arrabio o la chatarra son los insumos para el siguiente paso, muchas veces se combinan en las acerías estos dos materiales para obtener aceros apropiados para cada aplicación y necesidad de los públicos interesados. Los tipos de acería más usados en el mundo son el convertidor básico al oxigeno y el horno eléctrico.

Las siderúrgicas Semi-integradas contemplan un proceso de preparación de chatarra, la cual incluye selección, corte, fragmentación y compactación que busca mejorar la eficiencia de la fusión del acero.

El proceso de acería tiene dos fases:

Fase de fusión:

En el proceso de fusión, que se realiza por la acción de un arco eléctrico, se agregan otras materias primas como caliza, coque y oxigeno para formar la escoria que elimina las impurezas, obteniendo un acero puro y homogéneo con la calidad requerida.

Fase de afino:

Se realiza en el horno cuchara. Inicialmente se reducen los elementos indeseables en la aleación. Y se adicionan ferroaleaciones con contenido de elementos aleantes requeridos de acuerdo al requisito de la especificación de cada tipo de acero como: cromo, níquel, molibdeno, vanadio, titanio, etc.

Este proceso se repite hasta conseguir una colada homogénea de acero con las características químicas solicitadas.

Durante el proceso acería, se controla la temperatura, homogeneidad, y se ajusta la composición química mediante el análisis químico de cada colada; este procedimiento se realiza por lo menos tres veces en espectrómetros de rápida interpretación para definir la composición y características de cada colada.

Colada continúa:

La palanquilla es el resultado final del proceso de acería, se obtiene a partir del vertido del acero líquido en moldes que poseen refrigeración y agitación controladas, con este mecanismo se obtiene acero en estado sólido y con las características de su macro-estructura adecuadas para cada aplicación.

Figura 1.3 – Palanquillas en su etapa de conformado y posterior corte.

3. Laminación

Mediante un proceso de laminación en caliente, aproximadamente a 1.100 °C, la palanquilla se transforma en los productos comerciales como las Barras de Refuerzo, Alambrones y Perfiles. Gerdau es líder mundial en la fabricación de aceros largos para uso en construcción o en diferentes industrias. La laminación consiste entonces en la conformación mecánica del acero mediante el paso sucesivo a través de rodillos que reducen el tamaño de su sección. Este proceso se lleva a cabo mediante tres etapas: precalentamiento, calentamiento, desbaste, tren intermedio y tren y/o bloque acabador.

Tren de laminación

El paso a través del tren de laminación permite trasformar la palanquilla de sección cuadrada, al pasar por entre pares de rodillos que giran a la misma velocidad pero en sentido contrario. Así se reduce la sección transversal y se aumenta la longitud de la barra de acero en cada paso; este proceso aprovecha la propiedad de ductilidad del acero. Es por esto que las propiedades del producto dependerán mucho de la calidad (composición química) del acero que se utilice así como de las condiciones (temperatura, velocidad, reducciones, acabado) en el proceso de laminación. Este proceso, se puede realizar en frío o en caliente. La laminación en caliente aprovecha el aumento de la ductilidad del material directamente proporcional a la temperatura, lo que ayuda al alivio de tensiones durante el proceso de conformación mecánica.

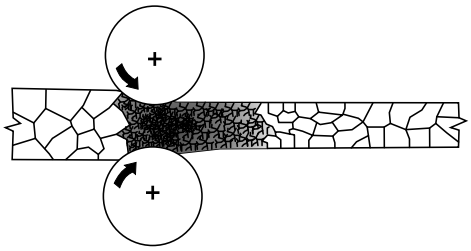


Figura 1.4 – Proceso de conformación mecánica en caliente.

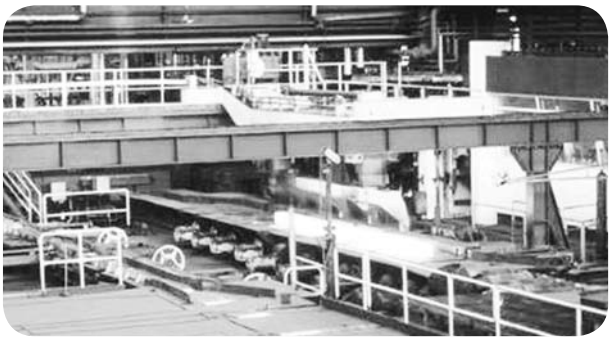


Figura 1.5 – Tren de laminación.

En el desbaste se producen las primeras deformaciones a la palanquilla acondicionándola para los siguientes pases, se eliminan asperezas y buena parte de la calamina (capa de óxido superficial). En el tren intermedio se deforma la barra de acero en diferentes tipos de secciones realizando las reducciones necesarias para ajustar la sección final al tipo de perfil y a las tolerancias deseadas.

En el tren de acabado se obtienen secciones uniformes mediante pasos finos que logran el acabado superficial y ajustan las tolerancias deseadas de cada producto. El bloque acabador esta presente en la conformación de alambrones, el bloque acabador consiste en una serie de rodillos que trabajan en una sola unidad cerrada ya que las barras pasan a grandes velocidades y están fabricados con materiales de gran dureza que dan el acabado y tolerancias dimensionales a los alambrones; posteriormente la barra pasa por el formador de espiras que logra espiras continuas que conformarán un rollo.

Figura 1.6 – Proceso de laminación, formador de espiras.

4. Enfriamiento y corte

Al término de la laminación la barra se somete a un enfriamiento rápido con el fin de modificar la estructura de grano y conseguir una estructura de grano fino. En este proceso se consigue que la zona externa de la barra sea

dura y resistente y la zona interior dúctil con lo cual se consiguen mejores propiedades mecánicas para su función estructural en construcciones de diseño sismo resistente.

Las barras se cortan a longitudes comerciales: 6.00, 9.00, 12.00 y 14.00 m.

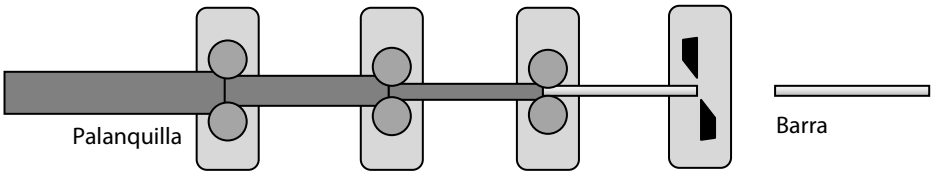


Figura 1.7 – Esquema del proceso de transformación de la palanquilla en varilla mediante la laminación.

5. Propiedades

Alargamiento: Alteración de la longitud por unidad de longitud original, generalmente expresada en porcentaje.

Deformación elástica: Cuando una carga a tracción se aplica a una probeta de acero esta se torna levemente más larga, pero al retirar la carga la longitud retorna a su dimensión original.

Deformación plástica: La deformación permanece aún cuando se retira la carga.

Resistencia: Es la carga máxima soportada por una probeta sometida a tracción antes de romperse.

Resistencia a la fluencia: Es la capacidad del material de soportar la deformación plástica, es la carga límite a partir de la cual el comportamiento del material cambia del estado elástico al estado de deformación plástica.

Ductilidad: Se dice que un material es dúctil si tiene capacidad para deformarse sin romperse. La deformación del acero a partir de la fluencia es denominada ductilidad. Gracias a esta propiedad, las estructuras de concreto resultan económicas puesto que ellas se diseñan para que además de poseer suficiente capacidad resistente, tengan capacidad para disipar la energía de deformación que le impone la fuerza sísmica, mediante su flexibilidad dentro de ciertos límites que corresponden a su deformación. La ductilidad es por tanto seguridad, puesto que por ella se advierten las deformaciones antes del colapso.

La ductilidad se consigue gracias al proceso de enfriamiento que se realiza desde el exterior al interior de la barra. La ductilidad se la considera como reserva de la capacidad resistente, y en ella se fundamenta la teoría del diseño plástico para construcciones sismorresistentes.

Dureza: Es la resistencia que presenta el acero a ser penetrado. Es variable dependiendo de la composición química del acero.

Tenacidad: Es la capacidad del acero para absorber energía en grandes cantidades.

Temperatura: Las propiedades mecánicas del acero se afectan de forma dramática por causa del fuego. El aumento de temperatura provoca un incremento de longitud que se expresa mediante la ecuación: ∂L= ∂a t L, en la que es el coeficiente de dilatación térmico (1.2 x 10-5.)

6. Barras de acero estructural corrugado

Las barras de acero para uso como parte del concreto reforzado dentro de la industria de la construcción, provienen del proceso de laminado en caliente. Poseen corrugas o resaltes que mejoran considerablemente la adherencia al concreto cuya configuración se encuentra normalizada. Su ductilidad permite la disipación de la energía de deformación, con lo cual se consigue que el reforzamiento de las edificaciones resulte más económico y sobre todo más seguro.

Figura 1.8 – Barras de acero en obra.

7. Normas de fabricación

Ante la inmensa variedad de tipos de acero resultantes de las múltiples posibilidades de producción de diversos tipos de acero, resultan necesarias las normas de producción que establecen la composición y características de los materiales, tales como las AISI (vigentes desde 1930), ASTM, DIN o ISO.

Para el caso colombiano en todo el territorio nacional la norma que aplica para el acero para refuerzo de concreto en construcciones sismo resistentes es la Norma Técnica Colombiana NTC 2289 (Equivalente ASTM A 706): "Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación para refuerzo de concreto".

8. Control de calidad

Según los resultados obtenidos, se verifica el cumplimiento de la norma colombiana NTC 2289 (ASTM A706, A706M) y se procede a reportar la conformidad del producto. Los resultados de los ensayos, permiten expedir un reporte de conformidad del producto para el lote ensayado y garantía de uso por parte del usuario.

El control de calidad de la fabricación del acero, se realiza en cada etapa desde el escogimiento de la chatarra hasta la verificación de las dimensiones después de la laminación en caliente, pasando por su composición química, propiedades físicas y mecánicas. Para estos efectos se toman muestras que se someten a pruebas normalizadas de tracción con lo que se verifican las propiedades mecánicas tales como fluencia, resistencia máxima, alargamiento y rotura. Complementan los ensayos la prueba de doblado en la cual se establece que en la barra no pueden aparecer agrietamientos en la zona de tracción al ser sometida a un ensayo normalizado. Los resultados de los ensayos permiten establecer las características de calidad que son reportadas en un reporte de conformidad de producto el cual contiene la información exigida de acuerdo con la norma de fabricación del producto.

Figura 1.9 – Máquina universal de ensayos para evaluación de probetas con software especializado.

Los ensayos mediante los cuales se controla la calidad del acero de refuerzo son:

Ensayo de composición química

Se trata de establecer la composición química o relación de elementos que conforman el material de las barras cuyos valores máximos de acuerdo con las Normas ASTM A 706 M son:

Tabla 1. 2–Requisitos de composición Química de Producto NTC 2289

Elemento	% máximo
Carbono	0.33
Manganeso	1.56
Fósforo	0.043
Azufre	0.053
Silicio	0.55

El carbono equivalente (CE) es un parámetro que expresa la soldabilidad, el cual no puede exceder 0.55%.

Ensayo de tracción con probeta normalizada

Mediante esta prueba, se somete un trozo de varilla en la denominada Máquina Universal a un esfuerzo de tracción creciente hasta producir la rotura de la varilla con lo cual se pueden establecer diversos aspectos tales como:

- Módulo de Elasticidad (E) : También denominado Límite de proporcionalidad, es la relación entre la carga y la deformación que ella produce. Usualmente, este valor identifica al material pero debe observarse que la relación solo es válida dentro del rango elástico del material.
- Coeficiente de Poissons con el cual se establece la proporción entre el alargamiento longitudinal y el acortamiento transversal a la dirección de la fuerza.
- Limite de proporcionalidad o de fluencia: que corresponde al límite hasta el cual la deformación es proporcional a la carga aplicada (fy).
- Límite elástico (fy)
- Carga de rotura o resistencia a la tracción (fr)
- Alargamiento de rotura
- Estricción: magnitud de la reducción de la sección recta que se causa en la zona de rotura.

Como resultado del ensayo se obtiene la curva esfuerzo-deformación, en la que se observan cuatro zonas de características muy definidas a saber:

Zona A: Comportamiento elástico o de proporcionalidad. Se cumple que al retirar la carga, desaparece la deformación. La pendiente de la recta corresponde al Módulo de Elasticidad o de Young y es característico del material. El valor más alto del esfuerzo se denomina Límite de Fluencia (fy). Aparecen dos zonas: la primera recta y la segunda curva y la transición entre ellas es el límite de proporcionalidad. Usualmente se estable un límite práctico señalando una deformación (0.2%, 0.1%, etc.) trazando una recta paralela al tramo recto.

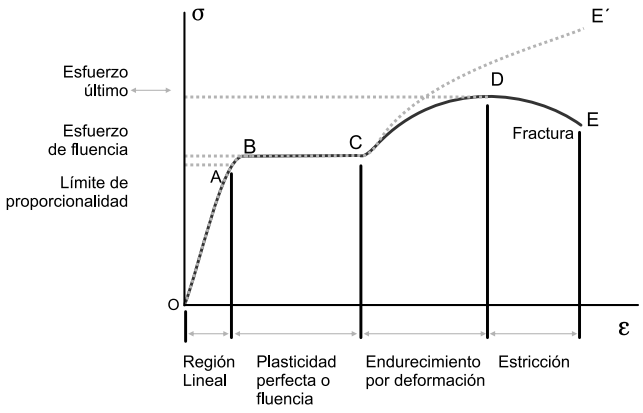


Figura 1.10 – Diagrama esfuerzo-deformación de una barra de acero.

Zona B: Punto de fluencia o lugar donde la varilla "cede" abruptamente sin incremento de carga. Tal fenómeno se presenta por causa de las impurezas o elementos de aleación que impiden el deslizamiento de la red de cristales, creando un mecanismo que permite romper las dislocaciones produciendo bruscamente la deformación.

Zona C: Deformaciones plásticas. Al retirar la carga se recupera parcialmente la deformación.

Zona D: Se presenta una disminución de la sección recta por estricción con acumulación de deformación hasta la rotura de la probeta, por lo cual el esfuerzo muestra un descenso en la gráfica.

Al finalizar el ensayo se determina la carga de rotura, carga última o resistencia a la tracción; la máxima resistida por la probeta dividida por la sección inicial, el alargamiento (%) y la estricción en la zona de la rotura.

Masa por unidad de longitud

La masa por unidad de longitud de una barra de acero es la medida más adecuada para calcular el diámetro y por tanto el área de la sección transversal del elemento. Se acepta una tolerancia de hasta el (-) 6% sobre la masa nominal de la barra de refuerzo.

Características del corrugado

La adherencia de las barras y el concreto se logra mediante las corrugas o resaltes, por lo que se requiere establecer su relieve, separación y trazado.

Figura 1.11 – Detalle de la identificación y de las corrugaciones en barras.

Ensayo de ductilidad

La capacidad de deformación de una barra de acero en el campo plástico se denomina ductilidad, la cual se determina dentro del ensayo de tracción como el porcentaje de alargamiento que experimenta la barra a partir de una longitud previamente señalada en la barra (usualmente 200 mm).

La Norma NSR-10 establece los requisitos de ductilidad siguientes:

Tabla 1.3 – Porcentaje mínimo de elongación en 200 mm

N° de la barra	% de alargamiento
2, 4, 5 y 6	14%
7, 8, 9, 10 y 11	12%
14 y 18	10%

Ensayo de doblado

Mediante el doblado de la barra en condiciones predefinidas se trata de determinar el efecto sobre la superficie exterior de la porción doblada. El ensayo se realiza de forma lenta y constante para permitir el deslizamiento de la barra y controlando que el eje de la barra permanezca perpendicular al eje del doblamiento. El ensayo evalúa el agrietamiento o rotura de la parte exterior de la zona doblada.

Productos Gerdau Diaco para refuerzo de concreto

Corte y doble (acero de refuerzo figurado)

Gerdau Diaco como líder en el mercado siderúrgico ha consolidado su operación ofreciendo a los constructores el servicio de corte y doble a medida. El proceso de corte y doble (figurado), consiste en fabricar un producto de acuerdo a las especificaciones, al despiece o plano estructural de cada proyecto. Por medio de un software especializado se realiza la orden de producción para entregar un producto satisfaciendo los requisitos de la industria moderna de la construcción, donde los materiales son despachados a la obra justo a tiempo, evitando inconvenientes de almacenamiento, desperdicio y mejorando el flujo de caja del proyecto.

Entre las ventajas del uso de acero cortado y doblado a medida, podemos destacar:

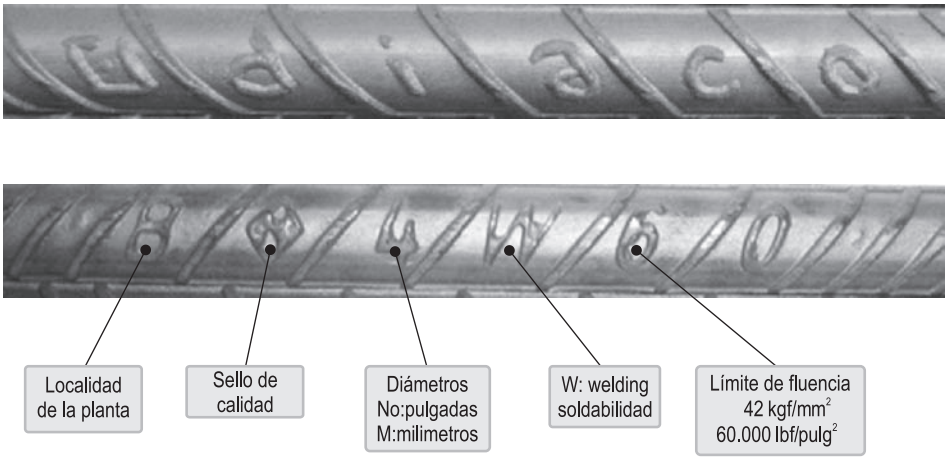
- Cero desperdicio en obra: muchas de las figuras en los planos involucran cortes de los materiales teniendo grandes desperdicios de acero, con el servicio de Corte y Doble el desperdicio es asumido por el proceso industrial.
- Mayor rapidez en la colocación del refuerzo: al llegar a la obra, el acero esta listo para armar los elementos estructurales; de esta manera se optimiza el rendimiento de cuadrillas, equipos y también la programación de obra.
- Menor posibilidad de pérdida de material: en cada unidad de empaque de acero figurado Gerdau Diaco van identificados cada uno de los elementos estructurales, de acuerdo a la cartilla de aceros; mejorando el control de inventarios y almacenes.
- Mayor rentabilidad: disminuye costos fijos en herramienta y mano de obra.
- Menor inventario de acero en la obra: Ahorro de espacio, mejora el orden en la obra, el control del material e incluso el flujo de caja del proyecto.
- Cumple con las normas de figuración y con la norma NSR-10.

Todo el acero despachado por Gerdau Diaco cumple con las características de calidad de la norma NTC 2289, adicionalmente el servicio de Corte y Doble garantiza la trazabilidad de todo el proceso, con lo anterior se satisfacen los requisitos y las prácticas de calidad de las obras.

Barras corrugadas NTC 2289

Barras de acero con núcleo de sección circular, longitud continua (rectas) en cuya superficie existen salientes denominadas corrugas, obtenidas por laminación en caliente. Los resaltes o estrias se encuentran a lo largo de su eje longitudinal con lo cual se adquiere especial beneficio como refuerzo del concreto y construcciones afines. Los resaltes inhiben el movimiento longitudinal relativo de la barra respecto al concreto que la rodea.

Reconozca nuestras barras de acero para refuerzo de concreto, las que cumplen todas las normas para construcciones sismo resistentes.



Características del producto

Tabla 1. 4 - Propiedades dimensionales de las barras corrugadas GERDAU DIACO NTC 2289 - designación octavos de pulgada

Número de designación	Masa nominal	Tolerancia Mas a Mín.	Diámetro Nominal	Área nominal sección transversal	Perímetro nominal	Ancho Máx. Vena	Promedio máximo del espaciamiento entre resaltes	Promedio mínimo de la altura del resalte
	(Kg/m)	(Kg/m)	(mm)	(mm2)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
2	0,249	0,234	6,35	31,7	19,95	2,49	4,45	0,25
3	0,560	0,526	9,53	71	29,94	3,74	6,67	0,38
4	0,994	0,934	12,70	12 7	39,90	4,99	8,89	0,51
5	1,552	1,459	15,88	19 8	49,89	6,24	11,12	0,71
6	2,235	2,101	19,05	28 5	59,85	7,48	13,34	0,97
7	3,042	2,859	22,23	38 8	69,84	8,73	15,56	1,12
8	3,973	3,735	25,40	50 7	79,80	9,97	17,78	1,27
10	6,404	6,020	32,26	81 7	101,35	12,67	22,58	1,63

Tabla 1.5 - Propiedades dimensionales de las barras corrugadas GERDAU DIACO NTC 2289 - designación milimétrica

Número de designación	Masa nominal	Tolerancia Masa Mín.	Diámetro Nominal	Área nominal sección transversal	Perímetro nominal	Ancho Máx. Vena	Promedio máximo del espaciamiento entre resaltes	Promedio mínimo de la altura del resalte
	(Kg/m)	(Kg/m)	(mm)	(mm2)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
7,5 M	0,347	0,326	7,50	44,2	23,56	2,95	5,25	0,30
8,0 M	0,395	0,371	8,00	50,3	25,13	3,14	5,60	0,32
8,5 M	0,446	0,419	8,50	56,7	26,70	3,34	5,95	0,34
9,0 M	0,500	0,470	9,00	63,6	28,27	3,53	6,30	0,36
11,0 M	0,747	0,702	11,00	95,0	34,56	4,32	7,70	0,44
12,0 M	0,888	0,835	12,00	113,1	37,70	4,71	8,40	0,48
15,0 M	1,388	1,305	15,00	176,7	47,12	5,89	10,50	0,68

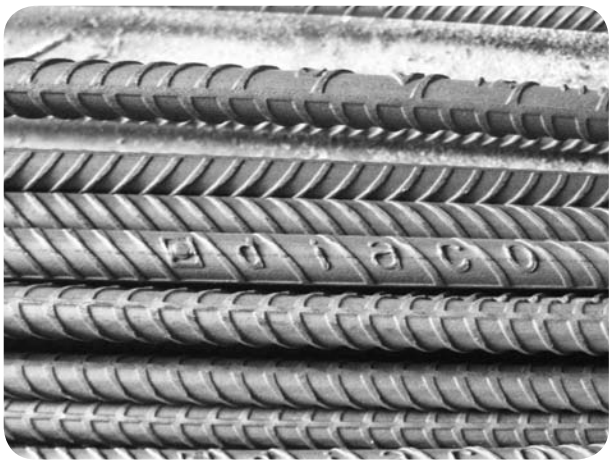


Figura 1.12 – Detalle de la identificación de la marca aceros Gerdau Diaco.

Notas:

(1) La tabla 2 se presenta de manera informativa, las referencias especificadas no son referencias en stock.

(2) La masa mínima en esta ficha de producto corresponde al nominal de la Norma NTC 2289 con una tolerancia de - 6% por metro. En ningún caso el sobrepeso (exceso de masa) de cualquier barra corrugada será causa de rechazo.

(3) Las dimensiones nominales de las barras corrugadas son equivalentes a las de las barras lisas que tengan la misma masa nominal.

(4) La barra número 10 tiene un área de sección transversal equivalente al área de la sección transversal de un cuadrado de 11/8″ de pulgada.

Figura 1.13 – Detalle de la identificación del alambrón Gerdau Diaco NTC 2289.

Tabla 1.7 - Propiedades dimensionales de los alambrones corrugados GERDAU DIACO NTC 2289 - designación milimétrica

Número de designación	Masa nominal	Tolerancia Mas a Mín.	Diámetro Nominal	Área nominal sección transversal	Perímetro nominal	Ancho Máx. Vena	Promedio máximo del espaciamiento entre resaltes	Promedio mínimo de la altura del resalte
	(Kg/m)	(Kg/m)	(mm)	(mm2)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
7,5 M	0,347	0,326	7,50	44,2	23,56	2,95	5,25	0,30
8,0 M	0,395	0,371	8,00	50,3	25,13	3,14	5,60	0,32
8,5 M	0,446	0,419	8,50	56,7	26,70	3,34	5,95	0,34
9,0 M	0,500	0,470	9,00	63,6	28,27	3,53	6,30	0,36

Tabla 1.6 - Propiedades dimensionales de los alambrones corrugados GERDAU DIACO NTC 2289 - designación octavos de pulgada

Número de designación	Masa nominal	Tolerancia Mas a Mín.	Diámetro Nominal	Área nominal sección transversal	Perímetro nominal	Ancho Máx. Vena	Promedio máximo del espaciamiento entre resaltes	Promedio mínimo de la altura del resalte
	(Kg/m)	(Kg/m)	(mm)	(mm2)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
2	0,249	0,234	6,35	31,7	19,95	2,49	4,45	0,25
3	0,560	0,526	9,53	71	29,94	3,74	6,67	0,38
4	0,994	0,934	12,70	12 7	39 ,90	4,99	8,89	0,51

Tabla1.8 - Propiedades mecánicas de las barras y alambrones corrugados GERDAU DIACO NTC 2289

Propiedades Mecánicas	PSI	Kgf / mm2	Mpa
Resistencia a la Tracción (mínima).	80.000	56	550
Resistencia a la Fluencia (mínimo).(A)	60.000	42	420
Resistencia a la Fluencia (máximo).	78.000	55	540
Relación RU(f_r)/ RF(f_y) ≥ 1.25			
Número de designación	Alargamiento Mín. (B)		
2,3, 4, 5 y 6 (7.5M, 8M,8.5M,9M,11 M,12M)	14 %		
7, 8,10	12 %		

Tabla 1.9 - Propiedades de doblado de las barras y alambrones corrugados GERDAU DIACO NTC 2289 – requisito NTC 2289 y requisito NSR-10

	Doblado 180° (d=Diámetro del mandril)	
Número de designación	Ensayo	NSR-10 (C)
2, 3, 4, 5 (6M a 15M)	3d	6d
6, 7, 8 (16M a 25M)	4d	6d
10 (26M a 36M)	6d	8d

Notas:

(A) La resistencia a la fluencia debe determinarse al 0,35% de la deformación unitaria y tomando el área nominal de la barra para el cálculo del esfuerzo.

(B) Alargamiento mínimo realizado sobre probeta de 200 mm

(C) Requisito constructivo según Reglamento de construcciones sismorresistentes NSR-10 (C.7.2)

Refuerzo electrosoldado (MALLAS)

Armadura plana conformada por grafiles de acero, dispuestos en forma ortogonal y soldados en todos los puntos de intersección. Las mallas son

usadas como refuerzo del concreto en aplicaciones extensivas donde se necesite garantizar la cuantía del refuerzo y alto rendimiento en la construcción.

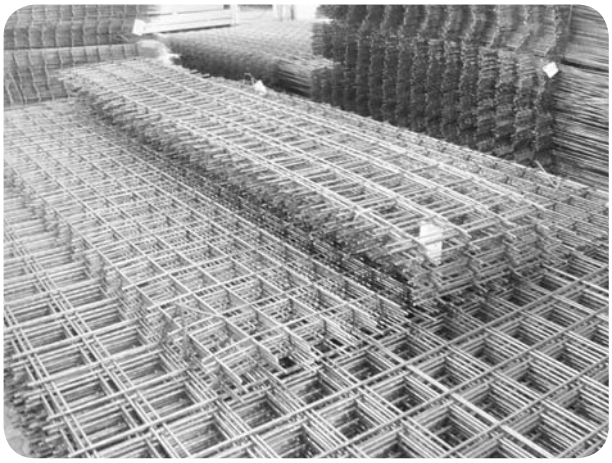


Figura 1.14 –Mallas electrosoldadas en almacenamiento en fábrica.

Tabla 1.10 - Propiedades dimensionales y cuantía del refuerzo electrosoldado GERDAU DIACO

Designación	No. de barras por malla		Diámetro		Separación		Longitud pelos		Peso	Cuantía principal
	Long	Trans	Long	Trans	Long	Trans	Long	Trans	Nominal	Nominal
	6.00	2.35	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg	cm^2/m
XY Mallas electrosoldadas GERDAU DIACO con refuerzo Principal en una dirección (Panel 2.35 x 6.00 m)										
XY-084	16	24	4.0	4.0	150	250	125	50	15.1	0.84
XY-106	16	24	4.5	4.0	150	250	125	50	17.6	1.06
XY-131	16	24	5.0	4.0	150	250	150	50	20.4	1.31
XY-158	16	24	5.5	4.0	150	250	125	50	23.5	1.58
XY-221	16	24	6.5	4.0	150	250	125	50	30.6	2.21
XY-257	16	24	7.0	5.0	150	250	125	50	37.7	2.57
XY-335	16	24	8.0	5.0	150	250	125	50	46.6	3.35
XY-378	16	24	8.5	5.0	150	250	125	50	51.5	3.78
XY Mallas electrosoldadas GERDAU DIACO con refuerzo Principal en dos direcciones (Panel 2.35 x 6.00 m)										
XX-0.50	10	24	4.0	4.0	150	150	125	50	11.5	0.50
XX-0.63	12	30	4.0	4.0	150	150	100	75	14.1	0.63
XX-084	16	40	4.0	4.0	150	150	75	50	18.8	0.84
XX-106	16	40	4.5	4.5	150	150	75	50	23.8	1.06
XX-131	16	40	5.0	5.0	150	150	75	50	29.3	1.31
XX-158	16	40	5.5	5.5	150	150	75	50	35.5	1.58
XX-188	16	40	6.0	6.0	150	150	75	50	42.2	1.88
XX-221	16	40	6.5	6.5	150	150	75	50	49.6	2.21
XX-257	16	40	7.0	7.0	150	150	75	50	57.4	2.57
XX-295	16	40	7.5	7.5	150	150	75	50	65.9	2.95
XX-335	16	40	8.0	8.0	150	150	75	50	75.1	3.35
XX-378	16	40	8.5	8.5	150	150	75	50	84.7	3.78
POP Mallas electrosoldadas GERDAU DIACO (Panel 2.00 x 3.00 m)										
POP-050	8	12	4.0	4.0	250	250	125	50	4.8	0.50
POP-063	10	15	4.0	4.0	200	200	100	75	5.9	0.63
POP-084	14	20	4.0	4.0	150	150	75	50	8.1	0.84

Tabla 1.11 - Propiedades mecánicas refuerzo electrosoldado GERDAU DIACO

Propiedades Mecánicas	PSI	Kgf / mm2	Mpa
Resistencia a la Tracción (mínima).	80.000	56	550
Resistencia a la Fluencia (mínima).	70.000	49	485

La fluencia se determina al 0,5% de la extensión bajo carga. Y el esfuerzo debe ser calculado sobre área nominal del grafil.

Doblamiento 90°	d=diámetro del mandril
D≤ 7,0	2d
D > 7,0	4d

El ensayo de doblado se realiza con una probeta tomada entre las soldaduras.

Tabla 1.12 - Propiedades mecánicas refuerzo electrosoldado GERDAU DIACO resistencia al esfuerzo cortante en la unión soldada

DESIGNACIÓN	Diámetro (mm)		Area nominal (mm2)		Esfuerzo Cortante (kg/cm^2)
	Long	Tran	Long	Tran	En la soldadura
XY-084	4.0	4.0	12.6	12.6	12.3
XY-106	4.5	4.0	15.9	12.6	12.3
XY-131	5.0	4.0	19.6	12.6	12.3
XY-158	5.5	4.0	23.8	12.6	12.3
XY-221	6.5	4.0	33.2	12.6	12.3
XY-257	7.0	5.0	38.5	19.6	12.3
XY-335	8.0	5.0	50.3	19.6	12.3
XY-378	8.5	5.0	56.7	19.6	12.3
XX-050	4.0	4.0	12.6	12.6	12.3
XX-063	4.0	4.0	12.6	12.6	12.3
XX-084	4.0	4.0	12.6	12.6	12.3
XX-106	4.5	4.5	15.9	15.9	12.3
XX-131	5.0	5.0	19.6	19.6	12.3
XX-158	5.5	5.5	23.8	23.8	24.6
XX-188	6.0	6.0	28.3	28.3	24.6
XX-221	6.5	6.5	33.2	33.2	24.6
XX-257	7.0	7.0	38.5	38.5	24.6
XX-295	7.5	7.5	44.2	44.2	24.3
XX-335	8.0	8.0	50.3	50.3	24.3
XX-378	8.5	8.5	56.7	56.7	24.3
POP-050	4.0	4.0	12.6	12.6	12.3
POP-063	4.0	4.0	12.6	12.6	12.3
POP-084	4.0	4.0	12.6	12.6	12.3

GERDAU
DIACO

capítulo 2

El proyecto estructural

1. Diseño estructural

De acuerdo con la Norma NSR-10, el diseño estructural debe ser realizado por un ingeniero civil facultado para ese fin, de acuerdo con la Ley. La estructura de la edificación debe diseñarse para que posea resistencia y rigidez adecuada ante las cargas mínimas de diseño establecidas en el Reglamento y debe verificarse además de que dispone de rigidez adecuada para limitar la deformabilidad ante las cargas de servicio, de tal manera que no se vea afectado el funcionamiento de la edificación.

En una primera etapa, el diseño se realiza mediante la selección del sistema estructural, predimensionamiento de los elementos estructurales, determinación de las cargas verticales, efectos sísmicos y demás acciones que actúen sobre la estructura.

Figura 2.1 – El proceso constructivo es una labor paso a paso, reproduciendo el concreto y el acero lo establecido en los planos de la obra.

El sistema estructural de resistencia sísmica de la edificación debe clasificarse dentro de uno de los sistemas estructurales establecidos en la Norma a saber: sistema de muros, sistema combinado, sistema de pórtico o sistema dual.

El Reglamento NSR-10 define limitaciones en el empleo de los sistemas estructurales de resistencia sísmica en función de la zona de amenaza sísmica donde se encuentre localizada la edificación, del tipo de material estructural empleado (concreto estructural, estructura metálica, mampostería estructural o madera), de la forma misma como se disponga el material en los elementos estructurales según esté en posibilidad de responder adecuadamente ante movimientos sísmicos como los esperados por medio

de su capacidad de disipación de energía, la cual puede ser especial (DES), moderada (DMO) o mínima (DMI); de la altura de la edificación y su grado de irregularidad.

La Capacidad de Disipación de Energía se define para un sistema estructural, un elemento estructural o una sección estructural, para trabajar dentro del rango inelástico de respuesta sin perder su resistencia. La capacidad de disipar energía se deriva del fenómeno de ductilidad o capacidad de un material para deformarse dentro del rango inelástico sin romperse.

El diseño se lleva a cabo de acuerdo con los requisitos del sistema de resistencia sísmica y del material estructural utilizado. Los elementos se deben diseñar y realizar su despiece de acuerdo con los requisitos para el grado de disipación de energía establecido en el Reglamento (NSR-10) con lo que se garantiza que la estructura en caso de un sismo, responderá con los objetivos de las normas sismo resistentes.

2. Sistemas estructurales

Se denomina sistema estructural el conjunto de elementos tales como muros, columnas, pantallas, vigas y entrepisos que en conjunto cumplen la función de soportar las cargas verticales y horizontales.

El Reglamento colombiano reconoce cuatro sistemas estructurales de resistencia sísmica, cada uno de los cuales se subdivide según los tipos de elementos verticales utilizados para resistir las fuerzas sísmicas y el grado de capacidad de disipación de energía del material estructural empleado.

De acuerdo con el Reglamento, los sistemas estructurales que se reconocen en Colombia son:

Sistema de muros de carga

Es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo y en el cual las cargas verticales son llevadas hasta la cimentación por los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales.

Sistema de pórticos

Es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, no arriostrado, que resiste todas las cargas verticales y las fuerzas horizontales.

Sistema combinado

Es un sistema estructural en el cual las cargas verticales son resistidas por un pórtico, resistente a momentos o no, esencialmente completo, y las

fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales.

Sistema dual

Es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, no arriostrado, que resiste todas las cargas verticales y las fuerzas horizontales.

3. Planos estructurales

Los planos arquitectónicos, estructurales y de elementos no estructurales, que se presenten para la obtención de la licencia de construcción deben ser iguales a los utilizados en la construcción de la obra, y por lo menos una copia debe permanecer en archivo de la Curaduría, departamento administrativo o dependencia distrital o municipal encargada de expedir las licencias de construcción.

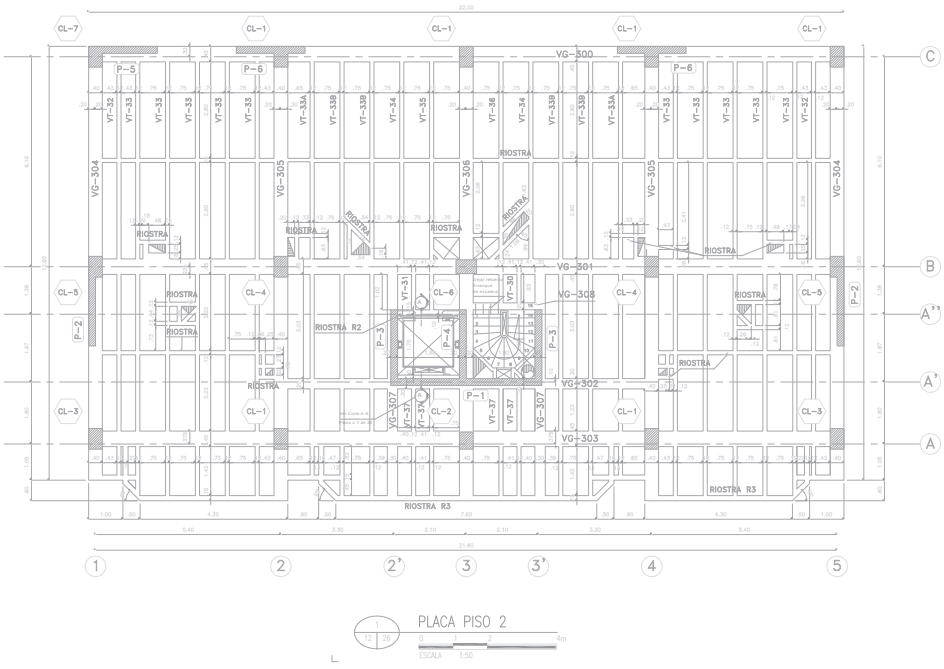


Figura 2.2 – Plano estructural de un entrepiso.

De acuerdo con la NSR-10, los planos estructurales deben ir firmados o rotulados, con un sello seco, por un ingeniero civil facultado para tal fin y quien obra como diseñador estructural responsable. Los planos estructurales deben contener como mínimo:

(a) especificaciones de los materiales de construcción que se van a utilizar en la estructura, tales como resistencia del concreto, resistencia del acero, calidad de las unidades de mampostería, tipos de morteros, calidad de la madera estructural, y toda información adicional que sea relevante para la construcción y supervisión técnica de la estructura. Cuando la calidad del material cambie dentro de la misma edificación, debe anotarse claramente cuál material debe usarse en cada porción de la estructura,

(b) tamaño y localización de todos los elementos estructurales así como sus dimensiones y refuerzo,

(c) precauciones que se deben tener en cuenta , tales como contraflechas, para contrarrestar cambios volumétricos de los materiales estructurales tales como cambios por variación en la humedad ambiente, retracción del fraguado, flujo plástico o variación de temperatura,

(d) localización y magnitud de todas las fuerzas de preesfuerzo, cuando se utilice concreto preesforzado,

(e) tipo y localización de las conexiones entre elementos estructurales y los empalmes entre los elementos de refuerzo,

(f) el grado de capacidad de disipación de energía bajo el cual se diseñó, el material estructural del sistema de resistencia sísmica,

(g) las cargas vivas y de acabados supuestas en los cálculos, y

(h) el grupo de uso al cual pertenece la edificación.

Según lo establece el Instituto Americano del Concreto (Requisitos esenciales para edificios de Concreto reforzado, Basados en ACI 318-02, Internacional Publication Series IPS-1), los planos estructurales se deben dividir en planos estructurales generales y planos o listado de detallado y colocación. Todos los planos deben estar firmados por el ingeniero o arquitecto que ejecutó el diseño, y todos ellos deben contener la siguiente información:

(a) Nombre del proyecto

(b) Fecha en que se realizó el diseño

(c) Nombre del diseñador estructural

(d) Nombre y fecha de la versión del código utilizado en el diseño

(e) Carga viva y demás cargas empleadas en el diseño

(f) Resistencia a la compresión del concreto especificada y la edad a la que se debe ensayar para cada elemento de la estructura

(g) Resistencia especificada o grado del refuerzo

(h) Cumplimiento de las limitaciones con respecto al uso y ocupación de los Requisitos esenciales.

La información que deben contener los planos estructurales generales incluye:

(1) Cotas completas y claras, de modo que toda la estructura pueda construirse sin necesidad de acudir a otra información.

(2) Forma y tamaño de todos los elementos estructurales, tales como zapatas, columnas, muros, vigas, viguetas y losas; en plantas, alzados y cortes, o en listados, o combinación de ellos.

(3) Niveles de la parte inferior de zapatas y muros, pisos y cubierta, y niveles de los soportes para mampostería.

(4) Secciones de los elementos estructurales. Diámetro y dimensión parcial y total de los flejes. Cantidad de ellos por elemento.

(5) Localización y detalles de la junta de construcción

(6) Cantidad o separación, posición, forma y tamaño de las barras. En algunos casos se presentan como listados separados para columnas, vigas, viguetas y losas.

(7) Localización y longitud de todos los empalmes por traslapos

(8) Refuerzo en zonas de confinamiento

(9) Contraflecha de los elementos horizontales como vigas de luces grandes y voladizos.

(10) Cortes especiales de las conexiones entre elementos mostrando la distribución del refuerzo requeridos.

(11) Notas generales como:

- Resistencia del acero. Si se requiere más de una resistencia, se debe especificar donde se requiere cada uno de ellas en la estructura.
- Resistencia del concreto para los diferentes elementos estructurales.
- Referencia a los planos de colocación y detallado.
- Referencia al Código con respecto a requisitos generales de diseño.
- Tipo de acabado sobre las superficies de las losas.
- Certificaciones del fabricante del acero de refuerzo, si se requieren.

- Se deben usar notas especiales cuando haya desviación con respecto a normas y tolerancias reconocidas o cuando se requieran instrucciones especiales por condiciones poco usuales del trabajo.

(12) Diagramas típicos que muestren la distribución de barras para todos los elementos de concreto, su soporte, distribución y espaciamiento.

Los planos o listados de detallado y colocación se realizan con dos propósitos:

(a) Generar detalles a partir de los cuales el constructor, o un proveedor del refuerzo, extracte la información necesaria para cortar y doblar el refuerzo.

(b) Obtener los detalles e instrucciones de colocación requeridas de modo como están siendo interpretados los planos estructurales generales. La aprobación de los planos de colocación por parte del diseñador indica que él acepta esa interpretación.

4. Memorias estructurales

Los planos estructurales que se presente para obtener Licencia de Construcción deben ir acompañados de la memoria justificada de cálculo, firmada por el ingeniero que realizó el diseño estructural. En esta memoria se debe incluir una descripción del sistema estructural usado, y además deben anotarse claramente las cargas verticales, el grado de disipación de energía del sistema de resistencia sísmica, el cálculo de la fuerza sísmica, el tipo de análisis estructural utilizado y la verificación de que las derivas máximas no fueron excedidas. Cuando se use un equipo de procesamiento automático de información, debe entregarse una descripción de los principios bajo los cuales se realiza el diseño y los datos identificables tanto de entrada al procesador automático como de salida

Según lo establece el Instituto Americano del Concreto (Requisitos esenciales para edificios de Concreto reforzado, Basados en ACI 318-02, Internacional Publication Series IPS-1), el diseñador estructural debe documentar todos los pasos del diseño en la memoria de cálculos. Esta memoria debe contener, como mínimo, lo siguiente:

(a) Los requisitos generales del proyecto.

(b) La descripción del sistema estructural empleado.

(c) Cargas empleadas

(d) Calidad, resistencia y normas del fabricante para todos los materiales estructurales.

(e) Justificación de todos los cálculos de diseño.

(f) Esquemas de disposición del refuerzo para todos los elementos estructurales.

5. Las especificaciones de obra

Para la ejecución de las obras se requiere establecer de la forma más clara posible, los procedimientos y metodologías que deben seguirse en los procesos propios de la construcción.

De acuerdo con la Norma NSR, las especificaciones para la Construcción de estructuras de concreto reforzado están basadas en la Norma ACI 301, que desarrolla los siguientes capítulos:

Capítulo 1 General

Capítulo 2 Materiales para el concreto

Capítulo 3 Dosificación

Capítulo 4 Formaletas

Capítulo 5 Refuerzo

Capítulo 6 Juntas e instalaciones embebidas

Capítulo 7 Producción del concreto

Capítulo 8 Colocación

Capítulo 9 Reparación de defectos superficiales

Capítulo 10 Acabado de las superficies de concreto

Capítulo 11 Losas

Capítulo 12 Curado y protección

Capítulo 13 Concreto a la vista

Capítulo 14 Concreto masivo

Capítulo 15 Concreto preesforzado

Capítulo 16 Ensayos

Capítulo 17 Evaluación y aceptación del concreto

Capítulo 18 Aceptación de la estructura

Capítulo 19 Apéndice A

Estas especificaciones contienen las consideraciones necesarias para realizar un proceso de construcción ceñido a las prácticas aceptadas especialmente para el manejo del acero de refuerzo y el concreto.

GERDAU
DIACO

capítulo 3

El acero en la obra

1. Planos estructurales: plantas y despieces

El diseño estructural de una edificación culmina con la elaboración de los planos estructurales en los que se establece las dimensiones de los elementos que conforman la estructura y para cada uno de ellos, se encuentra definido el acero de refuerzo, su configuración, espesor del recubrimiento, diámetro, longitud, ubicación y longitudes de los traslapos, distribución de flejes y separación entre ellos, etc. Cada elemento estructural debe poseer identificación al igual que debe señalarse su sección recta y en ella la disposición del refuerzo.

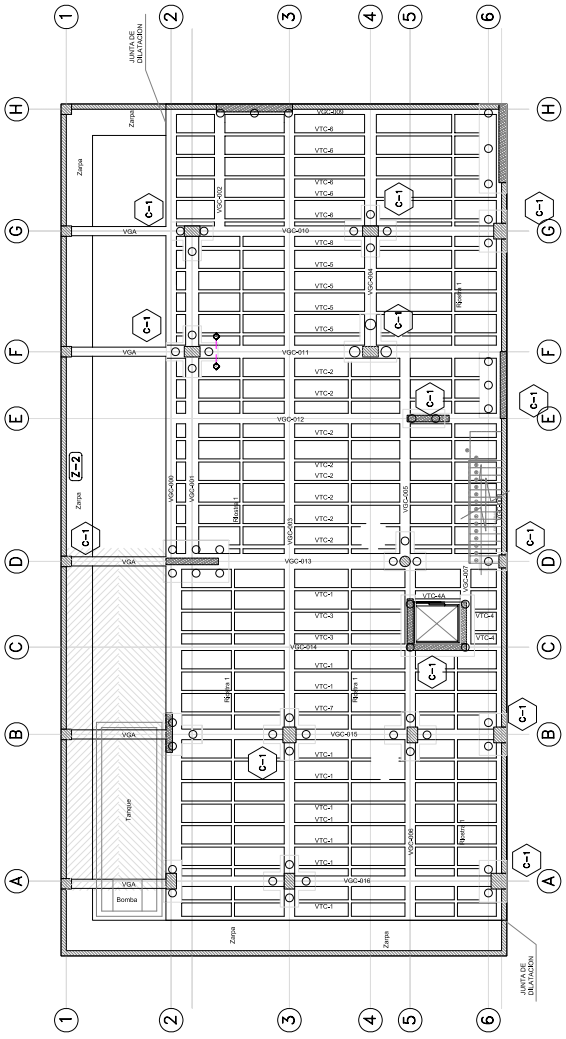


Figura 3.1 - Ilustración de una planta que contiene el diseño estructural de una placa aligerada apoyada en una estructura aporticada.

2. Elementos de la cartillas de despiece

Para efectuar la operación de armado del refuerzo de forma que se cumplan los requisitos establecidos en los planos que contienen el diseño estructural, se realiza la cartilla de despiece que es el recurso mediante el cual se elabora o configura la geometría de las barras para ser colocadas en el lugar establecido en el diseño.

Como ya se mencionó, la cartilla de despiece del acero de refuerzo se realiza a partir de la interpretación de los planos estructurales, razón por la cual quien ejecuta esta labor, debe poseer capacidad para interpretar diversos aspectos relacionados con el diseño y construcción de las estructuras de concreto. Resulta ventajoso que en esta etapa se verifiquen diversos aspectos tales como el diámetro del refuerzo, longitudes de corte o doblez, cantidad de varillas y repetición de elementos, etc.

A partir de una adecuada "memoria de las cantidades", ordenada y clasificada, es posible realizar la revisión de esta labor cuando se trata de determinar inconsistencias e incongruencias al establecer cuantías del refuerzo.

Es pertinente que quien desarrolle esta labor, posea suficiente criterio y experiencia para determinar errores u omisiones en el diseño, de manera que se permitan oportunas correcciones para el normal desarrollo en los trabajos propios del proceso de obra. Así, es posible detectar barras no identificadas, elementos estructurales no diseñados o sobrantes, cantidad de refuerzo que no cabe dentro del elemento, estribos de dimensiones que no satisfacen los recubrimientos mínimos establecidos en el Reglamento, etc.

Los despieces de algunos elementos contienen la totalidad de la información sobre la condición del refuerzo pero en algunos casos, el diseño señala solamente la sección del elemento dejando al constructor la responsabilidad de establecer el lugar de los traslapos, longitud del refuerzo y disposición del mismo. En tales casos, se debe calcular la cantidad del refuerzo longitudinal y transversal, preferencialmente con la aceptación del autor del diseño.

En otros casos se requiere relacionar cantidades de varillas rectas con las que se suplen algunos faltantes o consumos imprevistos que de otra forma podrían ocasionar retraso en el normal desarrollo del proceso de armado.

La información básica que contiene un formato para elaborar la cartilla del refuerzo es la siguiente:

Elemento

De acuerdo con el diseño estructural, cada elemento posee una denominación según se trate, como por ejemplo: Pilote PL, Caisson CSS, Muro MR, Dado DD, Viga de cimentación VGC, Zapatas ZP, Viga de amarre

VGA, Columna CL, Pantalla PT, Vigueta VT, Viga VG, Riostra RO, Viga de escalera VGE, Ménsula MS, Columnetas CLE, etc.

En cada caso, la denominación se realiza con una numeración complementaria, no necesariamente de manera secuencial puesto que se trata solo de una forma de identificación del elemento estructural.

Cantidad de elementos

Para cada sector, el diseñador agrupa la repetición de elementos, señalando el número de veces que se repite, lo cual está advertido en los planos estructurales. Es necesario establecer que solo se debe considerar repetición cuando las condiciones del análisis estructural pueden soportar tal decisión.

Diámetro de la barra

Se acepta, a pesar del uso del sistema métrico internacional de medidas, que las barras de refuerzo se identifiquen de acuerdo con el número de octavos de pulgada del diámetro, tal como se indica a continuación:

Tabla 3.1 C.3.5.3-2 NSR-10
DIMENSIONES NOMINALES DE LAS BARRAS DE REFUERZO
Diámetros basados en pulgadas

Designación de la barra (ver nota 2)	Diámetro en pulgadas	Dimensiones nominales			Masa kg/m
		Diámetro (mm)	Área (mm^2)	Perímetro (mm)	
N° 2	1/4"	6,4	32	20,0	0,250
N° 3	3/8"	9,5	71	30,0	0,560
N° 4	1/2"	12,7	127	40,0	0,994
N° 5	5/8"	15,9	199	50,0	1,552
N° 6	3/4"	19,1	284	60,0	2,235
N° 7	7/8"	22,2	387	70,0	3,042
N° 8	1"	25,4	510	80,0	3,973
N° 9	1 - 1/8"	28,7	645	90,0	5,060
N° 10	1 - 1/4"	32,3	819	101,3	6,404
N° 11	1 - 3/8"	35,8	1006	112,5	7,907
N° 14	1 - 3/4"	43,0	1452	135,1	11,380
N° 16	2 - 1/4"	57,3	2581	180,0	20,240

Nota: El N° de la barra indica el número de octavos de pulgada del diámetro

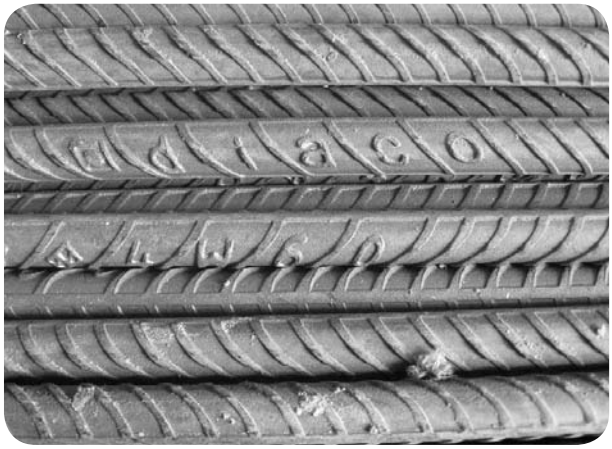


Figura 3.2 – Barras corrugadas – Puede notarse la identificación en relieve de cada una de ellas.

Para el caso del acero de refuerzo, existe la nomenclatura alternativa en el SI; el número de designación corresponde al diámetro de las varillas expresado en mm, así:

Tabla 3.2 C.3.5.3 -1 NSR -10

DIMENSIONES NOMINALES DE LAS BARRAS DE REFUERZO

Diámetros basados en milímetros

Designación de la barra (ver nota 1)	Dimensiones nominales			Masa kg/m
	Diámetro (mm)	Área (mm 2)	Perímetro (mm)	
6 M	6	28,3	18,85	0,222
8 M	8	50,3	25,13	0,394
10 M	10	78,5	31,42	0,616
12 M	12	113,1	37,70	0,887
16 M	16	201,1	50,27	1,577
18 M	18	254,5	56,55	1,996
20 M	20	314,2	62,83	2,465
22 M	22	380,1	69,12	2,982
25 M	25	490,9	78,54	3,851
32 M	32	804,2	100,53	6,309
36 M	36	1017,9	113,10	7,985
45 M	45	1590,4	141,37	12,477
55 M	55	2375,8	172,79	18,638

Nota: La M indica que son diámetros nominales en mm

Longitud

Los planos estructurales establecen la longitud del refuerzo, usualmente expresada en metros, sin ser ésta una convención universal. La longitud debe considerarse de forma parcial cuando se trata de dobleces o ganchos y longitud total para definir la longitud de corte.

Figuración

Las condiciones de diseño señalan la configuración de las barras de refuerzo y corresponden a circunstancias singulares de la edificación. En cada caso, los despieces contenidos en los planos estructurales señalan la forma como debe figurarse cada barra.

Usualmente los elementos estructurales utilizan barras rectas, con gancho de diferente conformación ya sean en uno o ambos extremos, flejes o estribos de acuerdo con la sección recta del elemento, etc. En algunos casos, la figuración es especial como en el caso del refuerzo para escaleras, vigas canal o ménsulas, por ejemplo.

La longitud de los ganchos o dobleces puede establecerse de carácter general o indicarse de forma particular para cada condición de las barras.

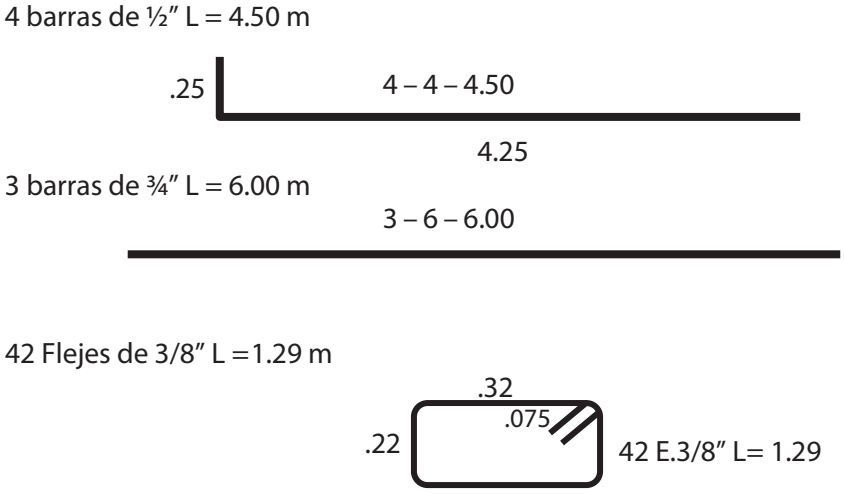


Figura 3.3 Ejemplos de varillas de acuerdo con la figuración en el despiece.

Peso de las barras

Comercialmente el peso de la barra determina su costo, razón por la cual, es necesario determinar el peso de cada trozo de barra y de allí el peso total a partir del peso nominal ya señalado. La medida del acero de refuerzo se expresa en kg para cada uno de los diámetros.

3. Ganchos de doblez

Dentro de la mecánica estructural se conoce la importancia y necesidad para que el acero de refuerzo posea el suficiente anclaje de las barras, de forma que se permita que ellas desarrollen el nivel de esfuerzo establecido en el análisis y diseño estructural. Es base de ese comportamiento considerar que una barra no puede deslizarse dentro de la masa del concreto donde se encuentre, para lo cual se dispone de la adhesión, fricción y las corrugaciones de las barras.

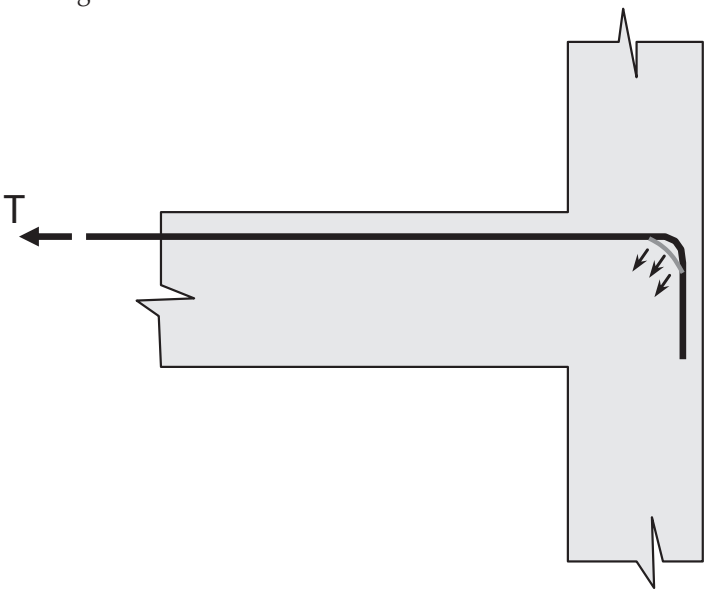


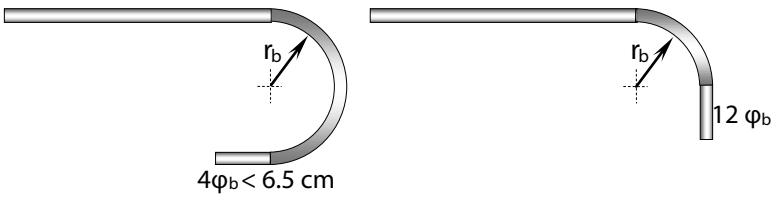
Figura 3.4 – Ilustración de la inadecuada configuración del gancho debido a que no se satisface la curvatura del gancho.

Los dobleces del refuerzo conformando ganchos en sus extremos, es el mejor recurso para conseguir el anclaje del refuerzo cuando no es posible extender la barra y desarrollar la transmisión de esfuerzos al concreto. Sin embargo, la gran concentración de esfuerzos en la superficie interior de la zona inicial del gancho, puede producir deslizamiento de la barra especialmente si la curvatura del gancho es escasa.

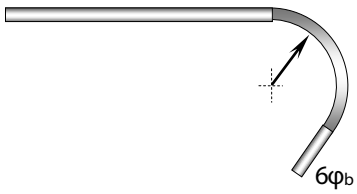
Por tal motivo se recurre al denominado Gancho estándar definido por el Reglamento en los términos como se explica e indica en las figuras siguientes:

"**Gancho a 180°:** Doblez de 180° mas una extensión de 4 db, no menor de 65 mm en el extremo libre de la barra

Gancho a 90°: Doblez de 90° más una extensión de 12 db en el extremo libre de la barra."



a) Gancho estándar a 180° b) Gancho estándar a 90°



c) Gancho estándar a 135°

Figura 3.5 – Definición de gancho estándar.

Para estribos y ganchos de estribo

"Barra No 5 (5/8") ó 16M (16mm) y menores, doblez de 90° mas 6db de extensión en el extremo libre de la barra, o

Barra No 6 (3/4") ó 20M (20mm) No 7 (7/8") ó 22M (22 mm), y No 8 (1") ó 25M (25 mm), doblez de 90° mas una extensión de 12 db en el extremo libre de la barra, o

Barra No 8 (1") ó 25M (25mm) y menor, doblez de 135° mas una extensión de 6 db en el extremo libre de la barra."

Ganchos sísmicos

En estructuras de capacidad de disipación de energía moderada (DMO) y especial (DES), deben emplearse ganchos sísmicos con un doblez de 135° o más, con una extensión de 6db pero no menor de 7.5 cm, que abraza el refuerzo longitudinal dele elemento y se proyecta hacia el interior de la sección del elemento. En los ganchos suplementarios el doblez en los extremos debe ser un gancho sísmico de 135°, o más, con una extensión de 6db, pero no menor de 7.5 cm, y se permite que en uno de los extremos se utilice un gancho de 90°, o más, con una extensión de 6db.

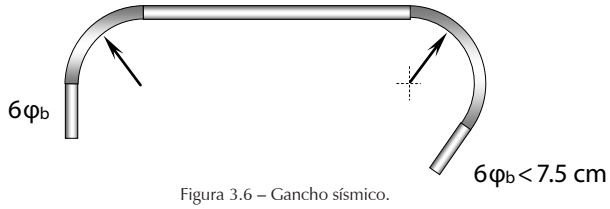


Figura 3.6 – Gancho sísmico.

4. Diámetros mínimos de doblado

El diámetro de doblado, medido en la cara interior de la barra, excepto en estribos de diámetros N° 3 (3/8″) ó 10M (10 mm) a N° 5 (5/8″) ó 16M (16mm), no debe ser menor que los valores de la siguiente tabla.

El diámetro de doblado para estribos no debe ser menor que 4db para barras N° 5 (5/8″) ó 16M (16mm) y menores. Para barras mayores que N° 5 (5/8″) ó 16M (16mm), el diámetro de doblado debe cumplir con lo estipulado en la tabla siguiente.

Tabla 3.3 - Mínimo radio de doblez de ganchos

Diámetro de las barras	Diámetro mínimo de doblado
No. 3 (3/8") ó 10M (10 mm) a No. 8 (1") ó 25M (25 mm)	6db
No. 9(1-1/8") ó 30M (30 mm) No. 10 (1-1/4") ó 32M (32 mm) y No.11(1-3/8") ó 36M (36 mm)	8db
No.14 (1-3/4") ó 45M (45 mm) y No. 18 (2-1/4") ó 55M (55 mm)	10 db

5. Doblado

Todo el refuerzo debe doblarse en frío, a menos que el profesional facultado para diseñar permita otra cosa.

Ningún refuerzo parcialmente embebido en el concreto puede doblarse en la obra, excepto cuando así se indique en los planos de diseño o lo permita el profesional facultado para diseñar.

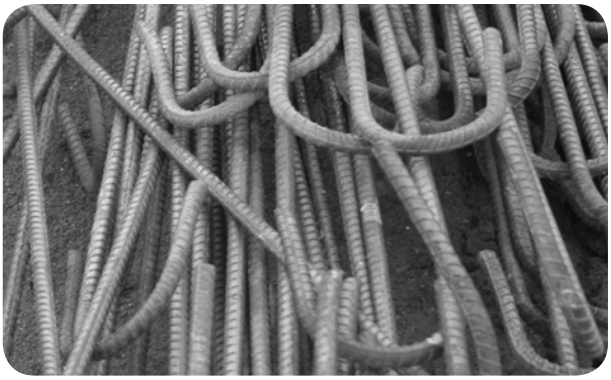


Figura3.7 – Varillas con ganchos estándar a 180°.

6. Elaboración de las cartillas de refuerzo

A partir de los planos estructurales, se procede a la elaboración de las denominadas cartillas de refuerzo ya sea para contabilizar el peso del acero de refuerzo como base para la negociación o compra, o como fundamento para la realización de los pedidos a la empresa que suministra el refuerzo figurado.

El esquema siguiente señala un ejemplo elemental de una cartilla de refuerzo:

Elemento	Cantidad Elementos	CANTIDAD Diámetro de la barra						Longitud (m)	Figuración	Peso (kg)
		3	4	5	6	7	8			
VG 200	4		6					6.00	.20	
				2				4.00	.25	
				4				3.20	3.20	
		32						1.03	.22 .22	

Figura 3.8 – Ejemplo de la elaboración de la hoja de pedido del acero de acuerdo con el respectivo despiece.

7. Proceso de figuración

El proceso de figuración en planta, permite elaborar con la mejor calidad y el estricto cumplimiento de las normas, las configuraciones que se requieren en las obras. Para tal efecto se utilizan recursos de maquinaria especializada, robots, bancos y cizallas que facilitan la ejecución de cualquier configuración con precisión sin importar el grado de complejidad.

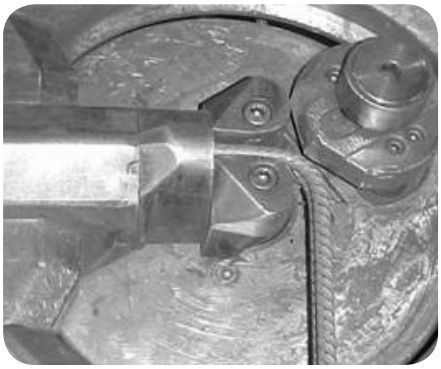


Figura 3.9 – Equipo especializado para figuración en planta.

Figura 3.10 – Producto final del proceso de figurado en planta.

Como ya se mencionó, los dobleces establecidos en la norma NSR exigen radios de curvatura para los ganchos estándar que obliga seguir un patrón de dimensiones preestablecidas.

8. Transporte

Las barras de acero se llevan a la obra mediante camiones cuya plataforma o planchón debe ser de longitud suficiente para que albergar varillas hasta de 12.00 m de largo. Se debe impedir que las varillas sobresalgan del camión. Preferiblemente deben ir amarradas por paquetes o estibas.

Figura 3.11 – Planchón para el transporte del acero a la obra.

9. Recepción en obra

El recibo de obra debe hacerse siguiendo la guía que establece las características de las barras: Longitud, diámetro, figuración. Al momento de descargar, las varillas no deben arrastrarse sobre el pavimento. Se debe preparar con anticipación el lugar donde se almacenarán las varillas antes de su utilización. Preferencialmente la descarga debe hacerse de forma lateral al camión, colocando cuartones para resbalar sobre ellos las barras.

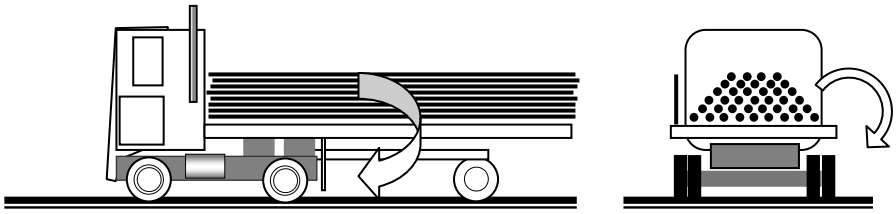


Figura 3.12 – Proceso apropiado del vaciado del hierro desde el camión para evitar que las barras de acero deterioren su superficie.

10. Almacenamiento

Las barras de acero, una vez lleguen a la obra, se deben almacenar de manera que resulte fácil encontrar la barra deseada. Para tal fin se debe utilizar un sistema de almacenamiento que facilite la clasificación y garantice el cuidado de las barras antes de su utilización.

El lugar de almacenamiento debe establecerse con mucho juicio, no solo en cuanto a la facilidad de almacenamiento o consumo, como también en cuanto no cause efectos sobre la estabilidad de los terrenos donde se encuentre.

Figura 3.13 – Colapso de una excavación por causa del almacenamiento del refuerzo en la berma.

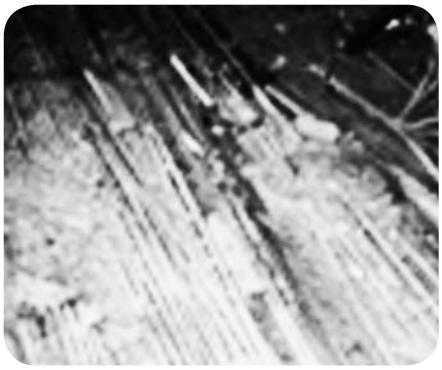


Figura 3.14 – No puede permitirse que sobre las barras colocadas debajo de la placa a vaciar, caiga sobre ellas lechada de concreto.

El almacenamiento debiera ser una actividad de mucha importancia en la obra puesto que con ello se logran mejorar rendimientos y protección de las varillas. Las barras deben almacenarse en anaqueles de probada capacidad de carga, versátiles, con cubierta, suficientemente largos y con soportes para que las barras ni sobresalgan ni se caigan y queden en contacto con el suelo.

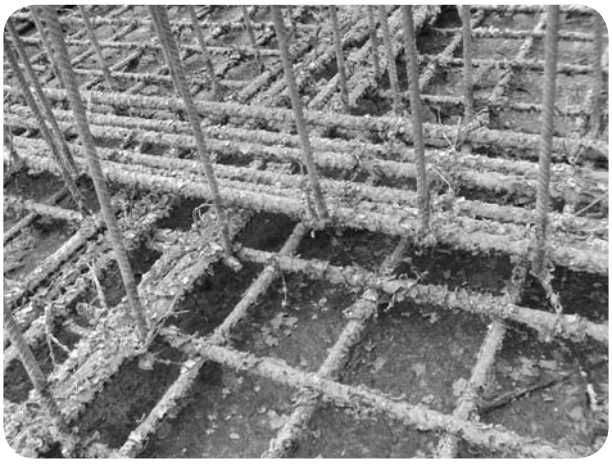


Figura 3.15 – Las barras de acero no pueden quedar expuestas a la intemperie largos periodos de tiempo puesto que por ser el acero un material que tiende a recuperar oxígeno de la atmósfera, fácilmente se corroen.

La barras deben almacenarse clasificadas por longitudes y diámetros de forma que sea fácil y expedita la localización, identificación y retiro de cualquier varilla. Conviene que el acero tenga aireación y se encuentre bajo cubierta para con ello evitar ciclos de humedecimiento y secado que generan corrosión, aún antes del uso del refuerzo.

11. Colocación del refuerzo

El refuerzo debe colocarse con precisión y asegurarse y amarrarse debidamente antes de vaciar el concreto para evitar el desplazamiento dentro de las tolerancias aceptadas por la Norma.

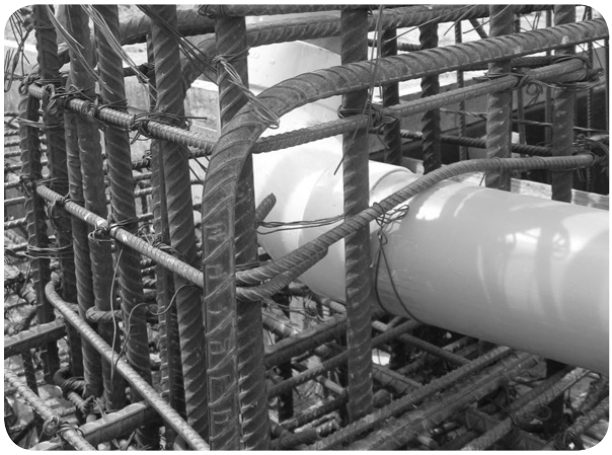


Figura 3.16 –Detalle colocación y amarre del refuerzo.

12. Tolerancias

La tolerancia para d y para el recubrimiento de concreto en elementos sometidos a flexión, muros y elementos sometidos a compresión debe ser la siguiente:

	Tolerancia en **d**	Tolerancia en el recubrimiento especificado
d ≤ 20 cm	± 1.0 cm	-1.0 cm
d > 20 cm	± 1.3 cm	-1.3 cm

Excepto que la tolerancia para la distancia libre al fondo de las cimbras debe ser menos de 6 mm. Además, la tolerancia para el recubrimiento tampoco debe exceder menos de 1/3 del recubrimiento del concreto especificado en los planos de diseño y especificaciones del proyecto.

La tolerancia para la ubicación longitudinal de los dobleces y extremos del refuerzo debe ser de ± 5 cm, excepto en los extremos discontinuos de las ménsulas o cartelas donde la tolerancia debe ser de ±1.3 cm y en los extremos discontinuos de otros elementos donde la tolerancia debe ser ±2.5 cm.

Figura 3.17 – Ilustración del armado de columnas en las que se aprecian las zonas de confinamiento cerca de los nudos inferior y superior.

13. Estribos o flejes

Son elementos de refuerzo que cumplen múltiples funciones como permitir que a través de ellos se disponga en su posición el acero de refuerzo longitudinal. En vigas son el recurso para soportar esfuerzos cortantes y de torsión, además del confinamiento que producen cuando se disponen a poca distancia entre sí.

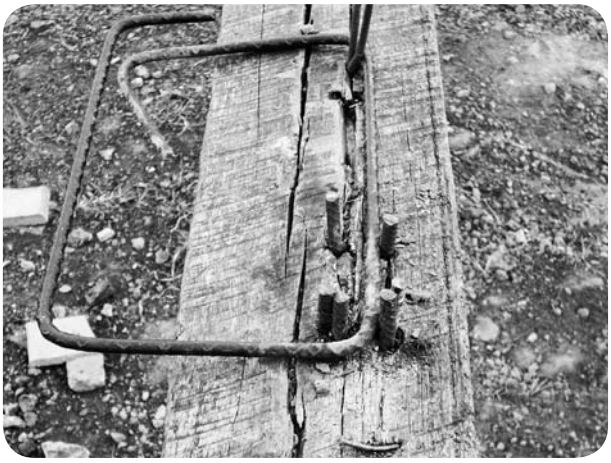


Figura 3.18 –Práctica inadecuada de figuración en obra por no respetar los diámetros mínimos de doblado (NSR-10 C.7.2).

Es a través de los flejes que se define el recubrimiento del refuerzo para controlar fenómenos como la corrosión.

Durante el proceso constructivo, es mediante los estribos o flejes que las varillas longitudinales mantienen su posición de forma inalterable.

Los flejes o estribos deben apoyarse mediante "distanciadores" o "soportes" colocados dentro de la formaleta para con ello garantizar los recubrimientos especificados. En el Capítulo siguiente se detalla su fabricación, uso y desempeño.

14. Refuerzo longitudinal o principal

El refuerzo longitudinal o principal corresponde al que se coloca tanto abajo como arriba de forma continua o fraccionada de acuerdo con las condiciones de apoyo y de las derivadas de la mecánica estructural del elemento.

El acero longitudinal se coloca como recurso para reforzar al concreto en lugares donde los esfuerzos de flexión, tracción y compresión lo exigen, de acuerdo con el análisis y diseño estructural lo establezcan. Las barras se combinan de diferente diámetro para ajustarse al área requerida del diseño pero tratando de utilizar solo barras de diámetros cercanos entre sí. Conviene que la distribución del refuerzo sea simétrica con relación a un eje vertical del elemento.

Para dar continuidad al acero a lo largo del elemento estructural sea viga, vigueta o columna, se realizan los traslapos o empalmes que solo se pueden realizar en lugares especificados y su tamaño depende del diámetro de la barra en consideración.

Las normas establecen el número mínimo o máximo de barras que pueden colocarse en una sección.

Se señala que para garantizar que el concreto pueda colocarse, las barras deben estar espaciadas como mínimo el db, 2.54 cm o 1.33 veces el tamaño máximo del agregado.

Cuando el refuerzo paralelo se coloque en dos o más capas, las barras de las capas superiores deben colocarse exactamente sobre las capas inferiores, con una distancia libre entre capas no menor de 2.5 cm.

En columnas reforzadas con espirales o estribos, la distancia libre entre barras longitudinales no debe ser menor de 1.5 db, ni de 4 cm.

La limitación de distancia libre entre barras también se debe aplicar a la distancia libre entre un empalme por traslapo y los empalmes o barras adyacentes.

15. Refuerzo de repartición

Algunos elementos estructurales requieren un refuerzo mediante el cual se garantiza la distribución de las cargas a lugares adyacentes al punto de aplicación. En tales casos, se utiliza refuerzo continuo en cada una de las direcciones.

16. Refuerzo para control de la retracción y temperatura

La retracción y la temperatura causan esfuerzos que deben resistirse a través de acero de refuerzo cuya cuantía (ϱ) no debe ser menor de 0.0014, el cual no puede colocarse con una separación mayor de 5 veces el espesor de la losa, ni 45 cm. Este refuerzo puede distribuirse cerca de la cara superior o inferior de la losa, o puede colocarse entre las dos caras según se considere apropiado para las condiciones específicas.

Figura 3.19 – Proceso de armado de una placa maciza sobre el terreno previamente preparado. Nótese los separadores para garantizar la posición del refuerzo.

GERDAU
DIACO

capítulo 4

Detalles del refuerzo

Tabla 4.1 Dimensiones nominales de las barras de refuerzo comerciales en Colombia

Diámetros basados en pulgadas

Designación de la barra (ver nota 2)	Diámetro en pulgadas	Dimensiones nominales			Masa kg/m
		Diámetro (mm)	Área (mm^2)	Perímetro (mm)	
N° 2	1/4"	6,4	32	20,0	0,250
N° 3	3/8"	9,5	71	30,0	0,560
N° 4	1/2"	12,7	127	40,0	0,994
N° 5	5/8"	15,9	199	50,0	1,552
N° 6	3/4"	19,1	284	60,0	2,235
N° 7	7/8"	22,2	387	70,0	3,042
N° 8	1"	25,4	510	80,0	3,973
N° 10	1 - 1/4"	32,3	819	101,3	6,404
N° 11	1 - 3/8"	35,8	1006	112,5	7,907

Nota: El N° de la barra indica el número de octavos de pulgada del diámetro

Tabla 4.2 Dimensiones nominales de las barras de refuerzo comerciales en Colombia

Diámetros basados en milímetros

Designación de la barra (ver nota 1)	Dimensiones nominales			Masa kg/m
	Diámetro (mm)	Área (mm^2)	Perímetro (mm)	
7.5 M	7.5	44,18	23,6	0,347
8 M	18	50,27	25,1	0,395
8.5 M	8.5	56,75	26,7	0,445
9 M	9	63,62	28,3	0,499
9.5 M	9.5	70,88	29,8	0,556
11 M	11	95,03	34,6	0,746
12 M	12	113,10	37,7	0,888
15 M	15	176,71	47,1	1,387

Nota: La M indica que son diámetros nominales en mm

Tabla 4.3 Áreas para diversas combinaciones de varillas (cm^2)

	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9	N° 10	N° 11	N° 14	N° 18
1	0,32	0,71	1,29	1,99	2,84	3,87	5,1	6,45	8,19	10,04	14,52	25,81
2	0,64	1,42	2,58	3,98	5,68	7,74	10,20	12,90	16,38	20,08	29,04	51,62
3	0,96	2,13	3,87	5,97	8,52	11,61	15,30	19,35	24,57	30,12	43,56	77,43
4	1,28	2,84	5,16	7,96	11,3	15,48	20,40	25,80	32,76	40,16	58,08	103,24
5	1,60	3,55	6,45	9,95	14,20	19,35	25,50	32,25	40,95	50,20	72,60	129,05
6	1,92	4,26	7,74	11,94	17,04	23,22	30,60	38,70	49,14	60,24	87,12	154,86
7	2,24	4,97	9,03	13,93	19,88	27,09	35,70	45,15	57,33	70,28	101,64	180,67
8	2,56	5,68	10,32	15,92	22,72	30,96	40,80	51,60	65,52	80,32	116,16	206,48
9	2,88	6,39	11,61	17,91	25,56	34,83	45,90	58,05	73,71	90,36	130,68	232,29
10	3,20	7,10	12,90	19,90	28,40	38,70	51,00	64,50	81,90	100,40	145,20	258,10
11	3,52	7,81	14,19	1,89	31,24	42,57	56,10	70,95	90,09	110,44	159,72	283,91
12	3,84	8,52	15,48	23,88	34,08	46,44	61,20	77,40	98,28	120,48	174,24	309,72
13	4,16	9,23	16,77	25,87	36,92	50,31	66,30	83,85	106,47	130,52	188,76	335,53
14	4,48	9,94	18,06	27,86	39,76	54,18	71,40	90,30	114,66	140,56	203,28	361,34
15	4,80	10,65	19,35	29,85	42,60	58,05	76,50	96,75	122,85	150,60	217,80	387,15
16	5,12	11,36	20,64	31,84	45,44	61,92	81,60	103,20	131,04	160,64	232,32	412,96
17	5,44	12,07	21,93	33,83	48,28	65,79	86,70	109,65	139,23	170,6	246,84	438,77
18	5,76	12,78	23,22	35,82	51,12	69,66	91,80	116,10	147,42	180,72	261,36	464,58
19	6,08	13,49	24,51	37,81	53,96	73,53	96,90	122,55	155,61	190,76	275,88	490,39
20	6,40	14,20	25,80	39,80	56,80	77,40	102,00	129,00	163,80	200,80	290,40	516,20

Tabla 4.4 Perímetros para diversas combinaciones de varillas (cm)

	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9	N° 10	N° 11	N° 14	N° 18
Φ	0,64	0,95	1,27	1,59	1,91	2,22	2,54	2,87	3,23	3,58	4,30	5,73
1	2,01	2,98	3,99	5,00	6,00	6,97	7,98	9,02	10,15	11,25	13,51	18,00
2	4,02	5,97	7,98	9,99	12,00	13,95	15,96	18,03	20,29	22,49	27,02	36,00
3	6,03	8,95	11,97	14,99	18,00	20,92	23,94	27,05	30,44	33,74	40,53	54,00
4	8,04	11,94	15,96	19,98	24,00	27,90	31,92	36,07	40,59	44,99	54,04	72,01
5	10,05	14,92	19,95	24,98	30,00	34,87	39,90	45,08	50,74	56,23	67,54	90,01
6	12,06	17,91	23,94	29,97	36,00	41,85	47,88	54,10	60,88	67,48	81,05	108,01
7	14,07	20,89	27,93	34,97	42,00	48,82	55,86	63,11	71,03	78,73	94,56	126,01
8	16,08	23,88	31,92	39,96	48,00	55,79	63,84	72,13	81,18	89,98	108,07	144,01
9	18,10	26,86	35,91	44,96	54,00	62,77	71,82	81,15	91,33	101,22	121,58	162,01
10	20,11	29,85	39,90	49,95	60,00	69,74	79,80	90,16	101,47	112,47	135,09	180,01
11	22,12	32,83	43,89	54,95	66,01	76,72	87,78	99,18	111,62	123,72	148,60	198,02
12	24,13	35,81	47,88	59,94	72,01	83,69	95,76	108,20	121,77	134,96	162,11	216,02
13	26,14	38,80	51,87	64,94	78,01	90,67	103,74	117,21	131,92	146,21	175,62	234,02
14	28,15	41,78	55,86	69,93	84,01	97,64	111,72	126,23	142,06	157,46	189,12	252,02
15	30,16	44,77	59,85	74,93	90,01	104,62	119,69	135,25	152,21	168,70	202,63	270,02
16	32,17	47,75	63,84	79,92	96,01	111,59	127,67	144,26	162,36	79,95	216,14	288,02
17	34,18	50,74	67,83	84,92	102,01	118,56	135,65	153,28	172,51	191,20	229,65	306,02
18	36,19	53,72	71,82	89,91	108,01	125,54	143,63	162,30	182,65	202,44	243,16	324,02
19	38,20	56,71	75,81	94,91	114,01	132,51	151,61	171,31	192,80	213,6	256,67	342,03
20	40,21	59,69	79,80	99,90	120,01	139,49	159,59	180,33	202,95	224,94	270,18	360,03

Tabla 4.5 Áreas de las barras según la separación entre ellas (cm^2)

	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9	N° 10	N° 11	N° 14	N° 18
S (cm)	0,32	0,71	1,29	1,99	2,84	3,87	5,10	6,45	8,19	10,04	14,52	25,81
5	6,40	14,20	25,80	39,80	56,80	77,40	102,00	129,00	163,80	200,80	290,40	516,20
6	5,33	11,83	21,50	33,17	47,33	64,50	85,00	107,50	136,50	167,33	242,00	430,17
7	4,57	10,14	18,43	28,43	40,57	55,29	72,86	92,14	117,00	143,43	207,43	368,71
8	4,00	8,88	16,13	24,88	35,50	48,38	63,75	80,63	102,38	125,50	181,50	322,63
9	3,56	7,89	14,33	22,11	31,56	43,00	56,67	71,67	91,00	111,56	161,33	286,78
10	3,20	7,10	12,90	19,90	28,40	38,70	51,00	64,50	81,90	100,40	145,20	258,10
11	2,91	6,45	11,73	18,09	25,82	35,18	46,36	58,64	74,45	91,27	132,00	234,64
12	2,67	5,92	10,75	16,58	23,67	32,25	42,50	53,75	68,25	83,67	121,00	215,08
13	2,46	5,46	9,92	15,31	21,85	29,77	39,23	49,62	63,00	77,2 3	111,69	198,54
14	2,29	5,07	9,21	14,21	20,29	27,64	36,43	46,07	58,50	71,71	103,71	184,36
15	2,13	4,73	8,60	13,27	18,93	25,80	34,00	43,00	54,60	66,93	96,80	172,07
16	2,00	4,44	8,06	12,44	17,75	24,19	31,88	40,31	51,19	62,75	90,75	161,31
17	1,88	4,18	7,5 9	11,71	16,71	22,76	30,00	37,94	48,18	59,06	85,41	151,82
18	1,78	3,94	7,17	11,06	15,78	21,50	28,33	35,83	45,50	55,78	80,67	143,39
19	1,68	3,74	6,79	10,47	14,95	20,37	26,84	33,95	43,11	52,84	76,42	135,84
20	1,60	3,55	6,45	9,95	14,20	19,35	25,50	32,25	40, 95	50,20	72,60	129,05
21	1,52	3,38	6,14	9,48	13,52	18,43	24,29	30,71	39,00	47,81	69,14	122,90
22	1,45	3,23	5,86	9,05	12,91	17,59	23,18	29,32	37,23	45,64	66,00	117,32
23	1,39	3,09	5,61	8,65	12,35	16,83	22,17	28,04	35,61	43,65	63,13	112,22
24	1,33	2,96	5,38	8,29	11,83	16,13	21,25	26,88	34,13	41,83	60,50	107,54
25	1,28	2,84	5,16	7,96	11,36	15,48	20,40	25,80	32,76	40,16	58,08	103,24

Tabla 4.5 Áreas de las barras según la separación entre ellas (cm^2)

26	1,23	2,73	4,96	7,65	10,92	14,88	19,62	24,81	31,50	38,62	55,85	99,27
27	1,19	2,63	4,78	7,37	10,52	14,33	18,89	23,89	30,33	37,19	53,78	95,59
28	1,14	2,54	4,61	7,11	10,14	13,82	18,21	23,04	29,25	35,86	51,86	92,18
29	1,10	2,45	4,45	6,86	9,79	13,34	17,59	22,24	28,24	34,62	50,07	89,00
30	1,07	2,37	4,30	6,63	9,47	12,90	17,00	21,50	27,30	33,47	48,40	86,03
31	1,03	2,29	4,16	6,42	9,16	12,48	16,45	20,81	26,42	32,39	46,84	83,26
32	1,00	2,22	4,03	6,22	8,88	12,09	15,94	20,16	25,59	31,38	45,38	80,66
33	0,97	2,15	3,91	6,03	8,61	11,73	15,45	19,55	24,82	30,42	44,00	78,21
34	0,94	2,09	3,79	5,85	8,35	11,38	15,00	18,97	24,09	29,53	42,71	75,91
35	0,91	2,03	3,69	5,69	8,11	11,06	14,57	18,43	23,40	28,69	41,49	73,74
36	0,89	1,97	3,58	5,53	7,89	10,75	14,17	17,92	22,75	27,89	40,33	71,69
37	0,86	1,92	3,49	5,38	7,68	10,46	13,78	17,43	22,14	27,14	39,24	69,76
38	0,84	1,87	3,39	5,24	7,47	10,18	13,42	16,97	21,55	26,42	38,21	67,92
39	0,82	1,82	3,31	5,10	7,28	9,92	13,08	16,54	21,00	25,74	37,23	66,18
40	0,80	1,78	3,23	4,98	7,10	9,68	12,75	16,13	20,48	25,10	36,30	64,53
41	0,78	1,73	3,15	4,85	6,93	9,44	12,44	15,73	19,98	24,49	35,41	62,95
42	0,76	1,69	3,07	4,74	6,76	9,21	12,14	15,36	19,50	23,90	34,57	61,45
43	0,74	1,65	3,00	4,63	6,60	9,00	11,86	15,00	19,05	23,35	33,77	60,02
44	0,73	1,61	2,93	4,52	6,45	8,80	11,59	14,66	18,61	22,82	33,00	58,66
45	0,71	1,58	2,87	4,42	6,31	8,60	11,33	14,33	18,20	22,31	32,27	57,36
46	0,70	1,54	2,80	4,33	6,17	8,41	11,09	14,02	17,80	21,83	31,57	56,11
47	0,68	1,51	2,74	4,23	6,04	8,23	10,85	13,72	17,43	21,36	30,89	54,91
48	0,67	1,48	2,69	4,15	5,92	8,06	10,63	13,44	17,06	20,92	30,25	53,77
49	0,65	1,45	2,63	4,06	5,80	7,90	10,41	13,16	16,71	20,49	29,63	52,67
50	0,64	1,42	2,58	3,98	5,68	7,74	10,20	12,90	16,38	20,08	29,04	51,62

C.7.8 - Detalles especiales del refuerzo para columnas

C.7.8.1 - Barras dobladas por cambio de sección

Las barras longitudinales dobladas debido a un cambio de sección deben cumplir con lo siguiente:

C.7.8.1.1 - La pendiente de la parte inclinada de una barra de este tipo no debe exceder de 1 a 6 con respecto al eje de la columna.

C.7.8.1.2 - Las partes de la barra que estén arriba y debajo de la zona del doblez deben ser paralelas al eje de la columna.

C.7.8.1.3 - Debe proporcionarse soporte horizontal adecuado a la barra doblada por cambio de sección por medio de estribos transversales, espirales, o porciones del sistema de entrepiso. El soporte horizontal debe diseñarse para resistir 1.5 veces la componente horizontal de la fuerza calculada en la porción inclinada de la barra. Los estribos transversales o espirales, en caso de utilizarse, se deben colocar a una distancia no mayor de 150 mm de los puntos de doblado.

C.7.8.1.4 - La barras en los cambios de sección se deben doblar antes de su colocación en el encofrado. C.7.3.

C.7.8.1.5 - Cuando la cara de una columna esta desalineada 75 mm o más por cambio de sección, las barras longitudinales no se deben doblar. Se deben proporcionar espigos (doveles) empalmados por traslapo con las barras longitudinales adyacentes a las caras desalineadas de la columna. Los empalmes por traslapo deben cumplir con lo especificado en C.12.17.

C.7.8.2 - Núcleos de acero

La transmisión de cargas en los núcleos de acero estructural de elementos compuestos sometidos a compresión debe ser proporcionada de acuerdo con lo siguiente:

C.7.8.2.1 - Los extremos de los núcleos de acero estructural deben terminarse con precisión para poner en contacto los apoyos en los extremos, y deben tomarse medidas adecuadas para alinear un núcleo con respecto al otro en contacto concéntrico.

C.7.8.2.2 - La capacidad de trasferencia de carga por apoyo en los empalmes de los extremos se deben considerar como máximo igual a un 50 por ciento del esfuerzo total de compresión en el núcleo de acero.

C.7.8.2.3 - La trasmisión de esfuerzos entre la base de la columna y la zapata debe diseñarse de acuerdo con lo especificado en C.15.8.

C.7.8.2.4 - La base de la sección de acero estructural debe diseñarse de manera que trasmita la carga total de todo el elemento compuesto a la zapata; o se debe diseñar para que trasmita únicamente la carga del núcleo de acero, siempre y cuando se disponga de una amplia sección de concreto capaz de trasferir a la zapata la porción de la carga total soportada por la sección de concreto reforzado, por medio de compresión en el concreto y por refuerzo.

C.7.9 - Conexiones

C.7.9.1 - En las conexiones de los elementos principales de pórticos (tales como vigas y columnas) debe disponerse de confinamiento para los empalmes del refuerzo que continua para el anclaje del refuerzo que termina en tales conexiones.

C.7.9.2 - El confinamiento en las conexiones debe consistir en concreto exterior, o en estribos cerrados o espirales interiores.

C.7.10 - Refuerzo transversal para elementos a compresión

C.7.10.1 - El refuerzo transversal de elementos a compresión debe cumplir con las disposiciones de C.7.10.4 y C.7.10.5 y cuando se requiere refuerzo por cortante o por torsión, este debe cumplir con las disposiciones del Capitulo C.11.

C.7.10.2 - Los requisitos para el refuerzo transversal de elementos compuestos sometidos a compresión deben cumplir con lo especificado en C.10.13. El refuerzo transversal de tendones debe cumplir con los requisitos de C.18.11.

C.7.10.3 - Los requisitos para el refuerzo transversal de C.7.10, C.7.10.13 y C.18.11 pueden ser omitidos cuando ensayos y análisis estructural muestren una adecuada resistencia y factibilidad de construcción.

C.7.10.4 - espirales

El refuerzo en espiral para elementos a compresión debe cumplir con C.10.9.3 y lo siguiente:

C.7.10.4.1 - Las espirales deben consistir en barras o alambres continuos espaciados uniformemente, con un tamaño y disposición que permite su manejo y colocación sin distorsión de las dimensiones de diseño.

C.7.10.4.2 - Para los elementos construidos en obra, el diámetro de barra utilizada en espirales no debe ser menor a 10 mm.

C.7.10.4.3 - El espaciamiento libre entre hélices de la espiral no debe exceder de 75 mm ni ser menor de 25 mm. Véase también C.3.3.2

C.7.10.4.4 - El anclaje de la espiral debe consistir en 1.5 vueltas adicionales de la barra o alambre en cada extremo de la espiral.

C.7.10.4.5 - El refuerzo en espiral debe empalmarse si se requiere, por alguno de los siguientes métodos:

(a) Empalme por traslapo no menor que 300 mm ni menor al largo indicado en (1) a (5) a continuación:

1. Barra o alambre corrugado sin recubrimiento……48db
2. Barra o alambre liso sin recubrimiento.....……72db
3. Barras o alambres corrugados recubiertos con epóxico...72db
4. Barras o alambres lisos sin recubrimiento con un gancho estándar de estribo según C.7.1.3 en sus extremos empalmados por traslapo. Los ganchos deben estar embebidos en el núcleo confinado por el espiral..……48db
5. Barras o alambres corrugados recubiertos con epóxico con un gancho estándar de estribo según C.7.1.3 en sus extremos empalmados por traslapo. Los ganchos deben estar embebidos en el núcleo confinado por la espira..……48db

(b). Empalme mecánico o soldado completo de acuerdo con C.12.14.3.

C.7.10.4.6 - Las espirales deben extenderse desde la parte superior de la zapata o losa en cualquier nivel, hasta la altura del refuerzo horizontal mas bajo del elemento soportado.

C.7.10.4.7 - Cuando no existan vigas o ménsulas en todos los lados de una columna, deben colocarse estribos por encima de la terminación de la espiral hasta la parte inferior de la losa, abajo, o descolgado para cortante.

C.7.10.4.8 - En columnas con capitel, la espiral debe extenderse hasta un nivel en la cual el diámetro o ancho del capitel sea dos veces el de la columna.

C.7.10.4.9 - Las espirales deben mantenerse firmemente colocadas y bien alineadas.

C.7.10.5 - Estribos

Los estribos para elementos sometidos a compresión deben cumplir con lo siguiente:

C.7.10.5.1 - Todas las barras no preesforzadas deben estar confinadas por medio de estribos transversales de por lo menos diámetro No. 3 (3/8") ó 10M (10mm), para barras longitudinales No. 10 (1-1/4") ó 32M (32 mm) o menores; y diámetro No. 4 (1/2") ó 12 M (12 mm) como mínimo, para barras longitudinales No. 11 (1 3/8") ó 36M (36 mm), No. 14 (1-3/4") ó 45M (45 mm) y No. 18 (2-1/4") ó 55M (55mm) y paquetes de barras. En estructuras de capacidad de disipación de energía mínima (DMI) se permiten estribos de barra No. 2 (1/4") ó 6M (6 mm) cuando las columnas soportan únicamente uno o dos pisos.

C.7.10.5.2 - El espaciamiento vertical de los estribos no debe exceder 16 diámetros de barra longitudinal, 48 diámetros de barra o alambre de los estribos, o la menor dimensión del elemento sometido a compresión.

C.7.10.5.3 - Los estribos deben disponerse de tal forma que cada barra longitudinal de esquina y barra alterna tenga apoyo lateral proporcionado por la esquina de un estribo con un ángulo interior no mayor de 135 grados y ninguna barra longitudinal debe estar separada a mas de 150 mm libres de una barra apoyada lateralmente. Cuando las barras longitudinales estén localizadas alrededor del perímetro de un círculo, se permite el uso de estribos circular completo.

C.7.10.5.4 - La distancia vertical entre los estribos de los extremos del elemento y la parte superior de la zapata o losa de entrepiso, o el refuerzo horizontal mas bajo de la losa, abaco superior o descolgado para cortante, debe ser menor a la mitad del espaciamiento entre estribos.

C.7.10.5.5 - Cuando vigas o ménsulas concurran a una columna desde cuatro direcciones, se permite colocar el último estribo a no mas de 75 mm debajo del refuerzo mas bajo de la viga o ménsula de menor altura.

C.7.10.5.6 - Cuando se coloquen pernos de anclaje en los extremos de las columnas o pedestales, los pernos deben estar circundados por refuerzo lateral que también rodee al menos cuatro barras verticales de la columna o pedestal. El refuerzo transversal debe distribuirse dentro de 125 mm medidos desde el parte superior de la columna o

pedestal y debe consistir en al menos dos barras No. 4 (1/2″) ó 12M (12 mm) o tres barras No. 3 (3/8″) ó 10M (10 mm).

C.7.11 - Refuerzo transversal para elementos a flexión

C.7.11.1 - El refuerzo a compresión en vigas debe confinarse con estribos que cumplan las limitaciones de tamaño y espaciamiento de C.7.10.5, o bien con un refuerzo electrosoldado de alambre de un área equivalente. Tales estribos deben colocarse a lo largo de toda la distancia donde se requiera refuerzo a compresión.

C.7.11.2 - El refuerzo transversal para elementos de pórticos sometidos a esfuerzos reversibles de flexión o a torsión en los apoyos debe consistir en estribos cerrados o espirales colocados alrededor del refuerzo de flexión.

C.7.11.3 - Los estribos cerrados se deben formar de una sola pieza con sus ganchos extremos colocados superpuestos abrazando la misma barra longitudinal, o se deben formar de una o dos piezas unidas mediante un empalme por traslapo Clase B (longitud de traslapo de 1.3_d) o anclándolas de acuerdo con C.12.13.

C.7.12 - Refuerzo de retracción y temperatura

C.7.12.1 - En losas estructurales donde el refuerzo a flexión se extiende en una sola dirección, se debe colocar refuerzo normal al refuerzo a flexión para resistir los esfuerzos debidos a retracción y temperatura.

C.7.12.1.1 - El refuerzo de retracción y temperatura debe proveerse de acuerdo con C.7.12.2 ó C.7.12.3.

C.7.12.1.2 - Cuando los movimientos por retracción y temperatura están restringidos de manera significativa, deben considerarse los requisitos de C.8.2.4 y C.9.2.3.

C.7.12.2 - El refuerzo corrugado, que cumpla con C.3.5.3, empleado como refuerzo de retracción y temperatura debe colocarse de acuerdo con lo siguiente:

C.7.12.2.1 - La cuantía de refuerzo de retracción y temperatura debe ser al menos igual a los valores dados a continuación, pero no menos que 0.0014:

(a) En losas donde se empleen barras corrugadas

Grado 280 ó 350..... 0.0020

(b) En losas donde se empleen barras corrugadas Grado 420 o refuerzo electrosoldado de alambre..... 0.0018

(c) En losas donde se utilice refuerzo de una resistencia a la fluencia mayor que 420 MPa, medida a una deformación unitaria de 0.35 por ciento 0.0018x420/fy

C.7.12.2.2 - El refuerzo de retracción y temperatura no debe colocarse con una separación mayor de 5 veces el espesor de la losa ni de 450 mm.

C.7.12.2.3 - En todas las secciones donde se requiera, el refuerzo por retracción y temperatura debe ser capaz de desarrollar fy en tracción de acuerdo con el Capítulo C.12.

C.7.12.3 - El acero de preesforzado, que cumpla con C.3.5.6, empleado como refuerzo de retracción y temperatura, debe suministrarse de acuerdo con lo siguiente:

C.7.12.3.1 - Se deben diseñar los tendones para que produzcan un esfuerzo promedio de compresión mínima de 0.7 MPa en el área bruta del concreto usando esfuerzos de preesforzado efectivo, después de las pérdidas, de acuerdo con C.18.6.

C.7.12.3.2 - El espaciamiento entre los tendones no debe exceder 1.80 m.

C.7.12.3.3 - Si el espaciamiento entre los tendones excede 1.4 m se debe colocar refuerzo adherido adicional de retracción y temperatura, de acuerdo con C.7.12.2, entre los tendones en los bordes de la losa, en una zona que se extiende desde el borde en una distancia igual al espaciamiento entre los tendones.

C.7.13 - Requisitos para la integridad estructural

C.7.13.1 - El detallado del refuerzo y conexiones, debe ser tal que los elementos de la estructura queden eficazmente unidos entre sí para garantizar la integridad de toda la estructura.

C.7.13.2 - Para estructuras construidas en obra, los siguientes requisitos deben constituir los mínimos exigibles:

C.7.13.2.1 - En la construcción con viguetas, como se define en C.8.13.1 a C.8.13.3, al menos una barra de la parte inferior debe ser continua o debe empalmarse por traslapo con un empalme por traslapo de tracción Clase B, o un empalme mecánico o soldado

que cumpla con C.12.14.3, y en los apoyos no continuos debe ser anclado para desarrollar fy en la cara del apoyo usando un gancho estándar que cumpla con C.12.5 o una barra corrugada con cabeza que cumpla con C.12.6.

C.7.13.2.2 - Las vigas del perímetro de la estructura deben tener un refuerzo continuo en toda su longitud y en los apoyos debe pasar a través de la región circunscrita por el refuerzo longitudinal de la columna, cumpliendo con (a) y (b):

(a) Al menos un sexto del refuerzo de tracción requerido para momento negativo en el apoyo, pero no menos de dos barras; y

(b) Al menos un cuarto del refuerzo de tracción para momento positivo requerido en la mitad del vano, pero no menos dos barras.

En apoyos no continuos, el refuerzo debe ser anclado para desarrollar fy en la cara del apoyo usando un gancho estándar que cumpla con C.12.5 o una barra corrugada con cabeza que cumpla con C.12.6

C.7.13.2.3 - El refuerzo continuo exigido en C.7.13.2.2 debe estar rodeado por refuerzo transversal del tipo especificado en C.11.5.4.1. El refuerzo transversal debe estar anclado como se especifica en C.11.5.4.2. No es necesario que el refuerzo transversal se extienda a través de la columna.

C.7.13.2.4 - Cuando se requieran empalmes para satisfacer C.7.13.2.2 el refuerzo superior debe ser empalmado por traslapo cerca de o en la mitad del vano y el refuerzo inferior debe ser empalmado por traslapo cerca del apoyo o en él. Los empalmes deben ser empalmes de tracción Clase B, o empalmes mecánicos o soldados que cumplan los requisitos de C.12.14.3.

C.7.13.2.5 - En vigas distintas a las del perímetro, donde se coloque refuerzo transversal como el que se define en C.7.13.2.3, no hay requisitos adicionales para el refuerzo longitudinal de integridad. Donde no se coloque este refuerzo, al menos un cuarto del refuerzo para momento positivo requerido en la mitad del vano, pero no menos de dos barras, debe pasar en el apoyo a través de la región circunscrita por el refuerzo longitudinal de la columna y debe ser continuo o debe empalmarse por traslapo sobre o cerca del apoyo con un empalme de tracción de Clase B o con un empalme mecánico o soldado de acuerdo con C.12.14.3. En los apoyos no continuos, el refuerzo debe anclarse para desarrollar fy en la cara del apoyo usando un gancho estándar que cumpla con C.12.5 o una barra corrugada con cabeza que cumpla con C.12.6.

C.7.13.2.6 - Para la construcción de losas en dos direcciones no preesforzadas, véase C.13.3.8.5.

C.7.13.2.7 - Para la construcción de losas en dos direcciones preesforzadas, véase C.18.12.6 y C.18.12.7.

***C.7.13.3* -** Para construcciones de concreto prefabricado, deben proporcionarse amarres de tracción en sentido transversal, longitudinal y vertical, y alrededor del perímetro de la estructura, para unir efectivamente los elementos. Debe aplicarse las disposiciones de C.16.5.

***C.7.13.4* -** Para la construcción de losas izadas véase C.13.3.8.6 y C.18.12.6.

Longitudes de desarrollo y empalmes del refuerzo

Los planos estructurales elaborados por el diseñador, establecen las longitudes de desarrollo y traslapos de las barras de cada elemento estructural. Enseguida se presentan algunas tablas que contienen esta información de acuerdo con lo establecido en la Norma NSR-10, las cuales toman en cuenta entre otras cosas la condición del recubrimiento de la varilla y la separación con las otras varillas.

A continuación se presentan las longitudes de desarrollo para barras corrugadas según la calidad de los materiales, los alambres con los cuales se fabrican las mallas electrosoldadas, según se trate de elementos en tracción o compresión.

Tablas longitud de desarrollo y empalmes de refuerzo

Tabla 4.6

f´c= 210 kg/cm2
fy= 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ≥ Ø 3/4 ó 20 mm
  ≤ Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
No. 3	3/8"	9,5	45	39	35	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
No. 4	½"	12,7	74	65	58	53	48	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
No. 5	5/8"	15,9	106	95	86	78	72	66	61	57	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
No. 6	¾"	19,1	142	128	116	106	98	91	85	79	75	71	67	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
No. 7	7/8"	22,2	180	163	148	136	126	118	110	103	97	92	87	83	79	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
No. 8	1"	25,4	220	201	184	170	158	147	138	130	123	116	111	105	101	96	92	89	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87
No. 10	1 ¼"	32,3	314	288	267	249	232	218	206	195	185	176	167	160	153	147	141	136	131	126	122	118	114	111	111	111	111	111

Tabla 4.7

f´c= 210 kg/cm2
fy= 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ≥ Ø 3/4 ó 20 mm
  ≤ Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
No. 3	3/8"	9,5	56	49	44	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
No. 4	½"	12,7	92	81	73	66	60	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
No. 5	5/8"	15,9	133	119	107	97	89	83	77	72	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
No. 6	¾"	19,1	178	160	145	133	123	114	106	99	93	88	83	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
No. 7	7/8"	22,2	225	203	186	171	158	147	137	129	122	115	109	104	99	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
No. 8	1"	25,4	276	251	230	212	197	184	173	163	154	146	138	132	126	120	115	111	109	109	109	109	109	109	109	109	109	109
No. 10	1 ¼"	32,3	392	361	334	311	291	273	257	243	231	220	209	200	191	184	176	170	164	158	152	147	143	139	139	139	139	139

Tabla 4.8

f´c= 210 kg/cm2
fy= 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ≥ Ø 3/4 ó 20 mm
  ≤ Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras(cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
No. 3	3/8"	9,5	35	30	27	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
No. 4	½"	12,7	57	50	45	41	37	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
No. 5	5/8"	15,9	82	73	66	60	55	51	47	44	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
No. 6	¾"	19,1	110	98	89	82	75	70	65	61	57	54	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
No. 7	7/8"	22,2	138	125	114	105	97	90	85	79	75	71	67	64	61	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
No. 8	1"	25,4	170	154	142	131	121	113	106	100	95	90	85	81	77	74	71	68	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
No. 10	1 ¼"	32,3	241	222	205	191	179	168	158	150	142	135	129	123	118	113	109	104	101	97	94	91	88	86	86	86	86	86

Tabla 4.9

f´c= 210 kg/cm2
fy= 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ≥ Ø 3/4 ó 20 mm
  ≤ Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
No. 3	3/8"	9,5	43	38	34	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
No. 4	½"	127	71	63	56	51	46	43	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
No. 5	5/8"	15,9	102	91	82	75	69	64	59	55	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
No. 6	¾"	19,1	137	123	112	102	94	87	82	76	72	68	64	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
No. 7	7/8"	22,2	173	156	143	131	121	113	106	99	94	89	84	80	76	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
No. 8	1"	25,4	212	193	177	163	152	142	133	125	118	112	106	101	97	93	89	85	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84
No. 10	1 ¼"	32,3	302	277	257	239	224	210	198	187	178	169	161	154	147	141	136	131	126	121	117	113	110	107	107	107	107	107

Tabla 4.10

f´c= 210 kg/cm2
fy= 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.

Barras ≤ Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5		4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
No. 3	3⁄8"	9,5	45	39	35	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
No. 4	½"	12,7	74	65	58	53	48	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
No. 5	5/8"	15,9	106	95	86	78	72	66	61	57	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
No. 6	¾"	19,1	142	128	116	106	98	91	85	79	75	71	67	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
No. 7	7/8"	22,2	180	163	148	136	126	118	110	103	97	92	87	83	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
No. 8	1"	25,4	220	201	184	170	158	147	138	130	123	116	111	105	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101
No. 10	1 ¼"	32,3	314	288	267	249	232	218	206	195	185	176	167	160	153	147	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145	145

Tabla 4.11

f´c= 210 kg/cm2
fy= 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.

Barras ≤ Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
No. 3	3/8"	9,5	56	49	44	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
No. 4	½"	12,7	92	81	73	66	60	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
No. 5	5/8"	15,9	133	119	107	97	89	83	77	72	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
No. 6	¾"	19,1	178	160	145	133	123	114	106	99	93	88	83	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
No. 7	7/8"	22,2	225	203	186	171	158	147	137	129	122	115	109	104	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103
No. 8	1"	25,4	276	251	230	212	197	184	173	163	154	146	138	132	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127
No. 10	1 ¼"	32,3	392	361	334	311	291	273	257	243	231	220	209	200	191	184	182	182	182	182	182	182	182	182	182	182	182	182

Tabla 4.13

f´c= 210 kg/cm2
fy= 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.

Barras ≤ Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																										
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼”	6,4	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
No. 3	3/8”	9,5	43	38	34	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
No. 4	½”	12,7	71	63	56	51	46	43	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
No. 5	5/8”	15,9	102	91	82	75	69	64	59	55	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
No. 6	¾”	19,1	137	123	112	102	94	87	82	76	72	68	64	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
No. 7	7/8”	22,2	173	156	143	131	121	113	106	99	94	89	84	80	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
No. 8	1”	25,4	212	193	177	163	152	142	133	125	118	112	106	101	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97
No. 10	1 ¼”	32,3	302	277	257	239	224	210	198	187	178	169	161	154	147	141	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140

Tabla 4.14

f´c = 210 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

LONGITUD DE DESARROLLO
REFUERZO ELECTROSOLDADO DE
ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	10	10	10	10	10
3.5M	3,5	1,0	12	12	12	12	12
	4,0	1,0	14	14	14	14	14
4.5M	4,5	1,0	16	16	16	16	16
5.0M	5,0	1,0	17	17	17	17	17
5.5M	5,5	1,0	19	19	19	19	19
6.0M	6,0	1,0	21	21	21	21	21
6.5M	6,5	1,0	22	22	22	22	22
7.0M	7,0	1,0	24	24	24	24	24
7.5M	7,5	1,0	26	26	26	26	26
8.0M	8,0	1,0	28	28	28	28	28
8.5M	8,5	1,0	29	29	29	29	29

Tabla 4.15

f´c = 210 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

LONGITUD DE DESARROLLO
REFUERZO ELECTROSOLDADO DE
ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	13	13	13	13	13
3.5M	3,5	1,0	15	15	15	15	15
4.0M	4,0	1,0	17	17	17	17	17
4.5M	4,5	1,0	19	19	19	19	19
5.0M	5,0	1,0	22	22	22	22	22
5.5M	5,5	1,0	24	24	24	24	24
6.0M	6,0	1,0	26	26	26	26	26
6.5M	6,5	1,0	28	28	28	28	28
7.0M	7,0	1,0	30	30	30	30	30
7.5M	7,5	1,0	32	32	32	32	32
8.0M	8,0	1,0	34	34	34	34	34
8.5M	8,5	1,0	37	37	37	37	37

Tabla 4.16

f´c = 210 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

LONGITUD DE DESARROLLO
REFUERZO ELECTROSOLDADO DE
ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	8	8	8	8	8
3.5M	3,5	1,0	9	9	9	9	9
4.0M	4,0	1,0	11	11	11	11	11
4.5M	4,5	1,0	12	12	12	12	12
5.0M	5,0	1,0	13	13	13	13	13
5.5M	5,5	1,0	15	15	15	15	15
6.0M	6,0	1,0	16	16	16	16	16
6.5M	6,5	1,0	17	17	17	17	17
7.0M	7,0	1,0	19	19	19	19	19
7.5M	7,5	1,0	20	20	20	20	20
8.0M	8,0	1,0	21	21	21	21	21
8.5M	8,5	1,0	23	23	23	23	23

Tabla 4.17

f´c = 210 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

LONGITUD DE DESARROLLO
REFUERZO ELECTROSOLDADO DE
ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	10	10	10	10	10
3.5M	3,5	1,0	12	12	12	12	12
4.0M	4,0	1,0	13	13	13	13	13
4.5M	4,5	1,0	15	15	15	15	15
5.0M	5,0	1,0	17	17	17	17	17
5.5M	5,5	1,0	18	18	18	18	18
6.0M	6,0	1,0	20	20	20	20	20
6.5M	6,5	1,0	22	22	22	22	22
7.0M	7,0	1,0	23	23	23	23	23
7.5M	7,5	1,0	25	25	25	25	25
8.0M	8,0	1,0	26	26	26	26	26
8.5M	8,5	1,0	28	28	28	28	28

Tabla 4.18

f´c = 210 kg/cm2 fy = 4200 kg/cm2 Ψt = 1,3 Ψe = 1 Ψs = 0,8 λ = 1		LONGITUD DE EMPALME REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION				
Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	20	20	20	20	20
4.5M	4,5	20	20	20	20	20
5.0M	5,0	22	22	22	22	22
5.5M	5,5	25	25	25	25	25
6.0M	6,0	27	27	27	27	27
6.5M	6,5	29	29	29	29	29
7.0M	7,0	31	31	31	31	31
7.5M	7,5	34	34	34	34	34
8.0M	8,0	36	36	36	36	36
8.5M	8,5	38	38	38	38	38

Tabla 4.19

f´c = 210 kg/cm2 fy = 4200 kg/cm2 Ψt = 1,3 Ψe = 1 Ψs = 1 λ = 1		LONGITUD DE EMPALME REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION				
Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	22	22	22	22	22
4.5M	4,5	25	25	25	25	25
5.0M	5,0	28	28	28	28	28
5.5M	5,5	31	31	31	31	31
6.0M	6,0	34	34	34	34	34
6.5M	6,5	36	36	36	36	36
7.0M	7,0	39	39	39	39	39
7.5M	7,5	42	42	42	42	42
8.0M	8,0	45	45	45	45	45
8.5M	8,5	48	48	48	48	48

Tabla 4.20

f´c = 210 kg/cm2 fy = 4200 kg/cm2 Ψt = 1 Ψe = 1 Ψs = 0,8 λ = 1		LONGITUD DE EMPALME REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION				
Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	20	20	20	20	20
4.5M	4,5	20	20	20	20	20
5.0M	5,0	20	20	20	20	20
5.5M	5,5	20	20	20	20	20
6.0M	6,0	21	21	21	21	21
6.5M	6,5	22	22	22	22	22
7.0M	7,0	24	24	24	24	24
7.5M	7,5	26	26	26	26	26
8.0M	8,0	28	28	28	28	28
8.5M	8,5	29	29	29	29	29

Tabla 4.21

f´c = 210 kg/cm2 fy = 4200 kg/cm2 Ψt = 1 Ψe = 1 Ψs = 1 λ = 1		LONGITUD DE EMPALME REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION				
Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	20	20	20	20	20
4.5M	4,5	20	20	20	20	20
5.0M	5,0	22	22	22	22	22
5.5M	5,5	24	24	24	24	24
6.0M	6,0	26	26	26	26	26
6.5M	6,5	28	28	28	28	28
7.0M	7,0	30	30	30	30	30
7.5M	7,5	32	32	32	32	32
8.0M	8,0	34	34	34	34	34
8.5M	8,5	37	37	37	37	37

Tabla 4.22

f´c = 245 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.

Barras ≤ Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
No. 3	3/8"	9,5	42	36	32	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
No. 4	½"	12,7	68	60	54	49	45	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
No. 5	5/8"	15,9	99	88	79	72	66	61	57	53	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
No. 6	¾"	19,1	132	118	108	98	91	84	79	74	69	65	62	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
No. 7	7/8"	22,2	167	151	137	126	117	109	102	96	90	85	81	77	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
No. 8	1"	25,4	204	186	170	157	146	136	128	120	114	108	102	98	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94
No. 10	1 ¼"	32,3	290	267	247	230	215	202	191	180	171	163	155	148	142	136	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135

Tabla 4.23

f´c = 245 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.

Barras ≤ Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
No. 3	3/8"	9,5	52	46	40	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
No. 4	½"	12,7	85	75	67	61	56	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
No. 5	5/8"	15,9	123	110	99	90	83	76	71	66	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
No. 6	¾"	19,1	165	148	134	123	113	105	98	92	86	82	77	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
No. 7	7/8"	22,2	208	188	172	158	146	136	127	120	113	107	101	96	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
No. 8	1"	25,4	255	232	213	197	183	171	160	151	142	135	128	122	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117	117
No. 10	1 ¼"	32,3	363	334	309	288	269	253	238	225	214	203	194	185	177	170	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168	168

Tabla 4.24

f´c = 245 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.

Barras ≤ Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																										
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
No. 3	3/8"	9,5	32	28	25	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
No. 4	½"	12,7	52	46	41	38	34	32	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
No. 5	5/8"	15,9	76	68	61	55	51	47	44	41	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
No. 6	¾"	19,1	101	91	83	76	70	65	60	57	53	50	48	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
No. 7	7/8"	22,2	128	116	106	97	90	84	78	74	69	66	62	59	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
No. 8	1"	25,4	157	143	131	121	112	105	98	93	88	83	79	75	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72
No. 10	1 ¼"	32,3	223	205	190	177	166	155	147	139	132	125	119	114	109	105	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104

Tabla 4.25

f´c = 245 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.

Barras ≤ Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																										
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
No. 3	3/8"	9,5	40	35	31	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
No. 4	½"	12,7	66	58	52	47	43	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
No. 5	5/8"	15,9	95	84	76	69	64	59	55	51	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
No. 6	¾"	19,1	127	114	103	95	87	81	75	71	67	63	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
No. 7	7/8"	22,2	160	145	132	121	112	105	98	92	87	82	78	74	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
No. 8	1"	25,4	196	179	164	151	141	131	123	116	109	104	99	94	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
No. 10	1 ¼"	32,3	279	257	238	221	207	194	183	173	164	156	149	142	136	131	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129

Tabla 4.26

f´c = 245 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ≥ Ø 3/4 ó 20 mm
  ≤ Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
No. 3	3/8"	9,5	42	36	32	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
No. 4	½"	12,7	68	60	54	49	45	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
No. 5	5/8"	15,9	99	88	79	72	66	61	57	53	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
No. 6	¾"	19,1	132	118	108	98	91	84	79	74	69	65	62	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
No. 7	7/8"	22,2	167	151	137	126	117	109	102	96	90	85	81	77	73	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
No. 8	1"	25,4	204	186	170	157	146	136	128	120	114	108	102	98	93	89	85	82	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
No. 10	1 ¼"	32,3	290	267	247	230	215	202	191	180	171	163	155	148	142	136	131	126	121	117	113	109	106	103	103	103	103	103

Tabla 4.27

f´c = 245 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ≥ Ø 3/4 ó 20 mm
  ≤ Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
No. 3	3/8"	9,5	52	46	40	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
No. 4	½"	12,7	85	75	67	61	56	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
No. 5	5/8"	15,9	123	110	99	90	83	76	71	66	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
No. 6	¾"	19,1	165	148	134	123	113	105	98	92	86	82	77	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
No. 7	7/8"	22,2	208	188	172	158	146	136	127	120	113	107	101	96	92	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89
No. 8	1"	25,4	255	232	213	197	183	171	160	151	142	135	128	122	116	111	107	103	101	101	101	101	101	101	101	101	101	101
No. 10	1 ¼"	32,3	363	334	309	288	269	253	238	225	214	203	194	185	177	170	163	157	151	146	141	137	132	129	129	129	129	129

Tabla 4.28

f´c = 245 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ≥ Ø 3/4 ó 20 mm
  ≤ Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
No. 3	3/8"	9,5	32	28	25	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
No. 4	½"	12,7	52	46	41	38	34	32	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
No. 5	5/8"	15,9	76	68	61	55	51	47	44	41	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
No. 6	¾"	19,1	101	91	83	76	70	65	60	57	53	50	48	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
No. 7	7/8"	22,2	128	116	106	97	90	84	78	74	69	66	62	59	56	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
No. 8	1"	25,4	157	143	131	121	112	105	98	93	88	83	79	75	72	69	66	63	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
No. 10	1 ¼"	32,3	223	205	190	177	166	155	147	139	132	125	119	114	109	105	101	97	93	90	87	84	81	79	79	79	79	79

Tabla 4.29

f´c = 245 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ≥ Ø 3/4 ó 20 mm
  ≤ Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
No. 3	3/8"	9,5	40	35	31	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
No. 4	½"	12,7	66	58	52	47	43	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
No. 5	5/8"	15,9	95	84	76	69	64	59	55	51	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
No. 6	¾"	19,1	127	114	103	95	87	81	75	71	67	63	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
No. 7	7/8"	22,2	160	145	132	121	112	105	98	92	87	82	78	74	70	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
No. 8	1"	25,4	196	179	164	151	141	131	123	116	109	104	99	94	90	86	82	79	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
No. 10	1 ¼"	32,3	279	257	238	221	207	194	183	173	164	156	149	142	136	131	126	121	117	112	109	105	102	99	99	99	99	99

Tabla 4.30

f´c = 245 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

LONGITUD DE DESARROLLO
REFUERZO ELECTROSOLDADO DE
ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	10	10	10	10	10
3.5M	3,5	1,0	11	11	11	11	11
4.0M	4,0	1,0	13	13	13	13	13
4.5M	4,5	1,0	14	14	14	14	14
5.0M	5,0	1,0	16	16	16	16	16
5.5M	5,5	1,0	18	18	18	18	18
6.0M	6,0	1,0	19	19	19	19	19
6.5M	6,5	1,0	21	21	21	21	21
7.0M	7,0	1,0	22	22	22	22	22
7.5M	7,5	1,0	24	24	24	24	24
8.0M	8,0	1,0	26	26	26	26	26
8.5M	8,5	1,0	27	27	27	27	27

Tabla 4.31

f´c = 245 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 1
λ =

LONGITUD DE DESARROLLO
REFUERZO ELECTROSOLDADO DE
ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	12	12	12	12	12
3.5M	3,5	1,0	14	14	14	14	14
4.0M	4,0	1,0	16	16	16	16	16
4.5M	4,5	1,0	18	18	18	18	18
5.0M	5,0	1,0	20	20	20	20	20
5.5M	5,5	1,0	22	22	22	22	22
6.0M	6,0	1,0	24	24	24	24	24
6.5M	6,5	1,0	26	26	26	26	26
7.0M	7,0	1,0	28	28	28	28	28
7.5M	7,5	1,0	30	30	30	30	30
8.0M	8,0	1,0	32	32	32	32	32
8.5M	8,5	1,0	34	34	34	34	34

Tabla 4.32

f´c = 245 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

LONGITUD DE DESARROLLO
REFUERZO ELECTROSOLDADO DE
ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	7	7	7	7	7
3.5M	3,5	1,0	9	9	9	9	9
4.0M	4,0	1,0	10	10	10	10	10
4.5M	4,5	1,0	11	11	11	11	11
5.0M	5,0	1,0	12	12	12	12	12
5.5M	5,5	1,0	13	13	13	13	13
6.0M	6,0	1,0	15	15	15	15	15
6.5M	6,5	1,0	16	16	16	16	16
7.0M	7,0	1,0	17	17	17	17	17
7.5M	7,5	1,0	18	18	18	18	18
8.0M	8,0	1,0	20	20	20	20	20
8.5M	8,5	1,0	21	21	21	21	21

Tabla 4.33

f´c = 245 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

LONGITUD DE DESARROLLO
REFUERZO ELECTROSOLDADO DE
ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	9	9	9	9	9
3.5M	3,5	1,0	11	11	11	11	11
4.0M	4,0	1,0	12	12	12	12	12
4.5M	4,5	1,0	14	14	14	14	14
5.0M	5,0	1,0	15	15	15	15	15
5.5M	5,5	1,0	17	17	17	17	17
6.0M	6,0	1,0	18	18	18	18	18
6.5M	6,5	1,0	20	20	20	20	20
7.0M	7,0	1,0	21	21	21	21	21
7.5M	7,5	1,0	23	23	23	23	23
8.0M	8,0	1,0	25	25	25	25	25
8.5M	8,5	1,0	26	26	26	26	26

Tabla 4.34

f´c = 245 kg/cm2 fy = 4200 kg/cm2 Ψt = 1,3 Ψe = 1 Ψs = 0,8 λ = 1		LONGITUD DE EMPALME REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION				
Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	20	20	20	20	20
4.5M	4,5	20	20	20	20	20
5.0M	5,0	21	21	21	21	21
5.5M	5,5	23	23	23	23	23
6.0M	6,0	25	25	25	25	25
6.5M	6,5	27	27	27	27	27
7.0M	7,0	29	29	29	29	29
7.5M	7,5	31	31	31	31	31
8.0M	8,0	33	33	33	33	33
8.5M	8,5	35	35	35	35	35

Tabla 4.35

f´c = 245 kg/cm2 fy = 4200 kg/cm2 Ψt = 1,3 Ψe = 1 Ψs = 1 λ = 1		LONGITUD DE EMPALME REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION				
Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	21	21	21	21	21
4.5M	4,5	23	23	23	23	23
5.0M	5,0	26	26	26	26	26
5.5M	5,5	29	29	29	29	29
6.0M	6,0	31	31	31	31	31
6.5M	6,5	34	34	34	34	34
7.0M	7,0	36	36	36	36	36
7.5M	7,5	39	39	39	39	39
8.0M	8,0	41	41	41	41	41
8.5M	8,5	44	44	44	44	44

Tabla 4.36

f´c = 245 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ =

LONGITUD DE EMPALME
REFUERZO ELECTROSOLDADO DE
ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	20	20	20	20	20
4.5M	4,5	20	20	20	20	20
5.0M	5,0	20	20	20	20	20
5.5M	5,5	20	20	20	20	20
6.0M	6,0	20	20	20	20	20
6.5M	6,5	21	21	21	21	21
7.0M	7,0	22	22	22	22	22
7.5M	7,5	24	24	24	24	24
8.0M	8,0	26	26	26	26	26
8.5M	8,5	27	27	27	27	27

Tabla 4.37

f´c = 245 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

LONGITUD DE EMPALME
REFUERZO ELECTROSOLDADO DE
ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	20	20	20	20	20
4.5M	4,5	20	20	20	20	20
5.0M	5,0	20	20	20	20	20
5.5M	5,5	22	22	22	22	22
6.0M	6,0	24	24	24	24	24
6.5M	6,5	26	26	26	26	26
7.0M	7,0	28	28	28	28	28
7.5M	7,5	30	30	30	30	30
8.0M	8,0	32	32	32	32	32
8.5M	8,5	34	34	34	34	34

Tabla 4.38

f´c = 280 kg/cm2
y ≠ 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ≥ Ø 3/4 ó 20 mm
  ≤ Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
No. 3	3/8"	9,5	39	34	30	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
No. 4	½"	12,7	64	56	50	46	42	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
No. 5	5/8"	15,9	92	82	74	67	62	57	53	50	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
No. 6	¾"	19,1	123	111	101	92	85	79	73	69	65	61	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
No. 7	7/8"	22,2	156	141	129	118	109	102	95	89	84	80	76	72	69	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
No. 8	1"	25,4	191	174	159	147	137	128	120	113	106	101	96	91	87	83	80	77	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
No. 10	1 ¼"	32,3	272	250	231	215	201	189	178	169	160	152	145	139	133	127	122	118	113	109	106	102	99	96	96	96	96	96

Tabla 4.39

f´c = 280 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ≥ Ø 3/4 ó 20 mm
  ≤ Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
No. 3	3/8"	9,5	49	43	38	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
No. 4	½"	12,7	80	70	63	57	52	48	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
No. 5	5/8"	15,9	115	103	93	84	77	72	66	62	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
No. 6	¾"	19,1	154	139	126	115	106	98	92	86	81	76	72	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
No. 7	7/8"	22,2	195	176	161	148	137	127	119	112	105	100	95	90	86	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
No. 8	1"	25,4	239	217	199	184	171	160	150	141	133	126	120	114	109	104	100	96	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
No. 10	1 ¼"	32,3	339	312	289	269	252	236	223	211	200	190	181	173	166	159	153	147	142	137	132	128	124	120	120	120	120	120

Tabla 4.40

f´c = 280 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ =

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ≥ Ø 3/4 ó 20 mm
  ≤ Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																										
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	11	11	12	12	13	13	14	14	15	15
No. 2	¼"	6,4	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
No. 3	3/8"	9,5	30	26	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
No. 4	½"	12,7	49	43	39	35	32	30	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
No. 5	5/8"	15,9	71	63	57	52	48	44	41	38	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
No. 6	¾"	19,1	95	85	77	71	65	61	56	53	50	47	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
No. 7	7/8"	22,2	120	108	99	91	84	78	73	69	65	61	58	55	53	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
No. 8	1"	25,4	147	134	123	113	105	98	92	87	82	78	74	70	67	64	61	59	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
No. 10	1 ¼"	32,3	209	192	178	166	155	145	137	130	123	117	112	107	102	98	94	90	87	84	81	79	76	74	74	74	74	74	74

Tabla 4.41

f´c = 280 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ≥ Ø 3/4 ó 20 mm
  ≤ Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																										
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	19	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
No. 3	3/8"	9,5	38	33	29	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
No. 4	½"	12,7	61	54	48	44	40	37	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
No. 5	5/8"	15,9	89	79	71	65	60	55	51	48	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
No. 6	¾"	19,1	119	107	97	89	82	76	71	66	62	59	56	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
No. 7	7/8"	22,2	150	135	124	114	105	98	92	86	81	77	73	69	66	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
No. 8	1"	25,4	184	167	153	141	131	123	115	108	102	97	92	88	84	80	77	74	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
No. 10	1 ¼"	32,3	261	240	222	207	194	182	171	162	154	146	139	133	128	122	118	113	109	105	102	98	95	93	93	93	93	93

Tabla 4.42

f´c = 280 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ =

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.

Barras ≤ Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
No. 3	3/8"	9,5	39	34	30	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
No. 4	½"	12,7	64	56	50	46	42	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
No. 5	5/8"	15,9	92	82	74	67	62	57	53	50	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
No. 6	¾"	19,1	123	111	101	92	85	79	73	69	65	61	58	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
No. 7	7/8"	22,2	156	141	129	118	109	102	95	89	84	80	76	72	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
No. 8	1"	25,4	191	174	159	147	137	128	120	113	106	101	96	91	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
No. 10	1 ¼"	32,3	272	250	231	215	201	189	178	169	160	152	145	139	133	127	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126

Tabla 4.43

f´c = 280 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.

Barras ≤ Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
No. 3	3/8"	9,5	49	43	38	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
No. 4	½"	12,7	80	70	63	57	52	48	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
No. 5	5/8"	15,9	115	103	93	84	77	72	66	62	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
No. 6	¾"	19,1	154	139	126	115	106	98	92	86	81	76	72	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
No. 7	7/8"	22,2	195	176	161	148	137	127	119	112	105	100	95	90	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89
No. 8	1"	25,4	239	217	199	184	171	160	150	141	133	126	120	114	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
No. 10	1 ¼"	32,3	339	312	289	269	252	236	223	211	200	190	181	173	166	159	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157	157

Tabla 4.44

f´c = 280 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.
Barras ≤ Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																										
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼”	6,4	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
No. 3	3/8”	9,5	30	26	23	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
No. 4	½”	12,7	49	43	39	35	32	30	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
No. 5	5/8”	15,9	71	63	57	52	48	44	41	38	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
No. 6	¾”	19,1	95	85	77	71	65	61	56	53	50	47	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
No. 7	7/8”	22,2	120	108	99	91	84	78	73	69	65	61	58	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
No. 8	1”	25,4	147	134	123	113	105	98	92	87	82	78	74	70	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
No. 10	1 ¼”	32,3	209	192	178	166	155	145	137	130	123	117	112	107	102	98	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97

Tabla 4.45

f´c = 280 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.
Barras ≤ Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																										
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼”	6,4	19	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
No. 3	3/8”	9,5	38	33	29	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
No. 4	½”	12,7	61	54	48	44	40	37	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
No.5	5/8”	15,9	89	79	71	65	60	55	51	48	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
No. 6	¾”	19,1	119	107	97	89	82	76	71	66	62	59	56	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
No. 7	7/8”	22,2	150	135	124	114	105	98	92	86	81	77	73	69	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
No. 8	1”	25,4	184	167	153	141	131	123	115	108	102	97	92	88	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84
No. 10	1 ¼”	32,3	261	240	222	207	194	182	171	162	154	146	139	133	128	122	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121

Tabla 4.46

f´c = 280 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

LONGITUD DE DESARROLLO
REFUERZO ELECTROSOLDADO DE
ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	9	9	9	9	9
3.5M	3,5	1,0	10	10	10	10	10
4.0M	4,0	1,0	12	12	12	12	12
4.5M	4,5	1,0	13	13	13	13	13
5.0M	5,0	1,0	15	15	15	15	15
5.5M	5,5	1,0	16	16	16	16	16
6.0M	6,0	1,0	18	18	18	18	18
6.5M	6,5	1,0	19	19	19	19	19
7.0M	7,0	1,0	21	21	21	21	21
7.5M	7,5	1,0	22	22	22	22	22
8.0M	8,0	1,0	24	24	24	24	24
8.5M	8,5	1,0	25	25	25	25	25

Tabla 4.47

f´c = 280 kg/c m2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

LONGITUD DE DESARROLLO
REFUERZO ELECTROSOLDADO DE
ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	11	11	11	11	11
3.5M	3,5	1,0	13	13	13	13	13
4.0M	4,0	1,0	15	15	15	15	15
4.5M	4,5	1,0	17	17	17	17	17
5.0M	5,0	1,0	19	19	19	19	19
5.5M	5,5	1,0	21	21	21	21	21
6.0M	6,0	1,0	22	22	22	22	22
6.5M	6,5	1,0	24	24	24	24	24
7.0M	7,0	1,0	26	26	26	26	26
7.5M	7,5	1,0	28	28	28	28	28
8.0M	8,0	1,0	30	30	30	30	30
8.5M	8,5	1,0	32	32	32	32	32

Tabla 4.48

f´c = 280 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

LONGITUD DE DESARROLLO
REFUERZO ELECTROSOLDADO DE
ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	7	7	7	7	7
3.5M	3,5	1,0	8	8	8	8	8
4.0M	4,0	1,0	9	9	9	9	9
4.5M	4,5	1,0	10	10	10	10	10
5.0M	5,0	1,0	11	11	11	11	11
5.5M	5,5	1,0	13	13	13	13	13
6.0M	6,0	1,0	14	14	14	14	14
6.5M	6,5	1,0	15	15	15	15	15
7.0M	7,0	1,0	16	16	16	16	16
7.5M	7,5	1,0	17	17	17	17	17
8.0M	8,0	1,0	18	18	18	18	18
8.5M	8,5	1,0	20	20	20	20	20

Tabla 4.49

f´c = 280 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

LONGITUD DE EMPALME
REFUERZO ELECTROSOLDADO DE
ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	20	20	20	20	20
4.5M	4,5	20	20	20	20	20
5.0M	5,0	20	20	20	20	20
5.5M	5,5	21	21	21	21	21
6.0M	6,0	23	23	23	23	23
6.5M	6,5	25	25	25	25	25
7.0M	7,0	27	27	27	27	27
7.5M	7,5	29	29	29	29	29
8.0M	8,0	31	31	31	31	31
8.5M	8,5	33	33	33	33	33

Tabla 4.50

f´c = 280 kg/cm2 fy = 4200 kg/cm2 Ψt = 1,3 Ψe = 1 Ψs = 1 λ = 1		LONGITUD DE EMPALME REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION				
Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	20	20	20	20	20
4.5M	4,5	22	22	22	22	22
5.0M	5,0	24	24	24	24	24
5.5M	5,5	27	27	27	27	27
6.0M	6,0	29	29	29	29	29
6.5M	6,5	32	32	32	32	32
7.0M	7,0	34	34	34	34	34
7.5M	7,5	36	36	36	36	36
8.0M	8,0	39	39	39	39	39
8.5M	8,5	41	41	41	41	41

Tabla 4.51

f´c = 280 kg/cm2 fy = 4200 kg/cm2 Ψt = 1 Ψe = 1 Ψs = 0,8 λ = 1		LONGITUD DE EMPALME REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION				
Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	20	20	20	20	20
4.5M	4,5	20	20	20	20	20
5.0M	5,0	20	20	20	20	20
5.5M	5,5	20	20	20	20	20
6.0M	6,0	20	20	20	20	20
6.5M	6,5	20	20	20	20	20
7.0M	7,0	21	21	21	21	21
7.5M	7,5	22	22	22	22	22
8.0M	8,0	24	24	24	24	24
8.5M	8,5	25	25	25	25	25

Tabla 4.52

f´c = 280 kg/cm2 fy = 4200 kg/cm2 Ψt = 1 Ψe = 1 Ψs = 1 λ = 1		LONGITUD DE EMPALME REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION				
Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	20	20	20	20	20
4.5M	4,5	20	20	20	20	20
5.0M	5,0	20	20	20	20	20
5.5M	5,5	21	21	21	21	21
6.0M	6,0	22	22	22	22	22
6.5M	6,5	24	24	24	24	24
7.0M	7,0	26	26	26	26	26
7.5M	7,5	28	28	28	28	28
8.0M	8,0	30	30	30	30	30
8.5M	8,5	32	32	32	32	32

Tabla 4.53

f´c = 315 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ≥ Ø 3/4 ó 20 mm ≤ Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
No. 3	3/8"	9,5	37	32	29	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
No. 4	½"	12,7	60	53	48	43	39	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
No. 5	5/8"	15,9	87	77	70	64	58	54	50	47	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
No. 6	¾"	19,1	116	104	95	87	80	74	69	65	61	58	55	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
No. 7	7/8"	22,2	147	133	121	111	103	96	90	84	79	75	71	68	65	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
No. 8	1"	25,4	180	164	150	139	129	120	113	106	100	95	90	86	82	79	75	72	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71
No. 10	1 ¼"	32,3	256	236	218	203	190	178	168	159	151	143	137	131	125	120	115	111	107	103	100	96	93	91	91	91	91	91

Tabla 4.54

f´c = 315 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ≥ Ø 3/4 ó 20 mm ≤ Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
No. 3	3/8"	9,5	46	40	36	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
No. 4	½"	12,7	75	66	59	54	49	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
No. 5	5/8"	15,9	109	97	87	80	73	67	63	59	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
No. 6	¾	19,1	145	131	119	109	100	93	87	81	76	72	68	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
No. 7	7/8"	22,2	184	166	151	139	129	120	112	105	99	94	89	85	81	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
No. 8	1"	25,4	225	205	188	173	161	150	141	133	125	119	113	108	103	98	94	90	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89
No. 10	1 ¼"	32,3	320	294	273	254	237	223	210	199	188	179	171	163	156	150	144	139	134	129	125	120	117	114	114	114	114	114

Tabla 4.55

f´c = 315 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ⩾Ø 3/4 ó 20 mm ⩽Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																												
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
No. 3	3/8"	9,5	28	25	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
No. 4	½"	12,7	46	41	37	33	30	28	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
No. 5	5/8"	15,9	67	60	54	49	45	42	39	36	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
No. 6	¾"	19,1	89	80	73	67	62	57	53	50	47	44	42	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
No. 7	7/8"	22,2	113	102	93	86	79	74	69	65	61	58	55	52	50	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
No. 8	1"	25,4	138	126	116	107	99	93	87	82	77	73	70	66	63	60	58	56	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
No. 10	1 ¼"	32,3	197	181	168	156	146	137	129	122	116	110	105	101	96	92	89	85	82	79	77	74	72	70	70	70	70	70

Tabla 4.56

f´c = 315 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ⩾Ø 3/4 ó 20 mm ⩽Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																												
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
No. 3	3/8"	9,5	35	31	27	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
No. 4	½"	12,7	58	51	46	41	38	35	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
No. 5	5/8"	15,9	84	74	67	61	56	52	48	45	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
No. 6	¾"	19,1	112	100	91	83	77	71	67	62	59	55	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
No. 7	7/8"	22,2	141	128	117	107	99	92	86	81	76	72	69	65	62	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
No. 8	1"	25,4	173	157	144	133	124	116	109	102	97	91	87	83	79	76	72	70	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69
No. 10	1 ¼"	32,3	246	226	210	195	183	171	162	153	145	138	131	126	120	115	111	107	103	99	96	93	90	87	87	87	87	87

GERDAU DIACO

Tabla 4.57

f´c = 315 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.

Barras ⩽Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
No. 3	3/8"	9,5	37	32	29	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
No. 4	½"	12,7	60	53	48	43	39	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
No. 5	5/8"	15,9	87	77	70	64	58	54	50	47	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
No. 6	¾"	19,1	116	104	95	87	80	74	69	65	61	58	55	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54
No. 7	7/8"	22,2	147	133	121	111	103	96	90	84	79	75	71	68	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
No. 8	1"	25,4	180	164	150	139	129	120	113	106	100	95	90	86	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
No. 10	1 ¼"	32,3	256	236	218	203	190	178	168	159	151	143	137	131	125	120	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119	119

Tabla 4.58

f´c = 315 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.

Barras ⩽Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
No. 3	3/8"	9,5	46	40	36	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
No. 4	½"	12,7	75	66	59	54	49	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
No. 5	5/8"	15,9	109	97	87	80	73	67	63	59	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56
No. 6	¾"	19,1	145	131	119	109	100	93	87	81	76	72	68	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
No. 7	7/8"	22,2	184	166	151	139	129	120	112	105	99	94	89	85	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84
No. 8	1"	25,4	225	205	188	173	161	150	141	133	125	119	113	108	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103
No. 10	1 ¼"	32,3	320	294	273	254	237	223	210	199	188	179	171	163	156	150	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148

Tabla 4.59

f´c = 315 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.

Barras ≤Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
No. 3	3/8"	9,5	28	25	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
No. 4	½"	12,7	46	41	37	33	30	28	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
No. 5	5/8"	15,9	67	60	54	49	45	42	39	36	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
No. 6	¾"	19,1	89	80	73	67	62	57	53	50	47	44	42	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
No. 7	7/8"	22,2	113	102	93	86	79	74	69	65	61	58	55	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
No. 8	1"	25,4	138	126	116	107	99	93	87	82	77	73	70	66	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
No. 10	1 ¼"	32,3	197	181	168	156	146	137	129	122	116	110	105	101	96	92	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91	91

Tabla 4.60

f´c = 315 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.

Barras ≤Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	18	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
No. 3	3/8"	9,5	35	31	27	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
No. 4	½"	12,7	58	51	46	41	38	35	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
No. 5	5/8"	15,9	84	74	67	61	56	52	48	45	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43
No. 6	¾"	19,1	112	100	91	83	77	71	67	62	59	55	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
No. 7	7/8"	22,2	141	128	117	107	99	92	86	81	76	72	69	65	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
No. 8	1"	25,4	173	157	144	133	124	116	109	102	97	91	87	83	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
No. 10	1 ¼"	32,3	246	226	210	195	183	171	162	153	145	138	131	126	120	115	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114

Tabla 4.61

f´c = 315 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

LONGITUD DE DESARROLLO REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	8	8	8	8	8
3.5M	3,5	1,0	10	10	10	10	10
4.0M	4,0	1,0	11	11	11	11	11
4.5M	4,5	1,0	13	13	13	13	13
5.0M	5,0	1,0	14	14	14	14	14
5.5M	5,5	1,0	15	15	15	15	15
6.0M	6,0	1,0	17	17	17	17	17
6.5M	6,5	1,0	18	18	18	18	18
7.0M	7,0	1,0	20	20	20	20	20
7.5M	7,5	1,0	21	21	21	21	21
8.0M	8,0	1,0	23	23	23	23	23
8.5M	8,5	1,0	24	24	24	24	24

Tabla 4.62

f´c = 315 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

LONGITUD DE DESARROLLO REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	11	11	11	11	11
3.5M	3,5	1,0	12	12	12	12	12
4.0M	4,0	1,0	14	14	14	14	14
4.5M	4,5	1,0	16	16	16	16	16
5.0M	5,0	1,0	18	18	18	18	18
5.5M	5,5	1,0	19	19	19	19	19
6.0M	6,0	1,0	21	21	21	21	21
6.5M	6,5	1,0	23	23	23	23	23
7.0M	7,0	1,0	25	25	25	25	25
7.5M	7,5	1,0	26	26	26	26	26
8.0M	8,0	1,0	28	28	28	28	28
8.5M	8,5	1,0	30	30	30	30	30

Tabla 4.63

f´c = 315 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

LONGITUD DE DESARROLLO REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	6	6	6	6	6
3.5M	3,5	1,0	8	8	8	8	8
4.0M	4,0	1,0	9	9	9	9	9
4.5M	4,5	1,0	10	10	10	10	10
5.0M	5,0	1,0	11	11	11	11	11
5.5M	5,5	1,0	12	12	12	12	12
6.0M	6,0	1,0	13	13	13	13	13
6.5M	6,5	1,0	14	14	14	14	14
7.0M	7,0	1,0	15	15	15	15	15
7.5M	7,5	1,0	16	16	16	16	16
8.0M	8,0	1,0	17	17	17	17	17
8.5M	8,5	1,0	18	18	18	18	18

Tabla 4.64

f´c = 315 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

LONGITUD DE DESARROLLO REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	8	8	8	8	8
3.5M	3,5	1,0	9	9	9	9	9
4.0M	4,0	1,0	11	11	11	11	11
4.5M	4,5	1,0	12	12	12	12	12
5.0M	5,0	1,0	14	14	14	14	14
5.5M	5,5	1,0	15	15	15	15	15
6.0M	6,0	1,0	16	16	16	16	16
6.5M	6,5	1,0	18	18	18	18	18
7.0M	7,0	1,0	19	19	19	19	19
7.5M	7,5	1,0	20	20	20	20	20
8.0M	8,0	1,0	22	22	22	22	22
8.5M	8,5	1,0	23	23	23	23	23

Tabla 4.65

f´c = 315 kg/cm2 fy = 4200 kg/cm2 Ψt = 1,3 Ψe = 1 Ψs = 0,8 λ = 1		LONGITUD DE EMPALME REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION				
Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	20	20	20	20	20
4.5M	4,5	20	20	20	20	20
5.0M	5,0	20	20	20	20	20
5.5M	5,5	20	20	20	20	20
6.0M	6,0	22	22	22	22	22
6.5M	6,5	24	24	24	24	24
7.0M	7,0	26	26	26	26	26
7.5M	7,5	27	27	27	27	27
8.0M	8,0	29	29	29	29	29
8.5M	8,5	31	31	31	31	31

Tabla 4.66

f´c = 315 kg/cm2 fy = 4200 kg/cm2 Ψt = 1,3 Ψe = 1 Ψs = 1 λ = 1			LONGITUD DE EMPALME REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION				
Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0		20	20	20	20	20
3.5M	3,5		20	20	20	20	20
4.0M	4,0		20	20	20	20	20
4.5M	4,5		21	21	21	21	21
5.0M	5,0		23	23	23	23	23
5.5M	5,5		25	25	25	25	25
6.0M	6,0		27	27	27	27	27
6.5M	6,5		30	30	30	30	30
7.0M	7,0		32	32	32	32	32
7.5M	7,5		34	34	34	34	34
8.0M	8,0		37	37	37	37	37
8.5M	8,5		39	39	39	39	39

Tabla 4.67

f´c = 315 kg/cm2 fy = 4200 kg/cm2 Ψt = 1 Ψe = 1 Ψs = 0,8 λ = 1		LONGITUD DE EMPALME REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION				
Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	20	20	20	20	20
4.5M	4,5	20	20	20	20	20
5.0M	5,0	20	20	20	20	20
5.5M	5,5	20	20	20	20	20
6.0M	6,0	20	20	20	20	20
6.5M	6,5	20	20	20	20	20
7.0M	7,0	20	20	20	20	20
7.5M	7,5	21	21	21	21	21
8.0M	8,0	23	23	23	23	23
8.5M	8,5	24	24	24	24	24

Tabla 4.68

f´c = 315 kg/cm2 fy = 4200 kg/cm2 Ψt = 1 Ψe = 1 Ψs = 1 λ = 1		LONGITUD DE EMPALME REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION				
Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	20	20	20	20	20
4.5M	4,5	20	20	20	20	20
5.0M	5,0	20	20	20	20	20
5.5M	5,5	20	20	20	20	20
6.0M	6,0	21	21	21	21	21
6.5M	6,5	23	23	23	23	23
7.0M	7,0	25	25	25	25	25
7.5M	7,5	26	26	26	26	26
8.0M	8,0	28	28	28	28	28
8.5M	8,5	30	30	30	30	30

Tabla 4.69

f´c = 350 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ⩾Ø 3/4 ó 20 mm ⩽Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
No. 3	3/8"	9,5	35	30	27	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
No. 4	½"	12,7	57	50	45	41	37	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
No. 5	5/8"	15,9	82	73	66	60	55	51	48	44	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
No. 6	¾"	19,1	110	99	90	82	76	70	66	62	58	55	52	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
No. 7	7/8"	22,2	139	126	115	106	98	91	85	80	75	71	68	64	61	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
No. 8	1"	25,4	171	155	143	132	122	114	107	101	95	90	86	82	78	75	71	69	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
No. 10	1 ¼"	32,3	243	223	207	193	180	169	159	151	143	136	130	124	119	114	109	105	101	98	94	91	88	86	86	86	86	86

Tabla 4.70

f´c = 350 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ⩾Ø 3/4 ó 20 mm ⩽Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
No. 3	3/8"	9,5	44	38	34	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
No. 4	½	12,7	71	63	56	51	47	43	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
No. 5	5/8"	15,9	103	92	83	75	69	64	59	56	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
No. 6	¾"	19,1	138	124	112	103	95	88	82	77	72	68	65	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
No. 7	7/8"	22,2	174	157	144	132	122	114	106	100	94	89	85	80	77	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
No. 8	1"	25,4	213	194	178	165	153	143	134	126	119	113	107	102	97	93	89	86	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
No. 10	1 ¼"	32,3	304	279	259	241	225	211	199	189	179	170	162	155	148	142	137	132	127	122	118	114	111	108	108	108	108	108

Tabla 4.71

f´c = 350 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ≥Ø 3/4 ó 20 mm ≤Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
No. 3	3/8"	9,5	27	23	21	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
No. 4	½	12,7	44	39	35	31	29	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
No. 5	5/8"	15,9	63	57	51	46	43	39	37	34	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
No. 6	¾"	19,1	85	76	69	63	58	54	51	47	45	42	40	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
No. 7	7/8"	22,2	107	97	88	81	75	70	66	62	58	55	52	49	47	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
No. 8	1"	25,4	131	120	110	101	94	88	82	78	73	69	66	63	60	57	55	53	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
No. 10	1 ¼"	32,3	187	172	159	148	139	130	123	116	110	105	100	95	91	88	84	81	78	75	73	70	68	66	66	66	66	66

Tabla 4.72

f´c = 350 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

- Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente en él.
- Concreto expuesto a suelo o a la intemperie Barras ≥Ø 3/4 ó 20 mm ≤Ø 5/8" ó 16 mm
- Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo. Vigas y columnas: Armadura principal, estribos, espirales

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
No. 3	3/8"	9,5	34	29	26	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
No. 4	½"	12,7	55	48	43	39	36	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
No. 5	5/8"	15,9	79	71	64	58	53	49	46	43	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
No. 6	¾"	19,1	106	95	87	79	73	68	63	59	56	53	50	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
No. 7	7/8"	22,2	134	121	111	102	94	88	82	77	73	69	65	62	59	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
No. 8	1"	25,4	164	149	137	127	118	110	103	97	92	87	82	79	75	72	69	66	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
No. 10	1 ¼"	32,3	234	215	199	185	173	163	153	145	138	131	125	119	114	109	105	101	97	94	91	88	85	83	83	83	83	83

GERDAU DIACO

Tabla 4.73

f´c = 350 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.

Barras ≤Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																												
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
No. 3	3/8"	9,5	35	30	27	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
No. 4	½"	12,7	57	50	45	41	37	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
No. 5	5/8"	15,9	82	73	66	60	55	51	48	44	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
No. 6	¾"	19,1	110	99	90	82	76	70	66	62	58	55	52	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
No. 7	7/8"	22,2	139	126	115	106	98	91	85	80	75	71	68	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
No. 8	1"	25,4	171	155	143	132	122	114	107	101	95	90	86	82	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78
No. 10	1 ¼"	32,3	243	223	207	193	180	169	159	151	143	136	130	124	119	114	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113	113

Tabla 4.74

f´c = 350 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.

Barras ≤Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																												
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
No. 3	3/8"	9,5	44	38	34	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
No. 4	½"	12,7	71	63	56	51	47	43	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
No. 5	5/8"	15,9	103	92	83	75	69	64	59	56	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
No. 6	¾"	19,1	138	124	112	103	95	88	82	77	72	68	65	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
No. 7	7/8"	22,2	174	157	144	132	122	114	106	100	94	89	85	80	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79	79
No. 8	1"	25,4	213	194	178	165	153	143	134	126	119	113	107	102	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
No. 10	1 ¼"	32,3	304	279	259	241	225	211	199	189	179	170	162	155	148	142	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141

Tabla 4.75

f´c = 350 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

BARRAS CORRUGADAS A TRACCION
LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.
Barras ≤Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
No. 3	3/8"	9,5	27	23	21	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
No. 4	½"	12,7	44	39	35	31	29	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
No. 5	5/8"	15,9	63	57	51	46	43	39	37	34	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
No. 6	¾"	19,1	85	76	69	63	58	54	51	47	45	42	40	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
No. 7	7/8"	22,2	107	97	88	81	75	70	66	62	58	55	52	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
No. 8	1"	25,4	131	120	110	101	94	88	82	78	73	69	66	63	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
No. 10	1 ¼"	32,3	187	172	159	148	139	130	123	116	110	105	100	95	91	88	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87

Tabla 4.76

f´c = 350 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

LONGITUDES DE DESARROLLO en cm

Concreto no expuesto a suelo o a la intemperie ni en contacto con el suelo. Losas, muros y viguetas.
Barras ≤Ø 11/4" ó 32.3 mm

Barra No.	Diámetro (")	mm	Espaciamiento de las barras (cm)																											
			2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15
No. 2	¼"	6,4	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
No. 3	3/8"	9,5	34	29	26	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
No. 4	½"	12,7	55	48	43	39	36	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
No. 5	5/8"	15,9	79	71	64	58	53	49	46	43	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
No. 6	¾"	19,1	106	95	87	79	73	68	63	59	56	53	50	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
No. 7	7/8"	22,2	134	121	111	102	94	88	82	77	73	69	65	62	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
No. 8	1"	25,4	164	149	137	127	118	110	103	97	92	87	82	79	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
No. 10	1 ¼"	32,3	234	215	199	185	173	163	153	145	138	131	125	119	114	109	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108

Tabla 4.77

f´c = 350 kg/cm2 fy = 4200 kg/cm2 Ψt = 1,3 Ψe = 1 Ψs = 0,8 λ = 1			LONGITUD DE DESARROLLO REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION				
Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	8	8	8	8	8
3.5M	3,5	1,0	9	9	9	9	9
4.0M	4,0	1,0	11	11	11	11	11
4.5M	4,5	1,0	12	12	12	12	12
5.0M	5,0	1,0	13	13	13	13	13
5.5M	5,5	1,0	15	15	15	15	15
6.0M	6,0	1,0	16	16	16	16	16
6.5M	6,5	1,0	17	17	17	17	17
7.0M	7,0	1,0	19	19	19	19	19
7.5M	7,5	1,0	20	20	20	20	20
8.0M	8,0	1,0	21	21	21	21	21
8.5M	8,5	1,0	23	23	23	23	23

Tabla 4.78

f´c = 350 kg/cm2 fy = 4200 kg/cm2 Ψt = 1,3 Ψe = 1 Ψs = 1 λ = 1			LONGITUD DE DESARROLLO REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION				
Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	10	10	10	10	10
3.5M	3,5	1,0	12	12	12	12	12
4.0M	4,0	1,0	13	13	13	13	13
4.5M	4,5	1,0	15	15	15	15	15
5.0M	5,0	1,0	17	17	17	17	17
5.5M	5,5	1,0	18	18	18	18	18
6.0M	6,0	1,0	20	20	20	20	20
6.5M	6,5	1,0	22	22	22	22	22
7.0M	7,0	1,0	23	23	23	23	23
7.5M	7,5	1,0	25	25	25	25	25
8.0M	8,0	1,0	27	27	27	27	27
8.5M	8,5	1,0	28	28	28	28	28

Tabla 4.79

f´c = 350 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

LONGITUD DE DESARROLLO REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	6	6	6	6	6
3.5M	3,5	1,0	7	7	7	7	7
4.0M	4,0	1,0	8	8	8	8	8
4.5M	4,5	1,0	9	9	9	9	9
5.0M	5,0	1,0	10	10	10	10	10
5.5M	5,5	1,0	11	11	11	11	11
6.0M	6,0	1,0	12	12	12	12	12
6.5M	6,5	1,0	13	13	13	13	13
7.0M	7,0	1,0	14	14	14	14	14
7.5M	7,5	1,0	15	15	15	15	15
8.0M	8,0	1,0	16	16	16	16	16
8.5M	8,5	1,0	17	17	17	17	17

Tabla 4.80

f´c = 350 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

LONGITUD DE DESARROLLO REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Ψw	Espaciamiento de las barras (cm)				
			10	15	20	25	30
3.0M	3,0	1,0	8	8	8	8	8
3.5M	3,5	1,0	9	9	9	9	9
4.0M	4,0	1,0	10	10	10	10	10
4.5M	4,5	1,0	12	12	12	12	12
5.0M	5,0	1,0	13	13	13	13	13
5.5M	5,5	1,0	14	14	14	14	14
6.0M	6,0	1,0	15	15	15	15	15
6.5M	6,5	1,0	17	17	17	17	17
7.0M	7,0	1,0	18	18	18	18	18
7.5M	7,5	1,0	19	19	19	19	19
8.0M	8,0	1,0	21	21	21	21	21
8.5M	8,5	1,0	22	22	22	22	22

Tabla 4.81

f´c = 350 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 0,8
λ = 1

LONGITUD DE EMPALME REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	20	20	20	20	20
4.5M	4,5	20	20	20	20	20
5.0M	5,0	20	20	20	20	20
5.5M	5,5	20	20	20	20	20
6.0M	6,0	21	21	21	21	21
6.5M	6,5	23	23	23	23	23
7.0M	7,0	24	24	24	24	24
7.5M	7,5	26	26	26	26	26
8.0M	8,0	28	28	28	28	28
8.5M	8,5	29	29	29	29	29

Tabla 4.82

f´c = 350 kg/cm2
fy = 4200 kg/cm2
Ψt = 1,3
Ψe = 1
Ψs = 1
λ = 1

LONGITUD DE EMPALME REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION

Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	20	20	20	20	20
4.5M	4,5	20	20	20	20	20
5.0M	5,0	22	22	22	22	22
5.5M	5,5	24	24	24	24	24
6.0M	6,0	26	26	26	26	26
6.5M	6,5	28	28	28	28	28
7.0M	7,0	30	30	30	30	30
7.5M	7,5	33	33	33	33	33
8.0M	8,0	35	35	35	35	35
8.5M	8,5	37	37	37	37	37

Tabla 4.83

f´c = 350 kg/cm2 fy = 4200 kg/cm2 Ψt = 1 Ψe = 1 Ψs = 0,8 λ = 1		LONGITUD DE EMPALME REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION				
Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	20	20	20	20	20
4.5M	4,5	20	20	20	20	20
5.0M	5,0	20	20	20	20	20
5.5M	5,5	20	20	20	20	20
6.0M	6,0	20	20	20	20	20
6.5M	6,5	20	20	20	20	20
7.0M	7,0	20	20	20	20	20
7.5M	7,5	20	20	20	20	20
8.0M	8,0	21	21	21	21	21
8.5M	8,5	23	23	23	23	23

Tabla 4.84

f´c = 350 kg/cm2 fy = 4200 kg/cm2 Ψt = 1 Ψe = 1 Ψs = 1 λ = 1		LONGITUD DE EMPALME REFUERZO ELECTROSOLDADO DE ALAMBRE CORRUGADO A TRACCION				
Barra	Diametro mm	Espaciamiento de las barras (cm)				
		10	15	20	25	30
3.0M	3,0	20	20	20	20	20
3.5M	3,5	20	20	20	20	20
4.0M	4,0	20	20	20	20	20
4.5M	4,5	20	20	20	20	20
5.0M	5,0	20	20	20	20	20
5.5M	5,5	20	20	20	20	20
6.0M	6,0	20	20	20	20	20
6.5M	6,5	22	22	22	22	22
7.0M	7,0	23	23	23	23	23
7.5M	7,5	25	25	25	25	25
8.0M	8,0	27	27	27	27	27
8.5M	8,5	28	28	28	28	28

Tabla 4.85

fy= 4200 kg/cm2 λ = 1			BARRAS CORRUGADAS A COMPRESION LONGITUD DE DESARROLLO en cm				
Barra No.	Diámetro (")	mm	Concreto f'c (kg/cm2)				
			210	245	280	315	350
No. 2	¼"	6,4	20	20	20	20	20
No. 3	3/8"	9,5	21	20	20	20	20
No. 4	½"	12,7	28	26	24	23	23
No. 5	5/8"	15,9	35	32	30	29	29
No. 6	¾"	19,1	42	38	36	35	35
No. 7	7/8"	22,2	48	45	42	41	41
No. 8	1"	25,4	55	51	48	47	47
No.9	11/8"	28,7	62	58	54	53	53
No. 10	1 ¼"	32,3	70	65	61	60	60

GERDAU
DIACO

capítulo 5

Mallas de refuerzo

1. Introducción

Existen en el mercado el recurso de disponer del refuerzo distribuido uniformemente con varias separaciones para los distintos diámetros de los alambres. Se denominan mallas de refuerzo las cuales se fabrican en una dimensión de 2.35 x 6.00 m. En paneles estándar.

Las mallas son arreglos planos de alambres de refuerzo lisos o corrugados, uniformemente espaciados en cada dirección formando cuadrículas cuadradas o rectangulares, electrosoldadas en los puntos de intersección, por lo que se presentan gran cantidad de arreglos para diversos usos. Por sus características se constituye en un recurso imprescindible en los procesos constructivos.

Figura 5.1 Manipulación de mallas en placa de entrepiso.

La Norma NSR-10 establece los siguientes requisitos para las mallas:

C.3.5.3.5 – El alambre corrugado para refuerzo del concreto debe cumplir con NTC 5806, excepto que el alambre no debe ser menor que el tamaño MD25 (5.6 mm de diámetro), ni mayor que el tamaño MD200 (16 mm de diámetro), a menos que lo permita C.3.5.3.7. Para el alambre con fy mayor de 420 MPa, la resistencia a la fluencia debe ser el esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria de 0.35 por ciento. No se permite el uso de alambres individuales, corrugados o lisos, como refuerzo en forma de estribos ni como refuerzo longitudinal en elementos que formen parte del sistema de resistencia sísmica.

C.3.5.3.6 – El alambre de refuerzo electrosoldado liso debe cumplir con NTC 5806 (ASTM A 1064), excepto que para alambre con fy mayor de 420

MPa, la resistencia a la fluencia debe ser el esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria de 0.35 por ciento. Las intersecciones soldadas no deben estar espaciadas más de 30 cm en el sentido del esfuerzo calculado, excepto para refuerzo de alambre electrosoldado utilizado como estribos de acuerdo con C.12.13.2.

C.3.5.3.7 – El refuerzo electrosoldado de alambre corrugado deben cumplir con NTC (ASTM A1064M), excepto que para alambres con fy mayor de 420 Mpa, la resistencia a la fluencia debe ser el esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria de 0.35 por ciento. Las intersecciones soldadas no deben estar espaciadas más de 40 cm en el sentido del esfuerzo calculado, excepto para refuerzo de alambre electrosoldado utilizado como estribos de acuerdo con C.12.13.2. El alambre corrugado utilizado con diámetro mayor que MD200 (16 mm de diámetro) se permite cuando se utiliza en refuerzo electrosoldado que cumpla con NTC 5806 (ASTM A1064M), pero debe tratarse como alambre liso para efectos de desarrollo y diseño de empalmes.

C.3.5.4 – Refuerzo liso

C.3.5.4.1 – El refuerzo liso solo se permite en estribos, refuerzo de retracción y temperatura o refuerzo en espiral y no puede utilizarse como refuerzo longitudinal a flexión, excepto cuando conforma mallas electrosoldadas y deben cumplir con la norma NTC 161 o con los requisitos para refuerzo corrugado especificados en C.3.5.3.1.

C.7.2 – Diámetros mínimo de doblado

C.7.2.3 – El diámetro interior de doblado en refuerzo electrosoldado de alambre (corrugado o lisos) para estribos no debe ser menor que 4db para alambre corrugado mayor de MD40 (7.1 mm de diámetro), y 2db para los demás diámetros de alambre. Ningún doblez con diámetro interior menor de 8db debe ser menos de 4db de la intersección soldada más cercana.

C.7.5 - Colocación del refuerzo

C.7.5.3 – El refuerzo electrosoldado de alambre (fabricado con alambre cuyo tamaño no sea superior a MW30 o MD30 o 6.2 mm de diámetro) utilizadas en losas con vanos menores de 3 m se puede doblar desde un punto situado cerca de la cara superior de apoyo, hasta otro punto localizado cerca de la cara inferior en el centro del vano, siempre y cuando este refuerzo sea continuo sobre el apoyo o esté debidamente anclado en él.

Nota: La designación MD y MW corresponde a la designación de la norma ASTM correspondiente en su versión unidades SI. En Colombia es usual utilizar la designación en mm de acuerdo a la norma NTC correspondiente.

El proceso de fabricación

Las mallas electrosoldadas se fabrican a partir de grafiles de acero de alta resistencia, obtenidos por trefilación y/o laminación en frío. La unión se realiza en equipo altamente especializado mediante soldadura de electro fusión, con lo cual se obtiene una armadura rígida cuyos alambres se encuentran distribuidos de forma exacta.

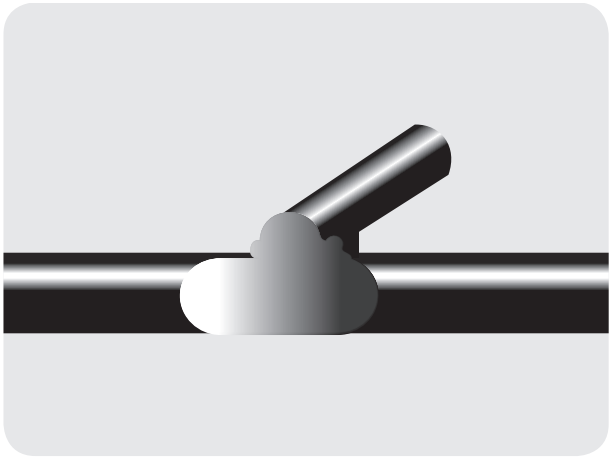


Figura 5.2 Sección típica de intersección electrosoldada, nótese la completa fusión del alambre.

Ventajas

La utilización de las mallas electrosoldads se ha extendido en vista de que su utilización es sencilla y rápida con lo cual se consiguen beneficios de tiempo y mejora en la calidad de la obra. Se favorece el rendimiento de la instalación del refuerzo por su rigidez y exactitud en la posición del refuerzo, adicionalmente sus posibles combinaciones permiten ajustar la cuantía exacta para cada necesidad, lo que hace de este producto especialmente recomendado cuando se trata de reforzar elementos de forma uniformemente distribuida.

2. Características técnicas

Tabla 5.1 –Propiedades dimensionales de grafiles GERDAU DIACO

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS DE GRAFILES PARA MALLAS ELECTROSOLDADAS

Número de designación	Diámetro nominal (mm)	Área nominal (mm^2)	Masa nominal (kg/m) Tolerancia ± 6%	Resaltes			
				Espaciamiento mm		Altura promedio mínima	
				Máximo	Mínimo	(mm)	% d
D 4.0	4.0	12.6	0.099	7.24	4.62	0.16	4
D 4.5	4.5	15.9	0.125	7.24	4.62	0.18	4
D 5.0	5.0	19.6	0.154	7.24	4.62	0.20	4
D 5.5	5.5	23.8	0.187	7.24	4.62	0.25	4.5
D 6.0	6.0	28.3	0.222	7.24	4.62	0.27	4.5
D 6.5	6.5	33.2	0.260	7.24	4.62	0.29	4.5
D 7.0	7.0	38.5	0.302	7.24	4.62	0.31	4.5
D 7.5	7.5	44.2	0.347	7.24	4.62	0.34	4.5
D 8.0	8.0	50.3	0.395	7.24	4.62	0.36	4.5
D 8.5	8.5	56.8	0.446	7.24	4.62	0.38	4.5

Notas:

- El diámetro nominal del alambre es el equivalente al diámetro de un alambre liso que tenga la misma masa por metro que el alambre grafilado.
- La altura mínima promedio de los resaltes debe determinarse a partir de la medición de no menos de dos resaltes típicos de cada línea de resaltes sobre el alambre. Las mediciones deben hacerse en el centro de las indentaciones, como se describe en la Norma NTC 5806 numeral 7.2.

Tabla 5.2 - Designación, dimensiones y cuantía de refuerzo de las Mallas Electrosoldadas - GERDAU DIACO

Designación	No. de barras por malla		Diámetro		Separación		Longitud pelos		Peso	Cuantía principal
	Long	Trans	Long	Trans	Long	Trans	Long	Trans	Nominal	Nominal
	6.00	2.35	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg	cm^2/m
XY Mallas electrosoldadas GERDAU DIACO con refuerzo Principal en una dirección (Panel 2.35 x 6.00 m)										
XY-084	16	24	4.0	4.0	150	250	125	50	15.1	0.84
XY-106	16	24	4.5	4.0	150	250	125	50	17.6	1.06
XY-131	16	24	5.0	4.0	150	250	150	50	20.4	1.31
XY-158	16	24	5.5	4.0	150	250	125	50	23.5	1.58
XY-221	16	24	6.5	4.0	150	250	125	50	30.6	2.21
XY-257	16	24	7.0	5.0	150	250	125	50	37.7	2.57
XY-335	16	24	8.0	5.0	150	250	125	50	46.6	3.35
XY-378	16	24	8.5	5.0	150	250	125	50	51.5	3.78
XY Mallas electrosoldadas GERDAU DIACO con refuerzo Principal en dos direcciones (Panel 2.35 x 6.00 m)										
XX-0.50	10	24	4.0	4.0	150	150	125	50	11.5	0.50
XX-0.63	12	30	4.0	4.0	150	150	100	75	14.1	0.63
XX-084	16	40	4.0	4.0	150	150	75	50	18.8	0.84
XX-106	16	40	4.5	4.5	150	150	75	50	23.8	1.06
XX-131	16	40	5.0	5.0	150	150	75	50	29.3	1.31
XX-158	16	40	5.5	5.5	150	150	75	50	35.5	1.58
XX-188	16	40	6.0	6.0	150	150	75	50	42.2	1.88
XX-221	16	40	6.5	6.5	150	150	75	50	49.6	2.21
XX-257	16	40	7.0	7.0	150	150	75	50	57.4	2.57
XX-295	16	40	7.5	7.5	150	150	75	50	65.9	2.95
XX-335	16	40	8.0	8.0	150	150	75	50	75.1	3.35
XX-378	16	40	8.5	8.5	150	150	75	50	84.7	3.78
POP Mallas electrosoldadas GERDAU DIACO (Panel 2.00 x 3.00 m)										
POP-050	8	12	4.0	4.0	250	250	125	50	4.8	0.50
POP-063	10	15	4.0	4.0	200	200	100	75	5.9	0.63
POP-084	14	20	4.0	4.0	150	150	75	50	8.1	0.84

Notas:

- Bajo pedido, GERDAU DIACO puede fabricar otras dimensiones de Mallas Electrosoldadas.
- La cuantía de refuerzo corresponde a la sumatoria del área de refuerzo (grafiles) en una sección de un metro lineal.
- La designación de la malla se da por el tipo de malla y su cuantía de refuerzo principal. P.ej.: La malla XY-158 corresponde a una malla de L 150 x 250 – 5.5 x 4.0, donde el refuerzo principal esta dado cada 150 mm con un grafil de diámetro 5.5 mm y cuantía de 158 cm2 por metro lineal.
- Los pelos corresponde a la longitud saliente en cada extremo de la malla, tanto longitudinal como transversal.

Tabla 5.3 -Tolerancias dimensionales Mallas Electrosoldadas – GERDAU DIACO

Dimensión		Descrición	Tolerancia
Espaciamiento entre alambres	*a*, transversal *b*, longitudinal	Medida entre centros de los elementos individuales	6.35 mm máx.
Pelos Longitudinales	*c*	Medida de la línea central del alambre de borde transversal	± 25 mm de longitud especificada
Pelos transversales	*d*	Medida de la línea central del alambre de borde longitudinal	± 13 mm de longitud especificada
Ancho útil		Distancia entre los centros de los alambres longitudinales externos	± 13 mm
Ancho total		Longitud punta a punta de los Alambres transversales	± 25 mm
Longitud total		Longitud punta a punta de los alambres longitudinales	± 25 mm ó 1% de longitud de la malla (el que sea mayor)

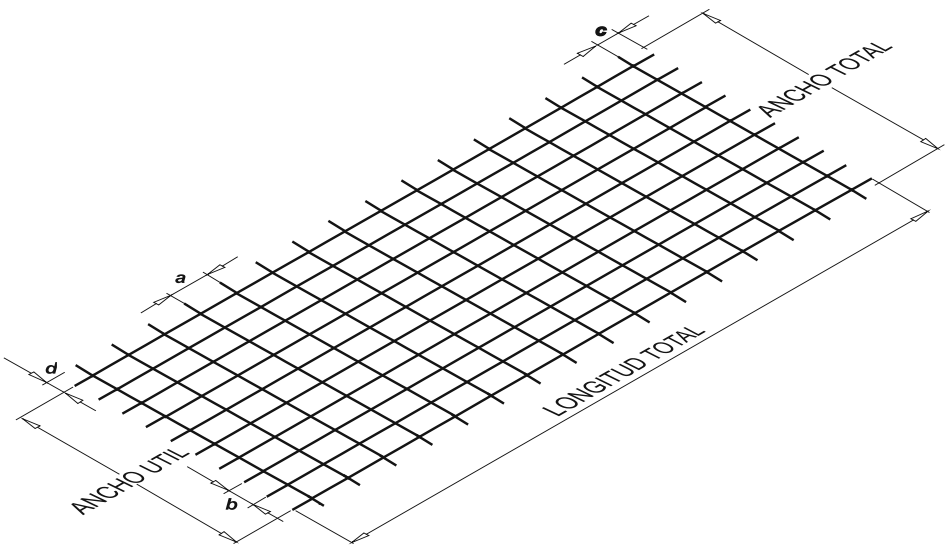


Figura 5.3 - Propiedades dimensionales Mallas Electrosoldadas – GERDAU DIACO.

Tabla 5.4 - Propiedades mecánicas de grafiles para mallas

Propiedades Mecánicas	psi	kg/mm²	MPa
Resistencia mínima a la tracción	80000	56	550
Resistencia mínima a la fluencia	70000	49	485

La fluencia se determina al 0.5% de la extensión bajo carga. El esfuerzo debe calcularse sobre el área nominal del grafil.

Doblamiento a 90°	d = diámetro del mandril
D ≤ 7.0	2 d
D > 7.0	4 d

El ensayo de doblado se realiza con una probeta tomada entre las soldaduras

Observaciones:

- Las probetas para realizar los ensayos mecánicos en mallas electrosoldadas deben tomarse de una franja completa a lo ancho de la malla, y con la longitud suficiente (mínimo 80 cm).
- Al menos, el 50% de las probetas para ensayo a la tracción deben contener el punto de soldadura en la mitad; y el grafil transversal debe ser cortado dejando por lo menos una pulgada a cada lado de la probeta.
- Las probetas tomadas no deben tener defectos aparentes y deben ser tomadas de paneles completos en el producto terminado.

Manejo y almacenamiento de las mallas

- En lo posible almacenar bajo techo y/o en lugares ventilados evitando el contacto con ambientes húmedos
- Evitar almacenar al aire libre. Se recomienda cubrir con plástico siempre y cuando se deje ventilación suficiente para evitar la concentración de humedad bajo el plástico.
- La altura máxima recomendada de una pila es 2.5 m.
- Los paquetes de mallas se deben apilar en forma organizada, procurando que queden alineados para evitar riesgos de volcamiento.
- El almacenamiento se puede realizar directamente sobre el suelo, teniendo en cuenta que este no presente desniveles ni pendientes pronunciadas.
- No se debe almacenar mallas en lugares donde se empoza el agua o existe humedad excesiva en el suelo.
- Se pueden almacenar las mallas de manera vertical en un banco, siempre que se verifique la capacidad de éste.

- El almacenamiento y descargue se debe realizar con precaución para asegurar que se mantengan las características de la malla (evitar el doblamiento de las puntas y las mallas).
- Para izaje, las mallas siempre deben tomarse simultáneamente de los cuatro amarres ubicados en las esquinas
- Se deben usar siempre por los colaboradores que manipulen el producto los EPPs (elementos de protección personal). Se recomienda como mínimo: Casco, guantes de cuero o carnaza, googles o gafas de seguridad y botas punta de acero.
- Las mallas estándar deben ser manipuladas mínimo por tres personas. Las mallas POP pueden ser manipuladas por una persona.

Aspecto visual del producto

Oxidación

La presencia de Oxi-hidróxido de hierro (FeO-OH) no es motivo de rechazo del material según normas NTC 5806 (7.4.2) y NSR-10 (C.7.4.2). La oxidación superficial es un proceso inherente al material, solamente la corrosión, pérdida de masa, o área de la sección del grafil son motivos de consulta al personal técnico calificado.

Defectos superficiales

Otros defectos superficiales no son motivo de rechazo a menos que se pueda inferir la perdida de las propiedades mecánicas estipuladas por la norma NTC 5806 (ASTM A1064). Para lo cual se debe solicitar el concepto de Asistencia Técnica – Gerdau Diaco.

Uniones sueltas

Es permisible que hasta el 1% del total de las uniones de un panel estén sueltas o desoldadas.

Reporte de conformidad

Se emite un reporte de conformidad de producto por cada lote de producción.

El reporte de conformidad contiene la siguiente información:

- Fecha de emisión
- Norma aplicable

- Unidad de producción
- Referencia (diámetro o número de designación)
- Ensayo de tracción
- Resistencia a la fluencia (valores de referencia según norma)
- Resistencia máxima a la tracción (valores de referencia según norma)
- Ensayo de doblado
- Ensayo de resistencia al corte en la soldadura
- Firma funcionario responsable

3. Usos

Las mallas electrosoldadas se utilizan profusamente en el sector de la construcción para el reforzamiento de pañetes para muros, placas macizas o aligeradas, muros de contención o pantallas de concreto, silos, estructuras hidráulicas, pavimentos, piscinas, pisos, etc.

Pañetes estructurales

En la actualidad el recurso de las mallas electrosoldadas, permite mejorar las condiciones de comportamiento de muros de mampostería macizos a los que se adhiere un mortero de adecuadas especificaciones conjuntamente con mallas electrosoldadas, previamente sujetadas al muro mediante anclajes. La uniformidad del refuerzo tanto en la distribución de los grafiles como su rigidez, permite que mediante los separadores, el muro tenga capacidad para desarrollar ductilidad.

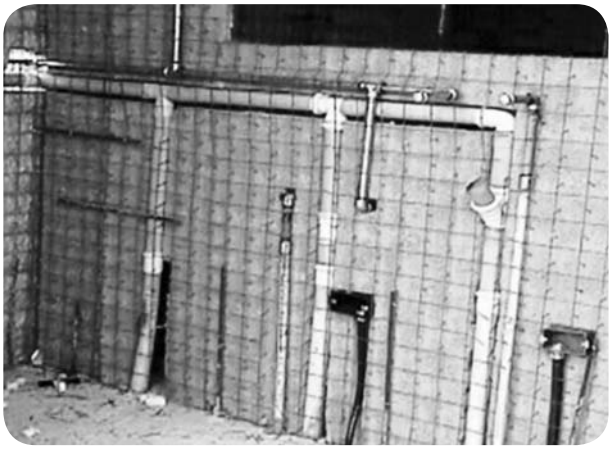


Figura 5.4 Detalle de refuerzo en mampostería estructural.

Placas macizas

El refuerzo de las placas macizas mediante mallas electrosoldadas tiene como garantía de comportamiento la adecuada posición del acero de refuerzo tanto el colocado en la parte inferior como el superior. Para garantizar la posición de la malla, se deben utilizar separadores para el refuerzo inferior y sobre ellos barras dobladas (“burritos”), con los cuales se garantiza la posición del refuerzo. Las mallas deben colocarse de forma que se cubra la totalidad de las vigas sobre las que se soportan

Figura 5.5 – Proceso constructivo de la placa maciza.

Figura 5.6 – Proceso constructivo de la placa maciza de un sótano.

Placas Aligeradas

La denominada torta que forma parte de las placas de entrepiso, son de relativo poco espesor (no menos de 4.5 cm), por lo que son muy sensibles a la ubicación del refuerzo, por lo que el uso de mallas electrosoldadas permiten garantizar el adecuado reforzamiento.. Se deben utilizar separadores que permiten controlar el recubrimiento. Las mallas deben colocarse de forma que se cubra la totalidad de las vigas sobre las que se soportan.

Los traslapos deben realizarse de forma que se garantice en sus cuatro bordes, la transferencia de esfuerzos mediante las longitudes especificadas para cada diámetro de varillas pero no menos de 30 cm.

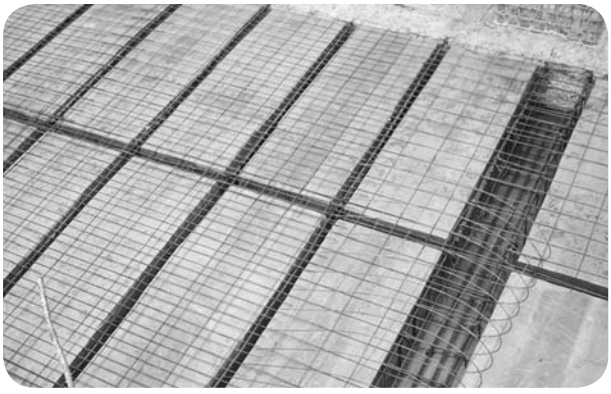


Figura 5.7 – Proceso constructivo de una placa aligerada.

Placas de piso

La mayoría de las veces, sobre el terreno mejorado se vacía una placa entre 8 a 10 cms reforzada mediante mallas electrosoldadas, las cuales deben ubicarse en la parte superior del espesor de la placa, para lo cual, deben instalarse apropiadamente los separadores con los que se garantiza la adecuada posición del refuerzo.

Figura 5.8 – Vaciado de un aplaca contra el piso.

Placas aligeradas de cimentación

En terrenos blandos se utilizan las placas aligeradas de cimentación de espesores mayores a las convenciones placas de entrepiso, utilizando como medio de aligeramiento los denominados casetones de guadua. Para garantizar la adecuada rigidez, es necesario que los costillares de los casetones sean fabricados de la mejor manera y se dispongan a distancias cercanas para con ello conseguir que la geometría de los elementos estructurales tales como vigas y viguetas, correspondan las dimensiones previstas en el proyecto.

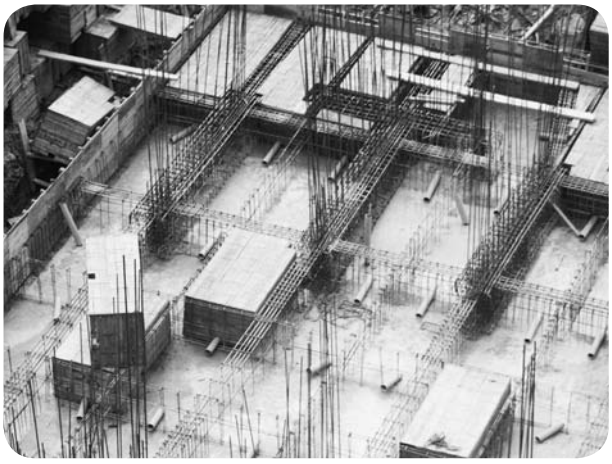


Figura 5.9 – Panorámica de la construcción de una placa de cimentación.

La placa recibe la reacción del suelo mediante la torta inferior que es una losa maciza, usualmente entre 8 y 12 cm, la cual se refuerza mediante mallas electrosoldadas. La parte superior de la placa posee una losa maciza que también se refuerza mediante mallas electrosoldadas.

Figura 5.10 – Proceso de armado del refuerzo en una placa aligerada.

De acuerdo con la separación entre viguetas y el espesor de las tortas, se establece el refuerzo de las mallas. Especial atención y cuidado debe darse a la colocación de ellas puesto que el refuerzo principal de la malla debe colocarse de manera perpendicular a la dirección de las viguetas. De igual forma, las mallas debe colocarse cubriendo las vigas para garantizar con ello el debido anclaje. De igual forma, se debe cumplir con la longitud de traslapo en cada una de las direcciones del refuerzo.

Se recomienda utilizar los separadores, instalados a distancias apropiadas puesto que con ellos se garantiza el recubrimiento del refuerzo.

Muros de contención

Las mallas de contención por su rigidez y uniformidad, son un excelente recurso para el refuerzo de muros, inclusive si por medio de ellas se coloca refuerzo adicional según lo exija el diseño. Se deben aplicar las recomendaciones constructivas para garantizar la posición y recubrimiento del refuerzo.

Figura 5.11 – Anclajes y mallas en la elaboración de una pantalla como parte de la rehabilitación sísmica de un edificio.

Figura 5.12 – Construcción de muros de concreto reforzados mediante mallas electrosoldadas.

Muros de cortante

La industria de la construcción ha permitido desarrollar sistemas que de forma repetitiva permiten la construcción de edificaciones seguras y rígidas mediante muros y placas macizas de concreto. Estas tecnologías solo son posibles mediante el uso de refuerzos de mallas electrosoldadas. Tanto en placas como en los muros y pantallas, se deben seguir de forma exigente las recomendaciones que garanticen la posición y recubrimiento del acero. La dimensión de las mallas es una bondad adicional con lo cual se garantiza los traslapos piso a piso.

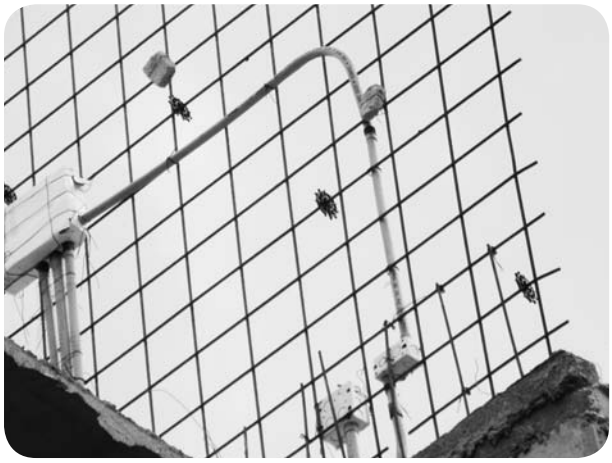


Figura 5.13 – Malla electrosoldada de refuerzo en un muro. Nótese el traslapo, separadores, y las instalaciones antes del vaciado del concreto.

Figura 5.14 – Proceso constructivo de la placa de fondo de un tanque de almacenamiento de agua.

Tanques

Las estructuras hidráulicas requieren de las bondades que ofrecen las mallas electrosoldadas puesto que con ellas se garantiza la mejor disposición del acero de refuerzo, tanto en las placas de fondo como en los muros.

Longitudes de desarrollo y empalmes del refuerzo

Véase Longitudes de Desarrollo y Empalmes para alambres y mallas Capítulo 4 – Detalles del Refuerzo.

Conversión del refuerzo a malla

Con $f_y = 4219$ kgf/cm^2 $= 420$ MPa $= 60$ ksi

Tabla 5.5 Espaciamiento del refuerzo convencional en cm.

	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	cm^2/ m
1/2" @ A .E.M	-	-	-	8,85	7,37	6,32	5,53	4,91	4,42	3,69	3,16	2,76	2,46	cm^2/ m
5/8" @ A .E.M	-	-	-	-	-	9,80	8,57	7,62	6,86	5,71	4,90	4,29	3,81	cm^2/ m
3/4" @ A .E.M	-	-	-	-	-	-	-	-	9,74	8,11	6,96	6,09	5,41	cm^2/ m
7/8" @ A .E.M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,48	8,29	7,37	cm^2/ m

A.E.M: Área de acero equivalente en malla electrosoldada.

GERDAU
DIACO

capítulo 6

Los procesos constructivos

1. Introducción

Enseguida se presentan algunos ejemplos ilustrativos de los procesos constructivos con los cuales se trata de recomendar las mejores prácticas en el proceso de armado del refuerzo previo al vaciado del concreto. Probablemente por su práctica profesional, el lector conoce de otros muchos mejores ejemplos que los aquí relacionados, pero se trata de enfatizar la importancia de los procedimientos de ejecución de obra, en el ánimo de evitar la posterior aparición de patologías que por diseño son frecuentes en más del 30% de los casos.

Figura 6.1 – Proceso constructivo de una edificación.

El dibujo es un lenguaje mediante el cual se establecen las especificaciones técnicas que el diseñador ha establecido para su ejecución en la obra. Como todo lenguaje, existen reglas universales que permiten la lectura a partir del conocimiento e interpretación de los gráficos y esquemas y así reproducir en forma material lo establecido en el diseño. De ahí surge la necesidad como labor fundamental y de gran beneficio para la ejecución de las obras, que previamente al inicio de ellas, se realice una revisión detallada de los planos con los que se ejecutará la obra. Esta labor se denomina coordinación de proyecto. La Norma NSR-10 establece que debe ejecutarse bajo la responsabilidad del arquitecto diseñador del proyecto.

Señala la Norma (A.1.5.2) que los planos arquitectónicos, estructurales y no estructurales que se presenten para la obtención de la licencia de construcción deben ser iguales a los utilizados en la construcción de la obra, y por lo menos una copia debe permanecer en archivo de la Curaduría, departamento administrativo o dependencia distrital o municipal encargada de expedir las licencias de construcción.

Algunas de las actividades previas al proceso constructivo son necesarias para el éxito del mismo y no deben pasarse por alto. Dentro de ellas, se señalan las siguientes:

2. Coordinación de planos

- Se refiere a las labores previas al proceso constructivo relacionadas con la mejor comprensión de los diseños con los que se ejecutará la construcción
- Revisión del proyecto arquitectónico y su concordancia con los proyectos de ingeniería
- Disponer de todos los estudios y planos de los diseños técnicos
- Revisión de los proyectos de ingeniería: estructural, eléctrico, hidráulico, instalaciones de redes, etc
- Revisión detallada del proyecto estructural.

Así surge la necesidad de ejecutar acciones de interlocución con los autores de los proyectos técnicos para aclarar, complementar o corregir aspectos necesarios para la mejor ejecución de las obras.

Figura 6.2 – La planeación de una obra requiere un minucioso análisis que se soporta en el conocimiento y experiencia de quienes las realizan.

3. Planeación y preparación

- Se trata de realizar un adecuado planeamiento de la obra a ejecutar
- Cuantificar los recursos necesarios y disponibles para el área de la obra a realizar y determinar el volumen de materiales a utilizar.

- Establecer los requerimientos de mano de obra
- Seleccionar el equipo requerido
- Establecer el sistema de transporte en la obra
- Prever medios de protección en caso de lluvia
- Prever equipo adicional en caso de fallas.

Figura 6.3 – Pérdida del concreto por fuga en el mezcladero.

4. Normas técnicas y especificaciones de construcción

- Las Normas Técnicas Colombianas NTC, citadas en el Reglamento NSR-10 hacen parte de él y son promulgadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación – ICONTEC, único organismo nacional de normalización reconocido por el gobierno de Colombia
- Toda edificación que se realice en el país, debe realizarse de acuerdo con las Especificaciones de Construcción y Control de Calidad de los Materiales establecidas dentro del Reglamento desde la expedición del Decreto Ley 2400 de 1984 que están basadas en la Norma ACI 301.

5. Características de la industria

La industria de la construcción, posee ciertas características especiales como las siguientes:

- De acuerdo con las particularidades de la obra ejecutar, se debe establecer la estructura organizativa y técnica mediante empresas individuales, consorcios y uniones temporales

- Se requiere de personal técnico con adecuada formación académica y suficiente experiencia
- Cada obra es diferente por las características técnicas del proyecto, el volumen de obra, los materiales a emplear, el lugar de construcción, el área a intervenir y el presupuesto asignado
- Existen largas cadenas de subcontratación para el desarrollo del proceso constructivo desde los estudios preliminares, ejecución de los diseños, las actividades preliminares, la excavación, cimentación y en general la estructura, las instalaciones, mampostería y acabados
- Generación de una cantidad considerable de empleos temporales
- Es el sector de más alta rotación de trabajadores generando con ello inestabilidad laboral, por el proceso mismo de duración de las actividades
- Se ejecutan las labores a la intemperie
- Se pueden presentar jornadas laborales extensas
- A pesar de la mano de obra especializada, en general se trata de personas con un bajo nivel de escolaridad. Se requiere de la mejor mano de obra derivada de las destrezas que las personas hayan desarrollado.

6. Seguridad Industrial

La Ley 52 de 1993 aprobó el "Convenio No. 167 y la Recomendación No. 175 sobre Seguridad y Salud en la Construcción"; adoptados por la 75a. Reunión de la conferencia General de la OIT, Ginebra 1988.

- **En Colombia de acuerdo a estadísticas del antiguo ISS los procesos de mayor accidentalidad son:**

  Cimentación y Estructura 48.6%

  Excavación 16.2%

  Acabados 12.4%

  Colocación de muros y techos 10.9%

- **Los riesgos presentes de mayor relevancia son:**

  Trabajo en alturas 30.3%

  Caída de materiales 15.8%

  Estado e instalación de equipos de trabajo 9.6%

Manejo de herramientas y equipos 5.8%

Falta de señalización y orden 5.6%

Fallas en el desarrollo de la obra 4.9%

Factores Psicosociales 1.5%

No usar o no disponer de elementos de protección 1.3%

7. Previsiones

Para la ejecución correcta de la construcción de una estructura de concreto reforzado, se deben tomar en cuenta una serie de factores con los cuales se garantiza la calidad de la ejecución lo cual tendrá como resultado la mejor calidad de la estructura. Para tal propósito se debe tener en cuenta, entre otras las siguientes previsiones:

- Se debe previamente cuantificar (cubicar) aproximadamente el volumen de concreto
- Se debe disponer del lugar donde se recibirá o preparará el concreto
- Se debe verificar el nivel de asentamiento del concreto. Se deben tomar las muestras representativas para verificar su calidad
- A partir de los rendimientos esperados, se debe realizar un programa de vaciado
- Se requiere establecer la metodología del vaciado y las rutas de transporte del concreto
- Todo equipo de mezclado y transporte del concreto debe estar limpio
- El acero de refuerzo debe encontrarse amarrado y limpio al nivel de brillo comercial y corresponder en diámetro, longitud y disposición, tal como se muestre en los planos estructurales
- Deben retirarse todos los escombros del lugar que ocupará el concreto
- Se debe humedecer adecuadamente las formaletas antes del vaciado garantizando que no existan encharcamientos
- Las formaletas deben estar recubiertas con un desmoldante apropiado
- La mampostería que se encuentre en contacto con el mortero a vaciar, debe humedecerse previamente
- Se debe preparar la superficie de concreto cuando sobre ella se vaya a vaciar un concreto de segunda etapa.

Figura 6.4 – La dirección de obra debe realizar todos los esfuerzos de coordinación, planeación y dirección de las múltiples tares que se realizan en la obra.

Figura 6.5 – Se deben seguir estrictamente los procedimientos con los cuales se realizan las pruebas para sobre sus resultados establecer el fundamento de las decisiones.

8. Calidad del concreto

- Establecer las especificaciones de la calidad del concreto a utilizar
- Definir el uso de aditivos plastificantes o superplastificantes
- Determinar la correcta dosificación de la mezcla
- Establecer el uso de inclusores de aire
- Uso apropiado de adiciones.

9. Formaleta

- Diseñar la disposición de puntales y camilla, pensando siempre en el proceso de desmolde de la formaleta y su retiro
- Verificar la buena calidad: debe ser resistente, rígida, estable y hermética
- Utilizar puntales, vigas y crucetas en calidad y cantidad apropiada
- Verificar la estabilidad y rigidez
- Controlar permanente los niveles y la verticalidad de los parales
- Establecer el dimensionamiento adecuado de los elementos a vaciar
- Utilizar agente desmoldante apropiado
- Utilizar las contraflechas recomendadas.

Figura 6.6 – Existen en el mercado recursos técnicos de calidad que sustituyen prácticas constructivas de gran impacto sobre el medio ambiente.

10. Acero de refuerzo

- Verificar que el acero suministrado sean tipo W y/o cumpla con la norma de calidad aplicable
- Utilizar la cuantía de acero establecida en el proyecto estructural
- Disponer de una zona debidamente preparada y demarcada para almacenar y clasificar el acero de refuerzo de acuerdo al despiece
- Verificar que las figuras estén de acuerdo al despiece y sean concordantes con los planos estructurales que contienen el diseño.

- Revisar la condición del acero a utilizar:
- Si es acero previamente embebido en concreto, caso de pelos por proceso constructivo, se debe revisar que no haya condición de corrosión
- Es aceptable la oxidación superficial en el acero, se ha demostrado que mejora la adherencia con el concreto
- Utilizar separadores que garanticen la posición y recubrimientos del acero
- Verificar que el alambre de amarre del refuerzo no se encuentre dentro del recubrimiento
- Se debe utilizar alambre suficiente de manera que se garantice que la disposición del refuerzo se mantenga durante el vaciado del concreto
- Se debe amarrar de forma que el nudo del alambre quede por dentro de la masa del elemento estructural.

11. Transporte

- El concreto debe trasladarse al lugar final de colocación empleando método que eviten la segregación o la pérdida del material
- El equipo de transporte debe ser capaz de proporcionar un abastecimiento del concreto en el sitio de colocación sin segregación de los componentes y sin interrupciones que pudieran causar pérdidas de plasticidad entre capas sucesivas de colocación.

Figura 6.7 – Se debe insistir sobre el mejor trato que debe darse en la obra al acero de refuerzo.

Figura 6.8 – El descimbrado debe ser una actividad realizada bajo exigente inspección técnica para establecer los procedimientos de aceptación y reparación.

12. Vaciado sobre el terreno

- Cuando se trate de suelos donde se conoce la condición de agresividad, por su alto contenido de sulfatos, se debe aislar el concreto del suelo mediante la colocación de una geomembrana de espesor adecuado, sin juntas o apropiadamente traslapadas
- Puede ser necesario, además, la colocación de drenajes para evitar los ciclos de humedecimiento y secado, dado que en el caso de los sulfatos éstos solo atacan cuando se encuentran en disolución y no cuando están secos formando materiales sólidos.

Figura 6.9 – Vaciado de una placa de contrapiso sobre el terreno mejorado.

13. Colocación

- El concreto debe recibirse en el lugar más cercano de donde se hará el vaciado para evitar la segregación debida a su manipulación o desplazamiento
- La colocación debe efectuarse a una velocidad tal que el concreto conserve su estado plástico en cada momento y fluya fácilmente dentro de los espacios entre el refuerzo
- No debe colocarse en la estructura concreto que haya endurecido parcialmente, o que se haya contaminado con otros materiales
- No debe utilizarse concreto al que después de preparado se le adicione agua, ni que haya sido mezclado después del fraguado inicial
- Se deben utilizar los vibradores apropiados
- Colocar el concreto mediante capas horizontales
- Evitar mover el concreto horizontalmente.

14. Vibrado

El objeto de vibrar el concreto es causar una agitación entre las partículas de la mezcla para que eliminada la fricción entre ellas las partes se ordenen y acomoden en todo el espacio de las formaletas y alrededor del acero de refuerzo y el aire existente suba a la superficie. Por causa de la vibración puede existir algo de segregación si la mezcla contiene más mortero del necesario para llenar los vacíos entre las partículas del agregado grueso puesto que éste tiende a asentarse y el mortero tiende a subir. Pero si el concreto se ha diseñado apropiadamente y el vibrado no es excesivo, se obtiene un concreto homogéneo.

Figura 6.10 – El proceso de colocación requiere de múltiples labores para garantizar la compacidad del concreto.

Existen diversos tipos de vibradores para las distintas condiciones que se presentan en las obras. Se considera que la frecuencia de 10.000 rpm es óptima para el vibrado por ser este el valor próximo a la frecuencia natural del concreto, pero existen vibradores de frecuencias mayores hasta de 20.000 rpm.

No se debe poner en contacto con las formaletas de madera puesto que este material absorbe las fuerzas vibratorias.

Desafortunadamente es usual que el vibrador utilizado en las obras sea el que dispone el contratista y no el requerido técnicamente, por lo que debe verificarse la frecuencia mediante el uso de un tacómetro puesto en contacto con el vibrador y éste sumergido dentro de la masa del concreto.

Figura 6.11 - Tacómetro para identificar las r.p.m del vibrador.

El vibrador debe introducirse verticalmente dentro de la mezcla con espaciamiento regular y sistemático de aproximadamente 45 cm de manera que el volumen vibrado se traslape con el que se acaba de vibrar. Si no se introduce totalmente el vibrador dentro de la masa de concreto, se pierde fuerza y discontinuidad en la densidad de la masa puesto que habría más movimiento en la parte superior. Dependiendo de la fluidez de la mezcla, se debe estacionar el vibrador entre 5 y 10 segundos hasta que sobre la parte superior se cubra con una capa de mortero y que no se aprecien las burbujas de aire saliendo de la superficie. Luego debe retirarse lentamente el vibrador para permitir que el concreto ocupe su espacio.

Se debe permitir introducir aproximadamente 5 a 8 cm en la capa inferior del concreto ya vaciado para asegurar la integración de la masa de concreto.

Es mala práctica tratar de obtener mucha compactación con los vibradores de superficie porque la vibración prolongada en placas tiende a causar segregación y a crear una capa de mortero pobre.

15. Acabado

- Antes de alisar la superficie ésta debe estar seca. Demorar esta actividad lo máximo posible
- No rociar cemento solo o combinado con arena para secar el agua
- No dar muchas pasadas con la llana a la superficie.

16. Curado

Bien se sabe de la relación entre las condiciones de curado y la resistencia del concreto pero desde el punto de vista de la durabilidad, la calidad del curado es determinante del buen desempeño. Un buen curado permite aumentar considerablemente la resistencia a la abrasión, lo mismo que se disminuye el riesgo de la fisuración o la retracción por secado, la absorción se reduce ostensiblemente y en general se mejoran los factores que harán durable al concreto.

El curado del concreto tiene como propósito producir las condiciones apropiadas de humedad y temperatura para facilitar las reacciones dentro de la masa del concreto.

La forma más elemental de curado consiste en mantener humedad sobre la superficie del concreto. No se deben causarse ciclos de humedecimiento y secado.

Se puede cubrir la superficie con mantas húmedas siempre y cuando éstas se mantengan permanentemente mojadas. Alternativamente puede cubrirse con una capa de arena húmeda.

Otra forma consiste en utilizar cubiertas de polietileno cuya acción aceleran el curado mejorando la condición inicial de resistencia del concreto.

17. Desencofrado

- Retiro cuidadoso de la formaleta lateral
- Retiro paulatino de la estructura de soporte: En elementos continuos del centro hacia los apoyos, en voladizos, del extremo hacia el apoyo
- Retiro de la formaleta en general con el cuidado de no causar golpes en la estructura de concreto
- Permitir apoyos no puntuales en algunos elementos de acuerdo con lo establecido en las recomendaciones del diseñador.

18. Protección

- Cuidar la superficie de concreto para que sobre ella no se realicen labores que la dañen
- Evitar que el agua de curado forme ciclos de humedecimiento y secado
- Impedir la colocación de sobrecargas
- Eliminar los riegos por la presencia de humedades
- Pendientes apropiadas si la estructura estará expuesta a la lluvia.

19. Características de las formaletas

Cuando se desea diseñar una formaleta para sobre ella vaciar el concreto, se deben considerar los algunos factores que no se presentan de manera independiente entre los que se destacan:

Estabilidad

La formaleta debe ser un sistema estructural isostático, es decir un conjunto de piezas ensambladas que deben poseer la estabilidad suficiente para soportar no solo las cargas verticales derivadas del proceso constructivo del vaciado del concreto si no también las eventuales fuerzas horizontales por ocurrencia de sismos durante el proceso constructivo. Por tal razón debe estar arriostrada y amarrada.

Durante el vaciado, los operarios y el manejo de los equipos producen acciones estáticas y dinámicas que deben tomarse en cuenta para evitar el movimiento de la formaleta y su incidencia dañina sobre el concreto en estado plástico y peor aún, cuando se encuentra endurecido.

El mayor cuidado que debe darse a la formaleta está relacionado con la capacidad de soporte de los elementos verticales (parales, tacos, etc) sin que se presente el fenómeno del pandeo. Bien se sabe que existe una carga crítica que puede producir la inestabilidad del elemento cuyo valor depende de las condiciones de apoyo de los extremos, de la longitud e inercia de la sección del elemento.

La selección de los puntales, su longitud y apoyo deben garantizar la imposibilidad de que se presente fallas por inestabilidad. Los fabricantes y quienes suministran las formaletas a la obra, deben suministrar las especificaciones de sus productos para que se tomen en cuenta sus recomendaciones al momento de diseñar la estructura de soporte de la formaleta.

Debe eliminarse cualquier movimiento de la formaleta especialmente durante el tiempo en que el concreto permanece en estado plástico de forma

que se asegura la completa estabilidad del sistema, considerando además los efectos dinámicos que se suceden durante el vaciado.

Resistencia

Se trata de que la formaleta en sus unidades o en conjunto, posean la capacidad suficiente para soportar el concreto en estado plástico además de los otros recursos de materiales o mano de obra.

Cada elemento del conjunto que conforma la estructura de la formaleta debe poseer la capacidad resistente que permita garantizar la estabilidad y buen comportamiento por lo cual el peso propio del concreto y las cargas adicionales permanentes o transitorias deben ser la base de su diseño.

Los elementos horizontales bajo el peso del concreto son sometidos a flexión y cortante que debe evaluarse para seleccionar la dimensión de la formaleta según su capacidad resistente. De igual forma sucede con los elementos verticales o puntales, para los cuales es necesario determinar su capacidad de carga en función de su dimensión, espesor de la lámina y la longitud del tubo.

Rigidez

Es necesario que la formaleta sea rígida, es decir, mantenga sus condiciones de estabilidad y resistencia sin que se produzcan deformaciones por causa de las cargas o de la acción hidrostática que produce el concreto en su estado plástico sobre las superficies verticales donde se encuentra contenido. No debe olvidarse la importancia de mantener la geometría de los elementos estructurales que se forman cuando en concreto se coloca y vibra sobre los moldes que conforman la formaleta.

La acción de las fuerzas de empuje no deben causar distorsiones, pérdida de alineamientos o inestabilidad que posteriormente representan evidencias de mala calidad constructiva.

Uniformidad

Con el uso continuo, la formaleta se desgasta y pierde las características en su forma, continuidad y textura que se verán reflejadas en la uniformidad de las superficies y en las formas del concreto.

Apariencia

Cada día cobra más importancia la calidad del acabado de la superficie final de los elementos estructurales de concreto, por lo que se exige que la formaleta ofrezca garantías para conseguir tal condición.

La deflexión máxima de materiales de fachada reflejadas en superficies de concreto expuestas a la vista debe ser 1/240 de la luz libre entre miembros estructurales en concretos a la vista, se deben dejar los bordes biselados.

Estanqueidad - hermeticidad

Se debe garantizar que la formaleta sea hermética para impedir que el concreto se escurra y genere hormigueros al interior de la masa del elemento en consideración. Debe ser hermética y estar ajustada para impedir que el mortero se escape. Según la calidad de la formaleta así será la calidad de la estructura de concreto.

Multiusos

La calidad de la formaleta debe permitir el mayor número de usos conservando sus condiciones originales. Para este propósito, el constructor usuario debe establecer en la obra las pautas para el manejo, uso, protección, remoción, almacenaje y cuidados que debe darse a cada elemento del conjunto, a sabiendas que el mayor beneficiario es el propio constructor. La buena calidad de los materiales se encuentra directamente relacionado con la vida útil de la formaleta.

Desmoldable

La facilidad pasa desencofrar la formaleta es una virtud del sistema no solo por el adecuado uso de materiales desmoldantes como de la propia configuración geométrica. El proceso de armado tiene que considerar como aporte importante la forma del desencofrado.

Manoportable

La disponibilidad de la mano de obra debe considerarse como parte del diseño de la utilización de los distintos tipos de formaletas. La facilidad de que sea manejable por los obreros favorece los rendimientos. Cuando se trata de procesos industrializados, entra en consideración la versatilidad del sistema y su movilidad mediante torre-grúa.

Textura

Según el diseño arquitectónico pueden existir factores que determinen ciertos tipos de texturas, acabados sobre la superficie o colores, especialmente relacionados con los denominados concretos a la vista, de mucha exigencia en cuanto la calidad de la manos de obra.

Debe comprenderse que por la versatilidad del concreto, son infinitas las alternativas que pueden darse en cuanto al uso de determinado tipo de

formaleta y en cada caso, podrá ser de mayor consideración una cualquiera de las exigencias antes mencionadas.

Sistema básico de formaletería

Existe un sin número de posibilidades útiles para la mejor confección y calidad de formaletas, de acuerdo con el proyecto y sus características. Enseguida se presenta el sistema básico y de mayor uso en nuestro medio.

Camilla

Las camillas se utilizan dispuestas horizontalmente para colocar el concreto sobre ellas como es el caso de placas aéreas de entrepiso. También se usan como formaletas de borde y reciben el nombre de testeros. En esos casos se requiere el complemento de trozos de madera que apuntalen la camilla para garantizar su estabilidad y rigidez. Normalmente la dimensión de los tableros es de 0.70 por 1.40 m. Estas medidas tienen como ventaja que causan una área de 1.00 m2. Su peso promedio es de 25 kg y pueden soportar cargas hasta 750 kg/m2.

Normalmente está compuesta por tres repisas (teleras) de 4 x 8 cm sobre los que se colocan listones de 2 x 8 cm. De esta manera la altura es de 0.10. A las camillas usualmente se les colocan por debajo trozos de listones para configurar topes como recurso de seguridad cuando inicialmente se organizan las camillas sobre las cerchas.

Figura 6.12 - Arrume de camillas de madera después de su uso.

Las formaletas deben revisarse en el mismo proceso de su montaje para permitir su corrección sin que ello cause retrasos. De acuerdo con el uso, los tableros pueden mostrar deterioros que en alguno caso pueden tolerarse y en otros, es obligado su descarte.

En general las camillas, con el uso se van contrayendo y dejan entre uno y otro listón, espacio que luego, constituye el lugar por donde se escapa la pasta, razón por lo cual si se utilizan, deben corregirse para garantizar que no haya pérdida de los finos del concreto. De igual manera, su instalación obliga la mejor unión entre una y otra para evitar este mismo problema. Así surgen las denominadas "formaletas de segunda" que de ninguna manera pueden utilizarse para vaciar sobre ellas, estructuras de concreto.

Recuérdese que la formaleta debe ser estanca, es decir, no debe permitir el paso de los finos del concreto (arena, cemento, agua) puesto que en la estructura queda acumulado solo el material grueso (grava).

Figura 6.13 – El uso repetido de las formaletas, va contrayendo los trozos de madera, dejando espacio entre ellos lo que facilita el paso de los finos de la mezcla de concreto con el consiguiente efecto sobre la superficie acabada.

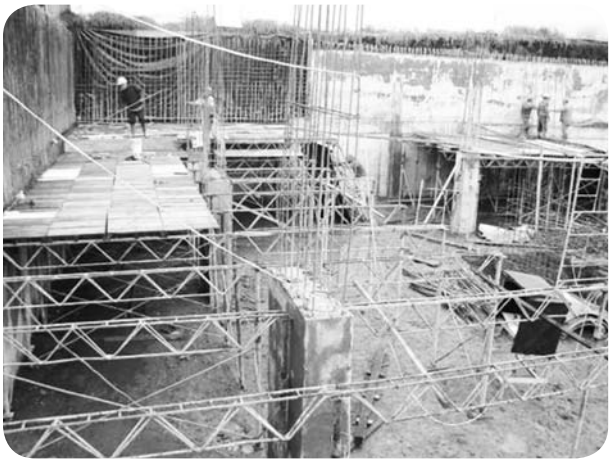


Figura 6.14 – Proceso de tendido de camillas para el posterior vaciado de la placa de un sótano.

Cerchas o vigas en celosía

Las cerchas o vigas metálicas normalmente son de 3.00 m de longitud, un peso de 32 kg pudiendo soportar cargas hasta 850 a 1000 kg/m. En ellas se apoyan las camillas.

Debe revisarse su condición: si al soltarse verticalmente sobre el piso para dar un pequeño golpe en uno de los extremos, se siente vibración, significa que existe rotura en la soldadura de algún nudo de la cercha y debe investigarse y soldarse.

Parales o puntales

Los puntales son tubos metálicos de 2″ de diámetro que reciben las vigas metálicas mediante el empalme de un pequeño pin que se introduce dentro del tubo como medio de ensamble.

Figura 6.15 – Ilustración del montaje de un módulo de parales y crucetas.

Los puntales, puntales o tacos son telescópicos y están conformados por el tramo inferior y el superior denominado flauta por poseer agujeros con los cuales puede adaptarse a diferentes dimensiones. Existe gran variedad de tamaños para distintos uso. Los tacos cortos permiten alturas entre 2.00 y 3.50 m y los largos entre 2.20 y 4.00 m. Para pequeñas alturas también se ofrecen en el mercado los llamados tacos enanos entre 1.00 a 1.80 m. Existen también lo superlargos pero su uso representan alto grado de inestabilidad para longitudes entre 2.50 m y 4.30 m.

Mediante un ajustador usualmente llamado botella es posible ajustar al nivel deseado. Existe el dispositivo corriente que permite a los parales hasta de 3.00 m soportar cargas hasta de 2 toneladas y con soporte especial se puede soportar hasta 3250 kg.

Cuando la altura de los entrepisos es superior a la longitud de los parales, no debe empatarse uno con otro por la inestabilidad que eso conlleva. En

esos casos se requiere el diseño de dos niveles de parales debidamente separados por un nivel de piso de formaleta. En todos los casos se requieren reforzar los arriostramientos laterales para garantizar su estabilidad.

Se debe revisar la calidad, separación, cantidad y localización de los puntales. En cualquier caso los puntales deben apoyarse sobre planchones de madera con lo cual se logra distribuir la carga en mayor área y evitar asentamientos perjudiciales. Esta recomendación también es válida para los puntales colocados sobre placas de concreto aligeradas en donde los planchones deben soportarse en por lo menos dos viguetas. Los puntales soportarán las vigas metálicas con lo cual se evita que los puntales induzcan las cargas concentradas sobre la estructura.

Los parales deben tener completamente inmovilizados sus extremos para evitar eventuales desplazamientos que origen inestabilidad al sistema.

Existen otros sistemas de parales consistentes en tubos de 2" de diámetro de longitudes de 2.00 a 6.00 m que se conectan mediante abrazaderas. Se utilizan para configurar una cuadrícula espacial con buenas características de estabilidad y resistencia por lo que usualmente se denominan andamios de carga.

De acuerdo con el cuidado que se tenga en la manipulación de los parales, será su vida útil, razón por la cual se recomienda no utilizarlos para dar golpes con ellos o hacer las veces de palanca, no lanzarlos o tirarlos desde un piso superior, no darles golpes a momento de desencofrar la placa, ni tampoco apoyarlos sobre ladrillos o bloques.

Cruceta o diagonal

Complementario a lo anterior, cada módulo se acompaña de dos crucetas una larga (3.00 m) y otra corta (1.40 m) con lo cual se logra controlar la estabilidad y resistencia a fuerzas horizontales. Estas crucetas son de obligatoria utilidad en las obras para garantizar la estabilidad y resistencia sísmica de la estructura en su proceso constructivo.

Figura 6.16 – Disposición de las crucetas largas y cortas para estabilidad de la formaleta en general.

Los recubrimientos del concreto

Desde el punto de vista de resistencia, el diseño estructural no toma en cuenta el concreto que se encuentra por fuera del eje neutro en la zona de tracción pues al considerarlo sometido a esfuerzos de tracción, se ignora su participación en desarrollo de resistencia mecánica. Probablemente esa es la razón para que usualmente los diseñadores estructurales no destaquen la importancia de la dimensión del concreto que recubre el acero. Pero desde el punto de vista de la durabilidad, hoy se sabe de la importancia que reviste la calidad y dimensión del recubrimiento.

El concreto reforzado se fabrica al vaciar el concreto en las formaletas donde previamente se ha colocado y amarrado el refuerzo. La mezcla se compacta y densifica mediante el uso de vibradores con lo cual se eliminan las cavernas u hormigueros. Uno de los mecanismos más importantes que se crea en este proceso, es la formación de una película que envuelve al refuerzo y recibe el nombre de capa pasivadora con la cual se va a garantizar que el refuerzo permanezca en un medio de naturaleza alcalina para impedir su oxidación.

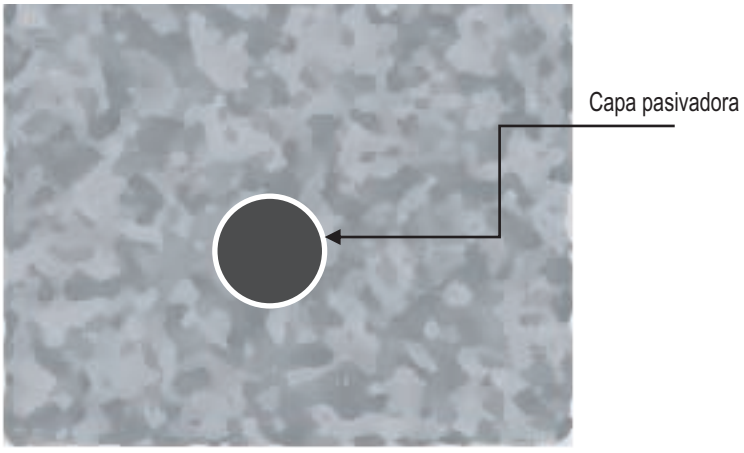


Figura 6.1– Varilla de acero en la masa alcalina de concreto.

Por otra parte, pueden existir acciones ambientales de diversa naturaleza que lleguen a producir una modificación de estado alcalino de concreto creando un medio apropiado para la formación del electrolito y el flujo de iones para romper la pasivación y dejar que el refuerzo quede ahora en un ambiente propicio para generar su oxidación en una acción irreversible que comprometerá la estabilidad y la resistencia estructural.

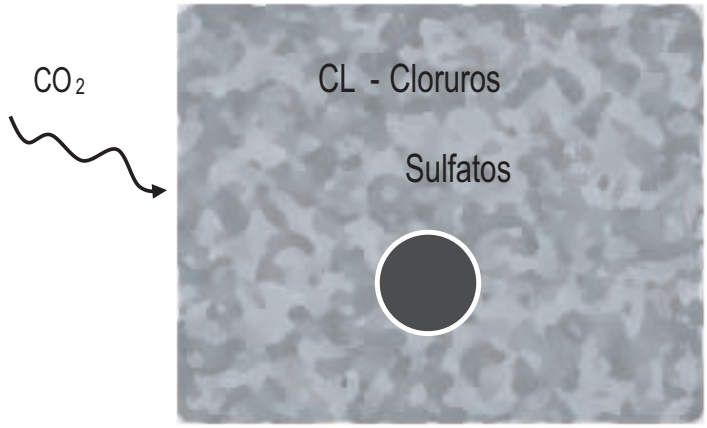


Figura 6.2 – Ilustración de los agentes que deterioran al concreto.

Figura 6.17 – Medida del frente de avance de la carbonatación mediante el uso de la fenolftaleína.

La carbonatación es otro de los factores de deterioro del concreto puesto que este fenómeno se presenta cuando por diversas causas como por ejemplo por la presencia de sulfatos o del CO_2 en acción con los componentes del concreto se forma el Carbonato Cálcico que se "sale" de concreto por lixiviación lo cual se manifiesta por manchas blancas (calcio) sobre la superficie del concreto. De paso diremos que en este proceso se disminuye el pH del concreto y se crean las condiciones para producir el ya comentado proceso de la oxidación.

Para proteger el refuerzo contra la eventual agresión del medio ambiente se requiere que el concreto tenga los recubrimientos apropiados de

acuerdo con las condiciones de exposición. Bien se sabe que este recubrimiento resulta involucrado dentro del proceso del diseño y debe cumplirse en la obra.

El recubrimiento es variable, dependiendo de diversos factores: tipo de elemento, verticalidad, horizontalidad, climas o micro climas del lugar, condiciones de exposición, acabados, etc. Para el caso de los cimientos es muy importante conocer el pH de suelo ante los nuevos conocimientos que hoy se tienen sobre su efecto en las estructuras de concreto.

En ambientes corrosivos u otras condiciones severas de exposición la protección del concreto debe aumentarse convenientemente para lo cual debe tenerse en cuenta la impermeabilización del concreto; de lo contrario debe proporcionarse otro tipo de protección.

En los elementos de concreto abuzardado o abujardado cuya superficie exterior se pica (mediante bujarda) por razones estéticas, los recubrimientos deben aumentarse por lo menos en 1 cm en aquellas caras que se pican.

Figura 6.18– Deterioro de un poste y la consiguiente corrosión del acero de refuerzo. La causa principal de este deterioro se debe a la falta de control del recubrimiento dentro del proceso de fabricación de los postes.

Requerimientos de norma

La Norma Sismo-Resistente Colombiana NSR-10 (Ley 400 Agosto 19 de 1997 y Decreto 926 del 19 de Marzo de 2010) para el caso del concreto vaciado en el sitio, establece los siguientes requerimientos mínimos:

C.7.7 – Recubrimiento del refuerzo

C.7.7.1 – Concreto Construido En Sitio (No Preesforzado) – Las barras del refuerzo deben tener los recubrimientos mínimos dados a continuación.

En ambientes agresivos deben utilizarse recubrimientos mayores que los mencionados, los cuales dependen de las condiciones de exposición.

Recubrimiento Mínimo de Concreto

(a) Concreto colocado directamente sobre el suelo y en contacto permanente con la tierra……75 mm

(b) Concreto expuesto a la intemperie o en contacto con suelo de relleno:

Barras Nº 6(3/4) y 18M (18 mm) a Nº 18 (2-1/4″) y 55M (55 mm)……..50 mm

Barras Nº 5(5/8″) y 15M (16 mm) y menores……..40 mm

(c) Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo:

Losas, muros y viguetas

Barra No. 14 (1-3/4″) ó 45 M (45 mm) y No 18 (2-1/4″) ´0 55 M (55mm).....40 mm

Barras No. 11 (1-3/8″) ó 36 M (36 mm) y menores.....20 mm

Vigas y columnas

Armadura principal, estribos, espirales.....……40 mm

Dada la importancia que tienen los recubrimientos sobre la durabilidad de las estructuras, se requiere el uso de soportes, espaciadores o distanciadores, de forma que se garanticen no solo el espesor del recubrimiento sino la posición del refuerzo. Se comprende que no es buena práctica colocar como soportes, piedras o pedazos de ladrillo y menos de madera. Tampoco soportes fabricados con mortero puesto que deben ser de por lo menos la misma resistencia del concreto del elemento. En el mercado ya existe la producción industrial de soportes para el refuerzo de distintas dimensiones de acuerdo con los requerimientos del diseño y de la obra pero también es fácil su fabricación en la obra como se ilustra enseguida:

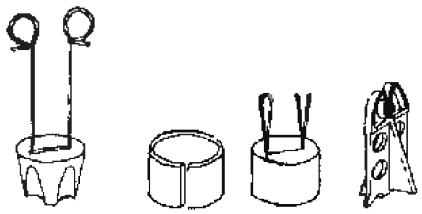


Figura 6.3 - Diversos tipos de soportes o distanciadores.

El llamado concreto de limpieza o solado resulta fundamental para el proceso constructivo de la cimentación puesto que con él se puede garantizar mejores condiciones de obra, especialmente en lo que tiene que ver con la limpieza del refuerzo y calidad del suelo de soporte sobre todo en terrenos con niveles freáticos altos.

Figura 6.19 – A veces, por falta de conocimientos sobre la importancia del control de recubrimiento, se utilizan "panelas", elaboradas con morteros y de forma inapropiada. Es necesario elaborarlas adecuadamente, de las mismas calidades del concreto a vaciar.

Pases de tuberías en vigas y placas

Figura 6.20 – Equivocada técnica de colocación de tuberías dentro de los elementos estructurales.

Los ductos horizontales hacen relación con los pases que deben permitirse en vigas, placas y viguetas, siempre y cuando se localicen apropiadamente dentro de la longitud de elemento. Para tal efecto, deben comprenderse algunos aspectos de la mecánica estructural. Los diagramas de momento

flector y fuerza cortante de una viga, señalan el estado de tensión que experimenta internamente el elemento estructural sometido a las cargas muertas, vivas y a las fuerzas sísmicas que se resumen en el diagrama siguiente:

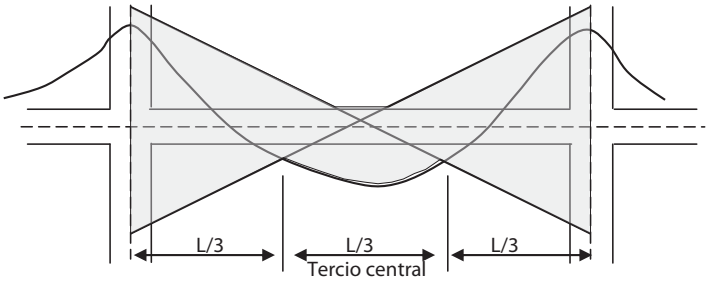


Figura 6.4 – Diagrama de la envolvente de momentos flectores de una viga.

De acuerdo con el gráfico anterior, es en el tercio central donde el elemento experimenta los menores esfuerzos, por lo que es en esta zona donde conviene hacer los pases de las tuberías con los menores efectos sobre el elemento estructural. En esta sector, la zona a tracción corresponde al sector del eje neutro hacia abajo, es decir, corresponde al sector de la sección recta de la viga que se considera fisurado por lo que el paso de un tubo, no afecta la sección resistente de la viga.

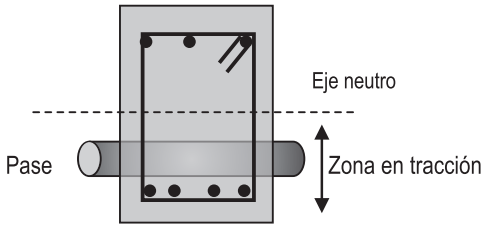


Figura 6.5 – Sección de momento positivo en el tercio central
donde el pase de tuberías tiene menores efectos sobre la estructura.

Figura 6. 21– El pase de tuberías por los elementos estructurales solo es posible si se toman ciertas medidas puesto que en caso contrario, se generan daños que pueden colocar a la estructura en riesgo.

Las exigencias de las normas

La Norma NSR-10 establece algunas exigencias respecto a la las tuberías embebidas, en los siguientes términos:

C.6.3 – Conductos y tuberías embebidas en el concreto

C.6.3.1 – Se permite, previa aprobación del profesional facultado para diseñar, embeber cualquier material que no sea perjudicial para el concreto y que este dentro de las limitaciones de 6.3, siempre y cuando se considere que ellos no reemplazan estructuralmente al concreto desplazado, excepto en lo previsto en 6.3.6.

C.6.3.2 – Todo tipo de embebido de aluminio en el concreto estructural debe ser protegido en su superficie o recubierto para evitar la reacción concreto aluminio, o la acción electrolítica entre el aluminio y el acero.

C.6.3.3 – Los conductos, tuberías e insertos que atraviesan una losa, muro o viga, no deben afectar adversamente la resistencia de la estructura.

C.6.3.4 – Los ductos y tuberías, junto con sus conexiones, embebidos dentro de una columna, no pueden desplazar más del 4% del área de la sección transversal sobre la cual se haya calculado la resistencia, o de la requerida para la protección contra el fuego.

C.6.3.5 – Excepto cuando los planos de conducto y tuberías son aprobados por el Ingeniero Diseñador, los conductos y tuberías embebida dentro de una losa, muro o viga (fuera de los que simplemente los atraviesan), deben satisfacer C.6.3.5.1 a C.6.3.5.3.

C.6.3.5.1 – Su dimensión externa no puede ser mayor de 1/3 del espesor total de la losa, muro o viga dentro de los cuales estén embebidos.

C.6.3.5.2 – Su separación, medida centro a centro, no puede ser menor de 3 diámetros o anchos medidos centro a centro.

C.6.3.5.3 - No deben afectar adversamente la resistencia de la estructura.

C.6.3.6 – Puede considerarse que los conductos, tuberías y camisas reemplazan estructuralmente al concreto desplazado sometido a compresión si cumplen con C.6.3.6.1 a C.6.3.6.3.

C.6.3.6.1 – No están expuestos a la corrosión o a otra causa de deterioro.

C.6.3.6.2 – Sean de acero o hierro sin revestimiento o galvanizados, de espesor no menor que el tubo de acero calibre estándar número 40.

C.6.3.6.3 – Tienen un diámetro interno nominal no mayor de 50 mm, y están separados a no menos de 3 diámetros medidos centro a centro.

C.6.3.7 – Las tuberías y sus conexiones deben diseñarse para resistir los efectos del fluido, la presión y la temperatura a las cuales van a estar sometidos.

C.6.3.8 – Ningún líquido gas o vapor, excepto el agua cuya temperatura y presión no excedan de 32° C ni 0.35 MPa, respectivamente, deben colocarse en las tuberías hasta que el concreto haya alcanzado su resistencia de diseño.

C.6.3.9 – En losas macizas, las tuberías deben colocarse entre el refuerzo superior y el inferior, a menos que se requieran para irradiar calor o fundir nieve.

C.6.3.10 – El recubrimiento del concreto para las tuberías y acoples, no deben ser menor de 40 mm para concreto en contacto con el suelo o a la intemperie, ni menor de 20 mm para concreto que no vaya a estar expuesto a la intemperie o en contacto con el suelo.

C.6.3.11 – Debe colocarse refuerzo con un área no menor a 0.002 veces el área de la sección del concreto en sentido perpendicular a la tubería.

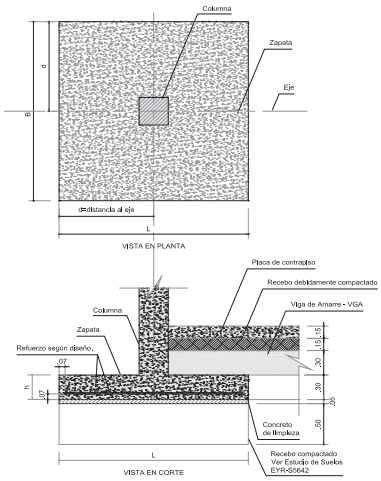
C.6.3.12 – Las tuberías deben fabricarse e instalarse de tal manera que no se requiera cortar, doblar o desplazar el refuerzo de su localización correcta.

Guías de los procesos constructivos

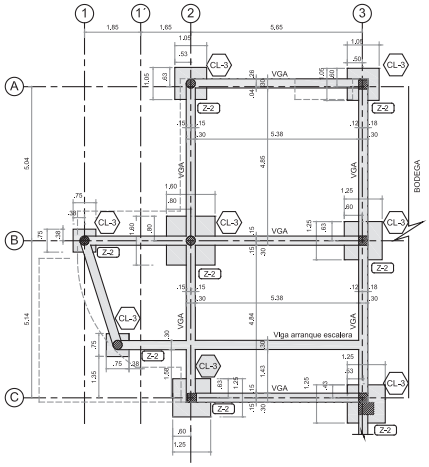
Cimentaciones: zapata aislada

Esquema estructural

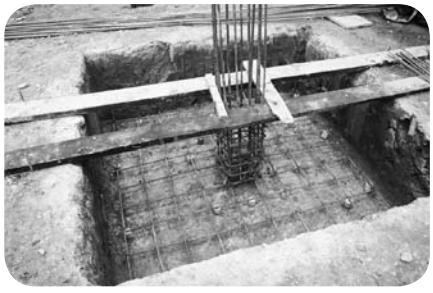
CUADRO DE REFUERZO ZAPATAS					
Tipo	Cant.	L (m)	B (m)	h (m)	Refuerzo en cada dirección
Z-1	1	1,60	1,60	.30	6 Ø 5/8" @ .30 L = 1,45 m
Z-2	3	1,25	1,25	.30	5 Ø 5/8" @ .25 L = 1,05 m
Z-3	2	1,05	1,05	.30	4 Ø 5/8" @ .30 L = 0,90 m
Z-4	2	0,75	0,75	.30	3 Ø 5/8" @ .30 L = 0,50 m



Plano de cimentación



Ejemplo constructivo



Observaciones

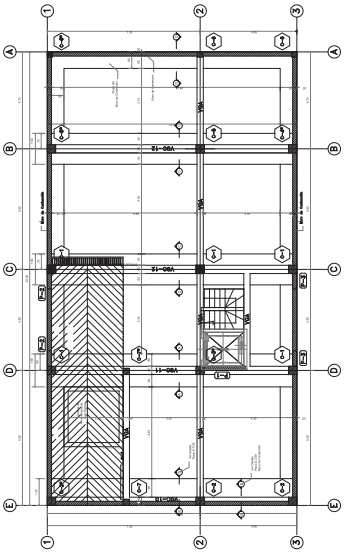
- Realizada la excavación en el menor tiempo posible, se debe colocar el concreto de limpieza o solado. Evitar la exposición prolongada al ambiente y el remoldeo del suelo.
- Las varillas de refuerzo deben estar limpias, libres de lodo, aceite o grasa al momento del vaciado del concreto
- El refuerzo debe colocarse y amarrarse garantizando el recubrimiento de 7.5 cm mediante separadores.
- Usualmente el terreno es la formaleta.
- Antes del vaciado del concreto de la zapata, deben estar colocados apropiadamente los refuerzos de la columna y de la viga de amarre, si ésta se encuentra en ese nivel. Los ganchos del refuerzo de las columnas deben colocarse hacia el interior de la columna.
- La profundidad de la excavación está determinada en el estudio de suelos.

Descripción

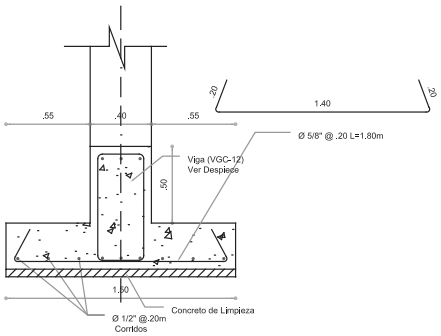
Las zapatas son los elementos estructurales mediante los cuales se transfieren las cargas provenientes de la edificación hasta el suelo considerado competente para resistirlas. Se denominan aisladas por aparentar independencia al recibir, la mayoría de las veces, una sola columna, pero se amarran entre sí mediante las denominadas vigas de amarre. No dejar trozos de madera dentro de la zapata.

Cimentaciones: zapata corrida

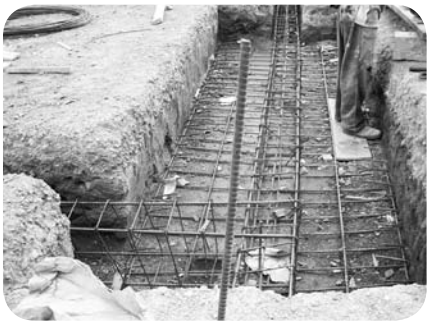
Esquema estructural



Ejemplo de armado



Ejemplo constructivo



Observaciones

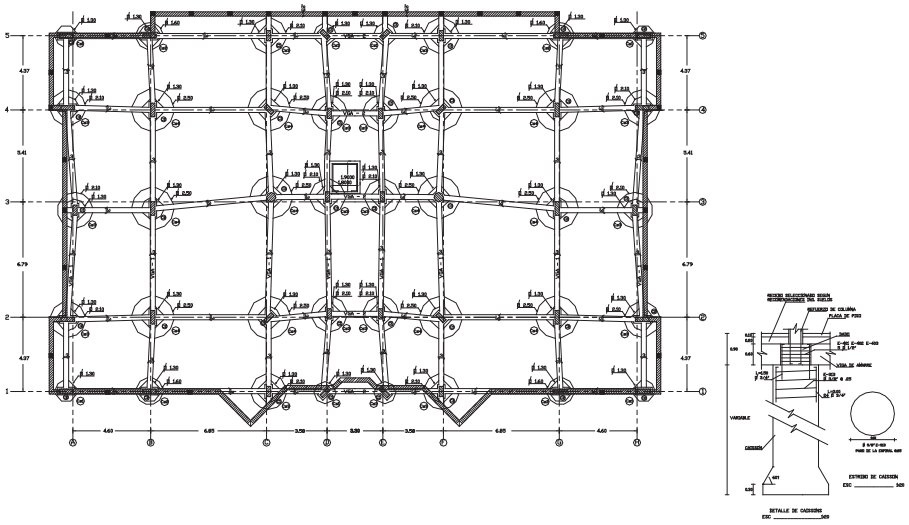
- Realizada la excavación en el menor tiempo posible se debe colocar el concreto de limpieza o solado. Se debe evitar la exposición prolongada al ambiente y el remoldeo del suelo
- Las varillas de refuerzo deben encontrarse completamente limpias al momento del vaciado del concreto
- El refuerzo debe colocarse y amarrarse garantizando el recubrimiento de 7.5 cm mediante separadores
- El terreno usualmente es la formaleta
- Antes del vaciado del concreto de la zapata, deben estar colocados apropiadamente los refuerzos de las columnas o del muro y de las vigas de amarre, si éstas se encuentran en ese nivel

Descripción

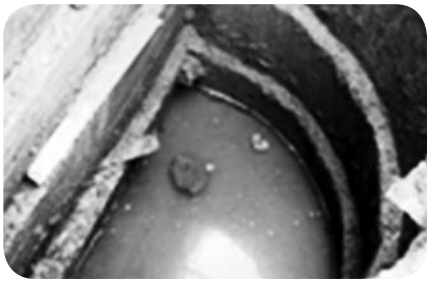
La zapata corrida transfiere al suelo la carga proveniente de un muro o un conjunto de columnas alineadas. Su zarpa puede ser simétricas cuando el muro o columnas se encuentran en el centro del cimiento o asimétricas en caso contrario. A cambio de dejar trozos de madera para posterior soporte de la formaleta del muro o columna, es buena práctica dejar anclados trozos de varillas o taches que luego se retiran.

Cimentaciones: caissons

Esquema estructural



Ejemplo constructivo



Observaciones

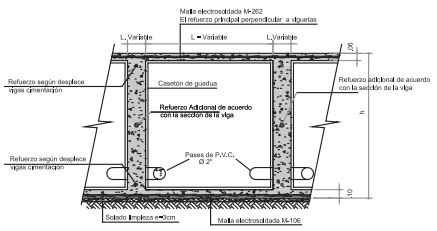
- La mayoría de las veces, la excavación se realiza manualmente. El diámetro del fuste debe ser el necesario para permitir la excavación por parte de los obreros.
- Puede requerirse la conformación de una base ampliada en su extremo, denominada pata de elefante.
- Se coloca un refuerzo para hacer la transición con la columna. Se utiliza un pequeño dado o macizo para ese propósito.
- El refuerzo debe colocarse garantizando el recubrimiento mediante separadores.
- Para ejecutar la excavación en terrenos blandos superficialmente, puede requerirse la construcción previa de anillos de concreto por tramos de 1.00 m, los cuales se construyen a medida que avanza la excavación.

Descripción

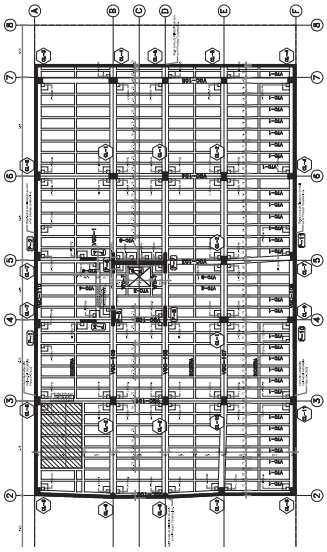
Los caissons son elementos que transfieren la carga hasta estratos profundos competentes para soportarlas. Son elementos macizos con gran capacidad para transmitir cargas. Si el terreno es estable, la excavación se realiza sin anillos, los cuales son necesarios para seguridad de los operarios y la mayoría de las veces se construyen por tramos de 1.00 m. Luego se arma y se vacía el concreto.

Cimentaciones: placa de cimentación aligerada

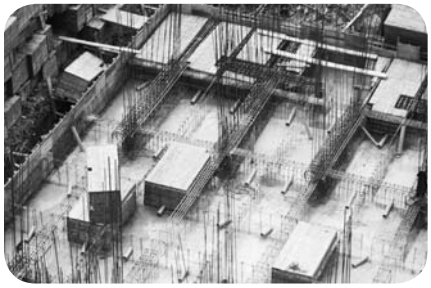
Esquema estructural



Ejemplo de armado



Ejemplo constructivo



Observaciones

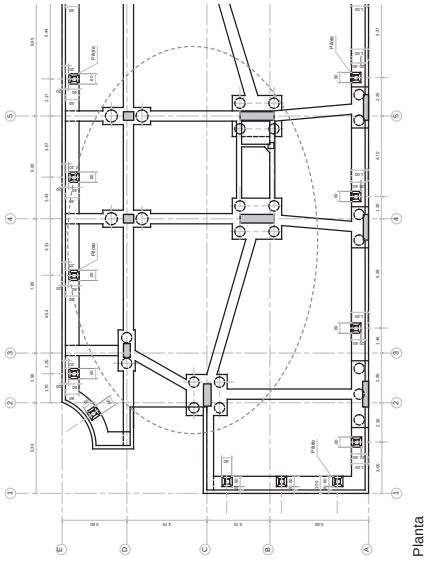
- Realizada la excavación, en el menor tiempo posible se debe colocar el concreto de limpieza o solado. Se debe evitar el remoldeo del suelo, acelerando los rendimientos del proceso constructivo. Se recomienda que los aligeramientos y demás insumos, se encuentren en obra listos para su uso.
- Las varillas o mallas de refuerzo deben encontrarse completamente limpias libres de lodo, aceite o grasa al momento del vaciado del concreto
- El refuerzo debe colocarse garantizando el recubrimiento inferior de 7.5 cm mediante separadores.
- Si está prevista la interconexión entre aligerantes, se debe garantizar su correcta intercomunicación hasta el pozo eyector. Su omisión puede convertirse en un aspecto grave para el comportamiento futuro del edificio.
- Antes del vaciado del concreto, deben estar colocados los refuerzos de las columnas.

Descripción

Las placas de cimentación se utilizan cuando las zapatas cubren más del 50% del área del terreno. Se diseñan aligeradas de gran espesor según las cargas que a ella se transmiten. Los aligeramientos deben ser de suficiente capacidad para que no se deformen por efecto de la acción del concreto en su estado plástico. Se debe garantizar la geometría de cada elemento estructural.

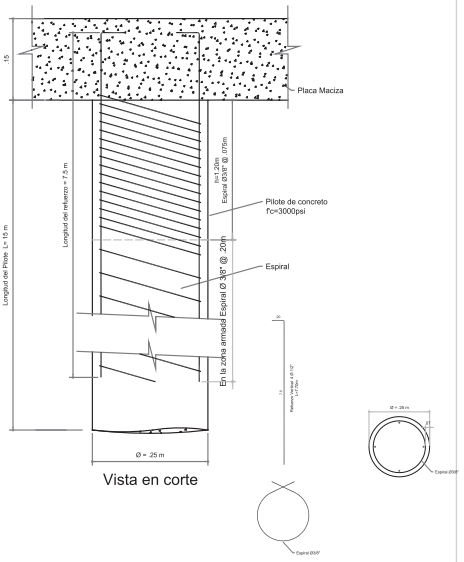
Cimentaciones: pilotes preexcavados

Esquema estructural



Planta
Localización de pilotes

Ejemplo de armado



Ejemplo constructivo

Observaciones

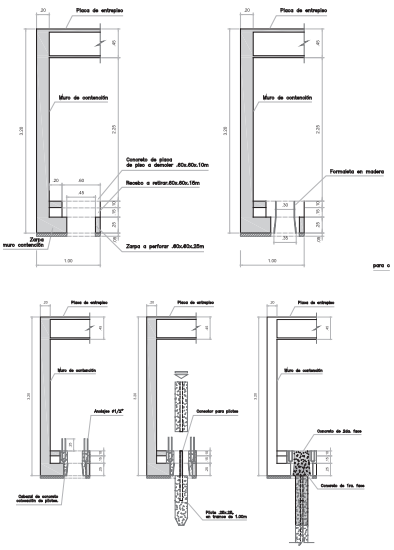
- De acuerdo con el diseño, se deben localizar en el terreno los centros de los pilotes con equipo topográfico de precisión.
- El armado del refuerzo debe realizarse según su diseño, tanto el longitudinal como el transversal.
- Se debe garantizar los recubrimientos mediante distanciadores debidamente sujetados al refuerzo.
- Es necesario que al momento de la colocación,el refuerzo no contenga barro o contaminantes.
- Se requiere controlar la posición final del refuerzo para su posterior empalme con los dados
- El vaciado del concreto se realiza mediante un embudo que lleva el concreto hasta el fondo y de abajo hacia arriba se hace el llenado.
- El concreto que se utiliza es de alto contenido de finos y fluido comúnmente denominado “tremie”

Descripción

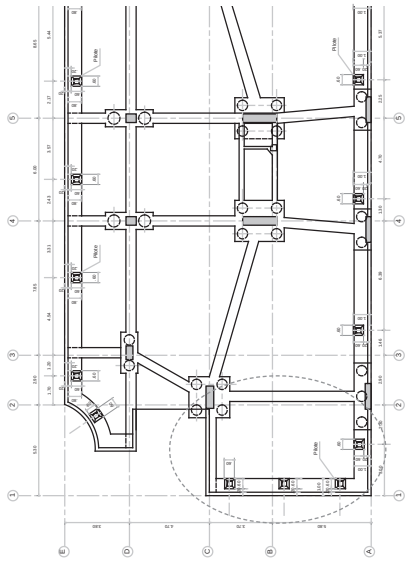
Los pilotes son elementos estructurales de gran esbeltez que deben llevar las cargas, mediante la fuerza de fricción con el terreno o por su punta, a profundidades donde el terreno sea competente para soportarlas. De acuerdo con la magnitud de las cargas, puede requerirse la construcción de varios de ellos para soportar las cargas que le transmite una columna. Su construcción se hace a partir de la excavación realizada por una perforadora telescópica de diferente diámetro. Con el fin de controlar el empuje del terreno en la excavación, se utiliza el llenado con agua y polímeros que reemplazan los antiguos lodos bentoníticos, ya en desuso por razones ambientales.

Cimentaciones: pilotes Megapress©

Esquema estructural



Ejemplo de armado



Planta
Localización de pilotes

Ejemplo constructivo

Observaciones

- Los pilotes se prefabrican por tramos de 1.00 m y pueden alcanzar longitudes hasta de 40.00 m,secciones 0.25 x 0.25 m ó 0.30 x 0.30 m. y resistencia de 28 MPa.
- Poseen refuerzo longitudinal y transversal según el diseño
- En el lugar donde se coloca cada pilote, se requiere previamente la construcción de un macizo de concreto con un vacío troncopiramidal por donde se desplaza el pilote al momento de su hincado.
- Este proceso se realiza mediante un gato dispuesto en un trípode que se sujeta al piso mediante barras ancladas al macizo.
- La conectividad entre pilotes se consigue mediante un alma de lámina de acero y concreto.
- Terminado el hincado, se llena el vacío tronco piramidal con concreto.

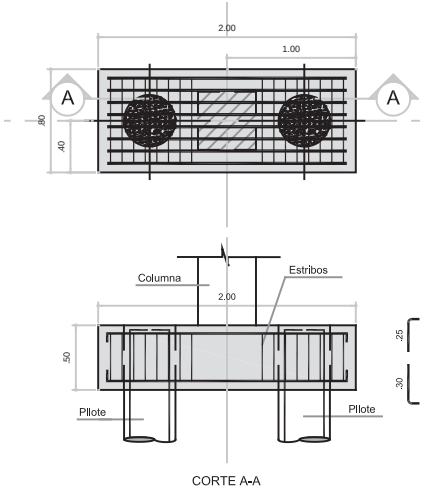
Descripción

Los pilotes Megapress © son un excelente recurso para cimentar nuevas edificaciones o recimentar aquellas que por diversa naturaleza requieren rehabilitar la cimentación existente. Se diseñan como complemento a la cimentación existente.

Cimentaciones: dados

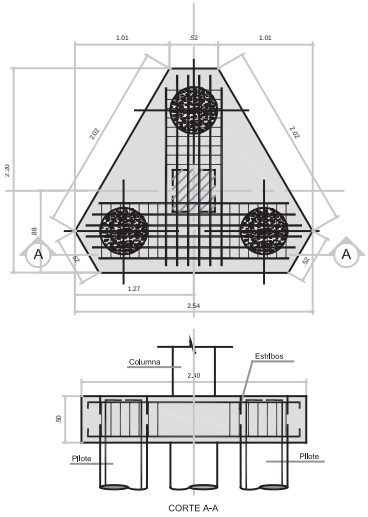
Ejemplo 1

Esquema estructural



Ejemplo 2

Esquema estructural



Ejemplo constructivo

Observaciones

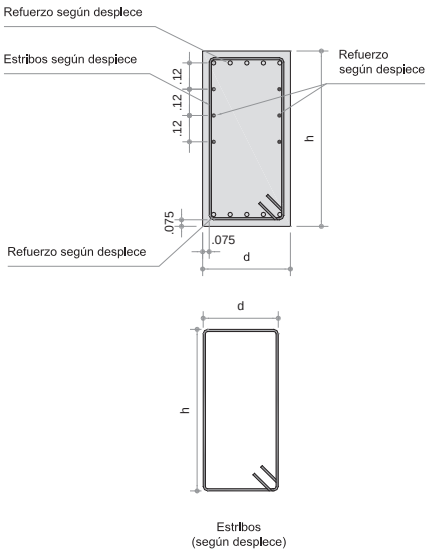
- Previamente deben descabezarse los pilotes y limpiarse adecuadamente el refuerzo con cepillo de acero.
- El refuerzo del dado debe colocarse garantizando el recubrimiento de 7.5 cm mediante separadores.
- Si es posible, el terreno puede ser la formaleta o deben utilizarse testeros para la adecuada configuración de la geometría del dado.
- Por ser elementos con alta densidad de refuerzo, debe verificarse la separación entre varillas para permitir el vaciado del concreto y su vibrado.
- Antes del vaciado del concreto deben estar colocados los refuerzos de la columna y de la viga de amarre, si ésta se encuentra en ese nivel.
- La limpieza previa al vaciado debe ser intensa.
- Para posterior sujeción de la formaleta de las columnas, se pueden dejar taches en lugar de trozos de madera.

Descripción

Los dados son elementos de gran rigidez, que tienen como objeto, distribuir la carga que se transmite por las columnas, a los pilotes sobre los cuales se soportan. Su mejor configuración es aquella que por su forma de polígono regular, facilite la distribución y transmisión uniforme a cada uno de los pilotes.

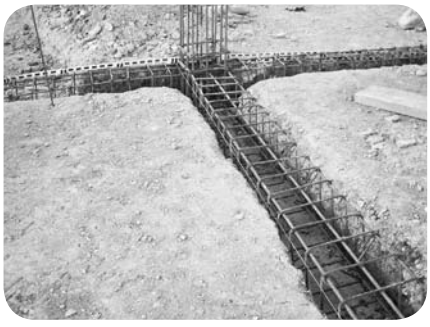
Cimentaciones: viga de amarre

Esquema estructural



Ejemplo de armado

Ejemplo constructivo



Observaciones

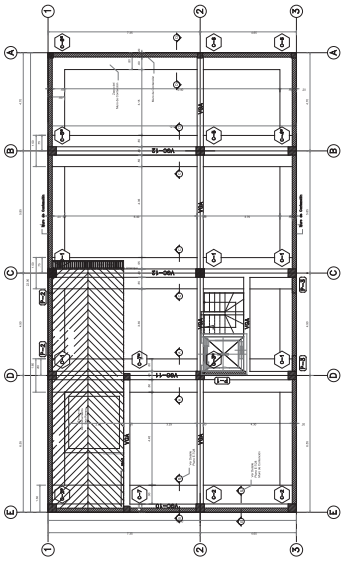
- La viga de amarre puede ir dentro de la zapata o sobre ella. En algunos casos deben hacerse aéreas para controlar la acción del terreno sobre ella. Para ese propósito pueden vaciarse sobre material suelto, arena o láminas de icopor.
- Las varillas de refuerzo deben encontrarse completamente limpias libres de lodo, aceite o grasa al momento del vaciado del concreto
- El refuerzo debe colocarse garantizando el recubrimiento en todo su perímetro de 7.5 cm mediante separadores.
- Si es posible, el terreno puede ser la formaleta o deben utilizarse testeros.
- El refuerzo longitudinal debe ser continuo y los estribos deben ser cerrados espaciados a no más de la mitad de la menor dimensión de la sección o 30 cm.

Descripción

Las vigas de amarre son elementos que deben poseer capacidad para soportar fuerzas de tracción o compresión según la fracción de la carga vertical que transmiten las columnas. Deben poseer rigidez suficiente para los efectos de diferencias de carga vertical de los elementos que unen y la eventual ocurrencia de asentamientos totales o diferenciales.

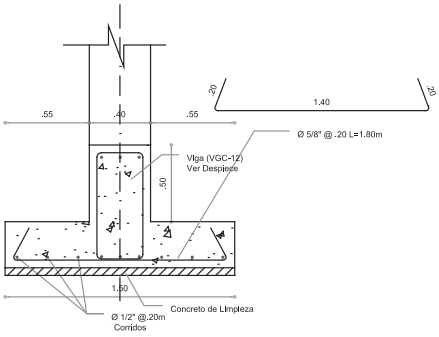
Cimentaciones: vigas de cimentación

Esquema estructural



Ejemplo de armado

Ejemplo constructivo



Observaciones

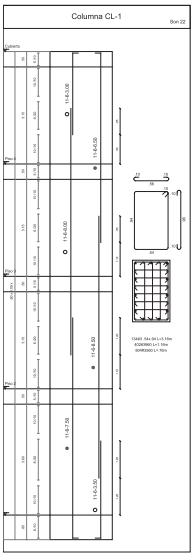
- Una vez realizada la excavación, en el menor tiempo posible se debe colocar el concreto de limpieza o solado. Se debe evitar el remoldeo del suelo.
- Las varillas de refuerzo deben encontrarse completamente limpias al momento del vaciado del concreto.
- El refuerzo debe colocarse garantizando el recubrimiento de 7.5 cm mediante separadores.
- Antes del vaciado del concreto deben estar colocados los refuerzos de la columna y de la viga de amarre, si ésta se encuentra en ese nivel.

Descripción

Las vigas de cimentación se utilizan para transmitir las cargas al terreno. Usualmente se construyen como vigas de sección T invertidas.

Columnas

Esquema estructural



Ejemplo de armado

Ejemplo constructivo

Observaciones

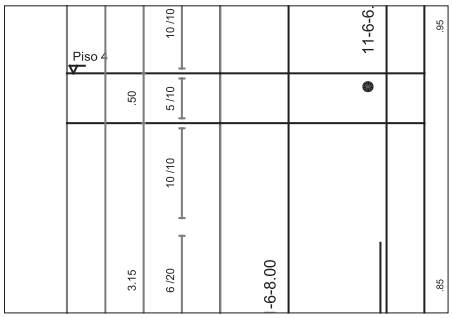
- A cada piso se deben llevar los plomos con los cuales se localizan los ejes de referencia de las columnas. Esta labor debe ser rigurosa para garantizar la mejor formación de los nudos.
- El refuerzo vertical debe estar en su lugar, piso a piso.
- El refuerzo transversal debe distribuirse según lo establecen los planos estructurales para configurar las zonas de confinamiento.
- Las varillas de refuerzo deben encontrarse completamente limpias al momento del vaciado del concreto
- El refuerzo debe colocarse garantizando el recubrimiento mediante separadores.
- Se recomienda que el amarre mediante alambre se realice desde el interior de la columna.
- El vibrado debe complementarse con golpes de martillo de caucho para eliminar el riesgo de hormigueros.
- Para garantizar la posición del refuerzo, al momento del vaciado se deben colocar tres flejes por encima de la columna.

Descripción

Las columnas son elementos de la mayor importancia en la estructura por lo que su proceso constructivo debe ser exigente, cumpliendo con lo establecido en el proyecto estructural.

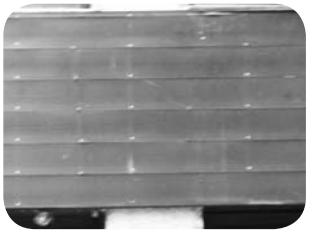
Columnas: nudos

Esquema estructural



Ejemplo de armado

Ejemplo constructivo



Observaciones

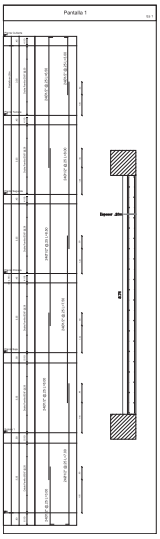
- Las varillas de refuerzo de las columnas deben estar perfectamente ubicadas en la posición prevista en el diseño.
- Antes de armar el refuerzo de las vigas que concurren al nudo, es necesario primero colocar los flejes que pertenecen a la columna.
- No es permitido mover, ni doblar, las barras que ya se encuentran embebidas en el concreto.
- Las columnas deben tener continuidad piso a piso.
- La distribución del refuerzo, sus traslapos y los flejes, deben estar de acuerdo con lo previsto en el diseño.
- El amarre del refuerzo debe hacerse desde dentro de la columna para evitar que hayan nudos o extremos de él dentro del recubrimiento.
- La formaleta debe ser hermética.
- En el vaciado del concreto debe asegurarse que no se causa disgregación.
- Se debe vibrar y golpear con chapulín para eliminar el riesgo de hormigueros.
- Como lo prescribe la Norma, si se presentan hormigueros, se deben reparar y nunca demoler la columna.

Descripción

Los nudos son elementos muy importantes en el comportamiento estructural, puesto que bajo la acción sísmica son los encargados de girar y desplazarse para liberar la energía impuesta por el movimiento. En el proceso de diseño se toma en cuenta la ductilidad que ellos desarrollan, por lo que es obligado que el proceso constructivo sea exigente.

Columnas pantallas

Esquema estructural



Ejemplo de armado

Ejemplo constructivo

Observaciones

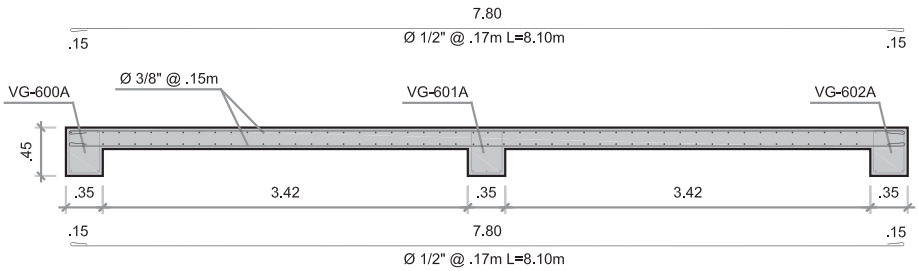
- Existen diversos sistemas constructivos desde el convencional hasta industrializado.
- No deben construirse por fuera de las dimensiones mínimas establecidas por las normas.
- El refuerzo consiste en mallas electrosoldadas que por su naturaleza, facilitan el proceso constructivo.
- Se debe utilizar un adecuado desmoldante, dispuesto en una sola capa para evitar que las burbujas de aire se adhieran en ella.
- La formaleta debe estar limpia, antes del vaciado del concreto
- Pueden colocarse algunas de las instalaciones, tomando en cuenta no generar lugares débiles.
- El vaciado se debe realizar con garantía de calidad, tomando en consideración el poco espesor de su sección.
- Se debe controlar la posición del refuerzo mediante separadores.

Descripción

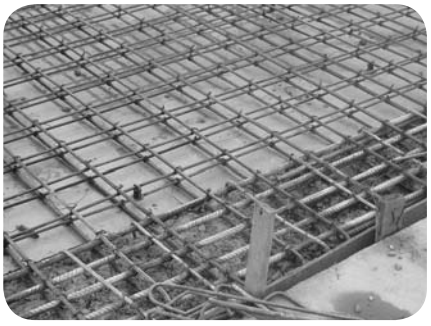
Los muros pantalla son el mejor recurso por su eficiencia, para controlar los desplazamientos generados por las fuerzas sísmicas. Se utilizan como sistema único o como complemento al sistema aporticado. Según la condición de esfuerzos, pueden contener una o doble malla de refuerzo. Pueden diseñarse como columna.

Placas de entrepiso: macizas

Esquema estructural



Ejemplo constructivo



Observaciones

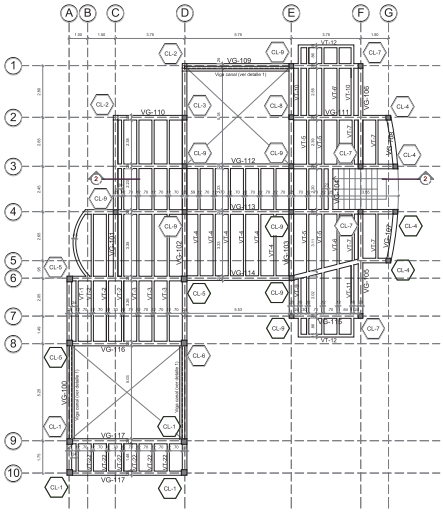
- La formaleta debe ser rígida, hermética, resistente, estable.
- Se debe utilizar un adecuado desmoldante, dispuesto en una sola capa para evitar que las burbujas de aire se adhieran en ella.
- Debe estar limpia, antes del vaciado del concreto
- Las varillas de refuerzo de las vigas y placa, deben encontrarse completamente limpias libres, aceite o grasa al momento del vaciado del concreto
- Se deben garantizar mediante separadores, la posición del refuerzo.
- El vaciado de la placa debe ser continuo sin causar juntas horizontales entre las vigas y la placa.
- El vibrado debe ser el adecuado
- Se debe prevenir la formación de fisuras de contracción plástica y asentamiento plástico. Se recomienda controlar la acción del viento mediante barreras.
- El curado debe ser inmediato y constante durante por lo menos 7 días.

Descripción

El espesor de la placa maciza depende de las condiciones de apoyo y de su separación. Desde el punto de vista de consumo de materiales no son eficientes. Se apoyan sobre vigas por lo que el proceso constructivo requiere de formaleta para elaborar las vigas descolgadas, lo cual puede encarecer su construcción.

Placas de entrepiso: aligeradas

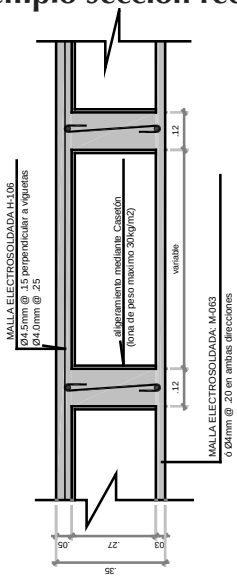
Esquema estructural



Placa de entrepiso

Ejemplo de armado

Ejemplo sección recta



Observaciones

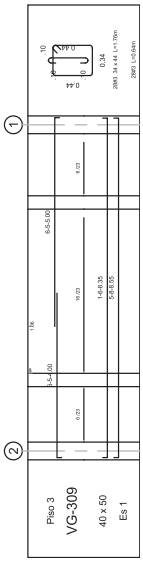
- La formaleta debe ser resistente, rígida y segura
- Se debe garantizar la hermeticidad de la formaleta para no permitir que por ella se escapen los finos del concreto.
- El armado del refuerzo debe corresponder al previsto en el diseño.
- Debe verificarse la adecuada disposición de la malla de refuerzo de la torta inferior y superior, se deben usar separadores.
- Si se colocan tuberías, deben diseñarse los lugares donde se realizarán los pases.
- El vaciado debe ser continuo, sin formar juntas horizontales.
- Mediante barreras se logra controlar el viento, que es el mayor causante de la formación de fisura de retracción plástica.

Descripción.

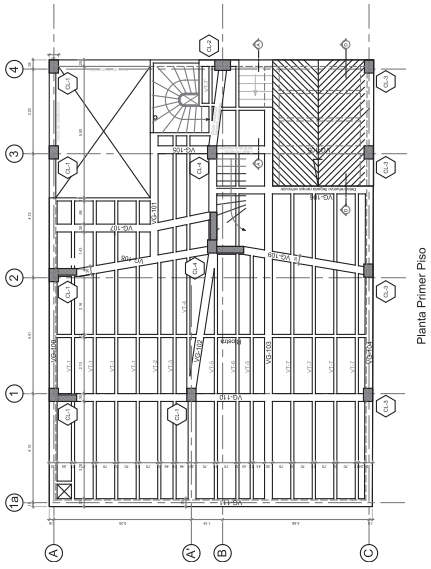
Las placas aligeradas usualmente son de espesor uniforme puesto que dentro de ellas se incluyen las vigas. Existen varias alternativas de aligeramientos pero debe garantizarse con cualquiera de ellos la hermeticidad, resistencia y rigidez para la mejor consecución de las formas geométricas de los elementos estructurales. No se recomienda aligerar con mampostería o bloques

Placas de entrepiso: vigas

Esquema estructural



Ejemplo de armado



Ejemplo constructivo

Observaciones

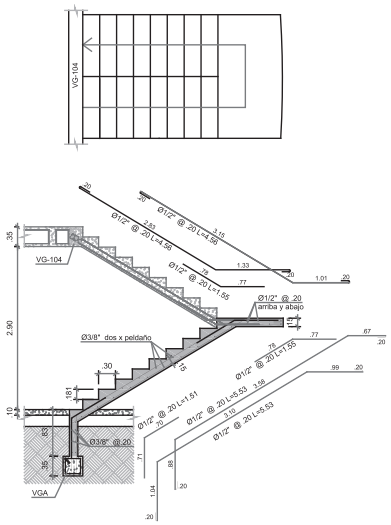
- Se deben garantizar la adecuada disposición del acero de refuerzo tal como se encuentre previsto en los planos estructurales.
- La formaleta debe ser hermética, resistente, rígida y segura
- Si se colocan tuberías, deben diseñarse los lugares donde se realizarán los pases.
- El vaciado debe ser continuo, sin formar juntas horizontales.

Descripción

Las vigas de los entrepisos, usualmente se encuentran dentro de la placa y son las encargadas de soportar las viguetas del entrepiso. Previamente a su armado, es necesario asegurar que se hayan colocado los estribos de las columnas que conforman los nudos. De igual forma. Se deben colocar en los extremos de las vigas, los flejes o estribos que conforman las zonas de confinamiento de los nudos.

Escaleras de placa

Esquema estructural



Refuerzo escalera

Ejemplo de armado

Ejemplo constructivo

Observaciones

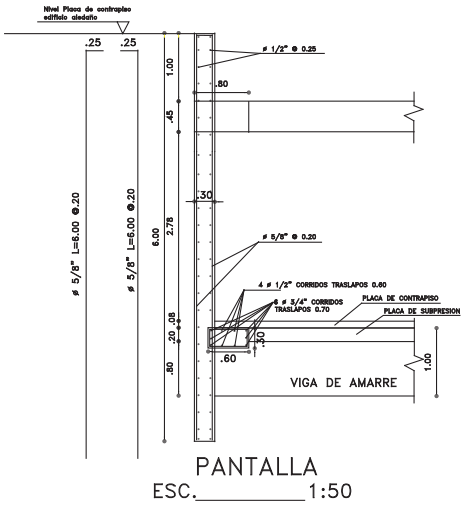
- Las dimensiones de ancho, huella y contrahuella deben satisfacer los requisitos del Capítulo K - NSR-10
- La formaleta debe configurar apropiadamente la geometría de todo el conjunto.
- Los peldaños deben poseer refuerzo para controlar los esfuerzos de retracción y temperatura.
- El vaciado debe realizarse de abajo hacia arriba.
- Se debe garantizar la adecuada posición del acero de refuerzo y su recubrimiento mediante soportes o distanciadores.

Descripción

Las escaleras básicamente son vigas inclinadas por lo tanto, dadas sus condiciones de apoyo, requieren refuerzo tanto superior como inferior para soportar los esfuerzos derivados de los momentos de flexión negativos como positivos respectivamente. Las escaleras, en caso de un sismo, son el recurso para la evacuación del edificio, por tanto, su proceso constructivo debe ser exigente.

Muros pantalla en sótanos

Esquema estructural



Ejemplo de armado

Ejemplo constructivo

Observaciones

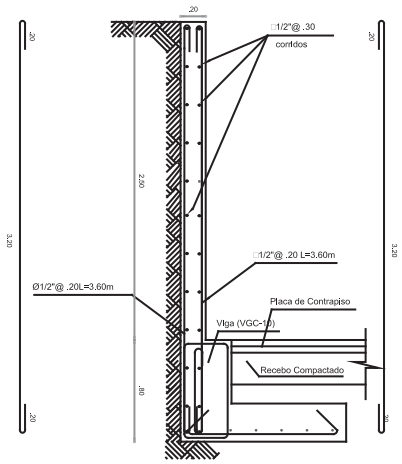
- Inicialmente se construyen las vigas guía según la localización que tendrá la pantalla.
- El armado del refuerzo debe realizarse según su diseño, tanto el longitudinal como el transversal.
- Se debe garantizar los recubrimientos mediante distanciadores debidamente sujetados al refuerzo.
- Es necesario que al momento de la colocación, el refuerzo no contenga barro o contaminantes.
- El vaciado del concreto se realiza mediante un embudo que lleva el concreto hasta el fondo y de abajo hacia arriba se hace el llenado.
- El concreto que se utiliza es de alto contenido de finos y fluido comúnmente denominado “tremie”

Descripción

Para permitir realizar las excavaciones con seguridad, se recurre a la construcción previa a la excavación, de las denominadas pantallas. Se construyen por tramos dependiendo de la envergadura de la almeja. La condición del terreno obliga al uso de agua con polímeros.

Muros de sótano

Esquema estructural



Ejemplo de armado

Ejemplo constructivo

Observaciones

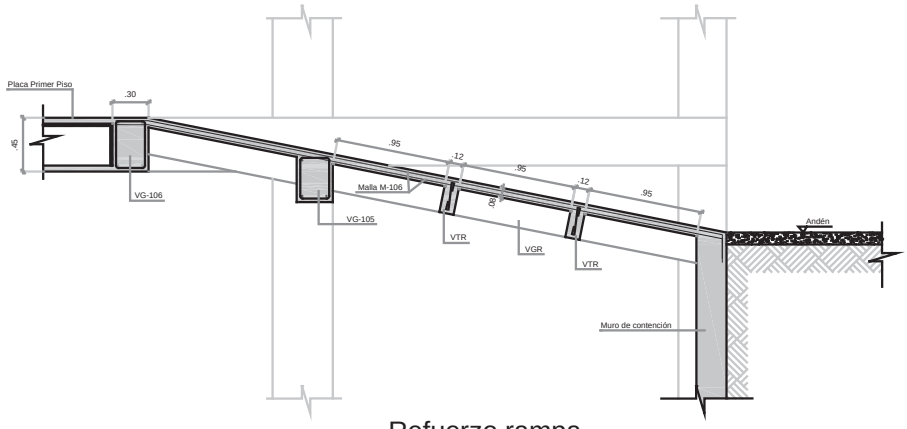
- Su construcción obedece a lo establecido en el Estudio de Suelos.
- Usualmente se hacen por tramos o trincheras.
- El armado del refuerzo debe realizarse según su diseño, tanto el longitudinal como el transversal.
- Se debe garantizar los recubrimientos mediante distanciadores debidamente sujetados al refuerzo.
- Es necesario que al momento de la colocación, el refuerzo no contenga barro o contaminantes.
- Se deben respetar los diámetros mínimos de doblado del refuerzo, para los “pelos”, en caso de ser necesarios por proceso constructivo.

Descripción

Los muros son estructuras que soportan principalmente empujes del terreno. En algunos casos, soportan además cargas provenientes de las placas que se apoyan sobre ellos. Su diseño obedece a parámetros geotécnicos establecidos en el estudio de Suelos.

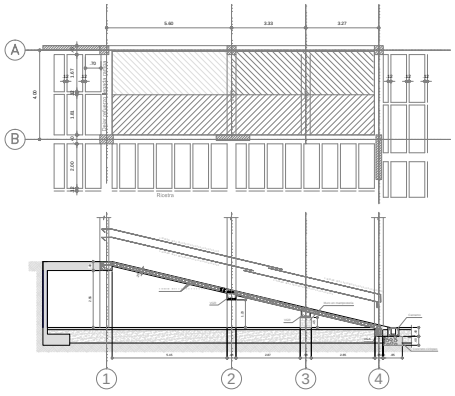
Rampas

Esquema estructural



Refuerzo rampa

Ejemplo constructivo



Observaciones

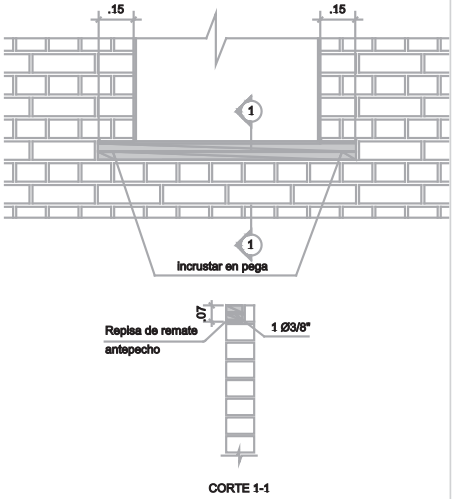
- La formaleta debe configurar apropiadamente su geometría.
- El vaciado debe realizarse de abajo hacia arriba.
- Se debe garantizar la adecuada posición del acero de refuerzo y su recubrimiento mediante soportes o distanciadores.

Descripción

Las rampas son vigas inclinadas según los requerimientos de las pendientes establecidas en el diseño arquitectónico.

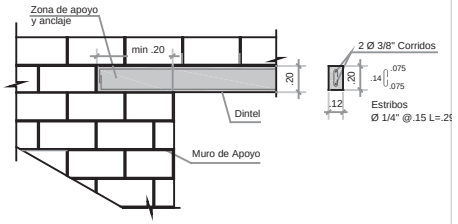
Elementos no estructurales

Antepechos



CORTE 1-1

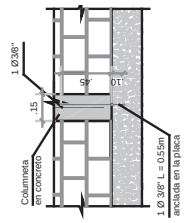
Apoyo dintel



NOTAS:

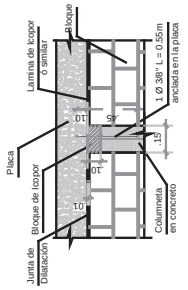
* Las dimensiones del dintel dependen de su longitud
* Se debera proveer un adecuado anclaje en los extremos del apoyo.

Apoyo columnetas



Detalle No. 2

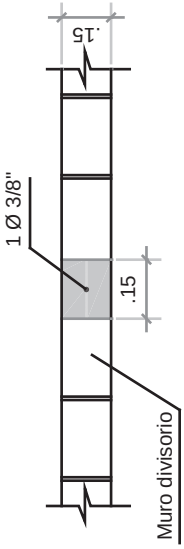
Anclaje inferior



Detalle No. 1

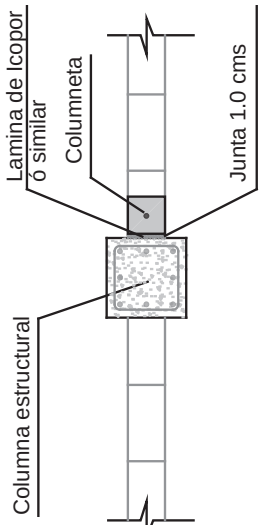
Anclaje superior

Columneta en planta

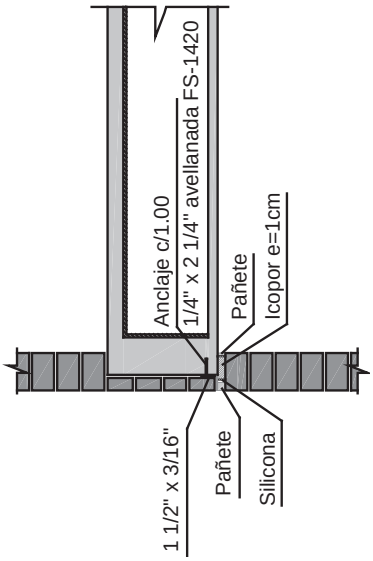


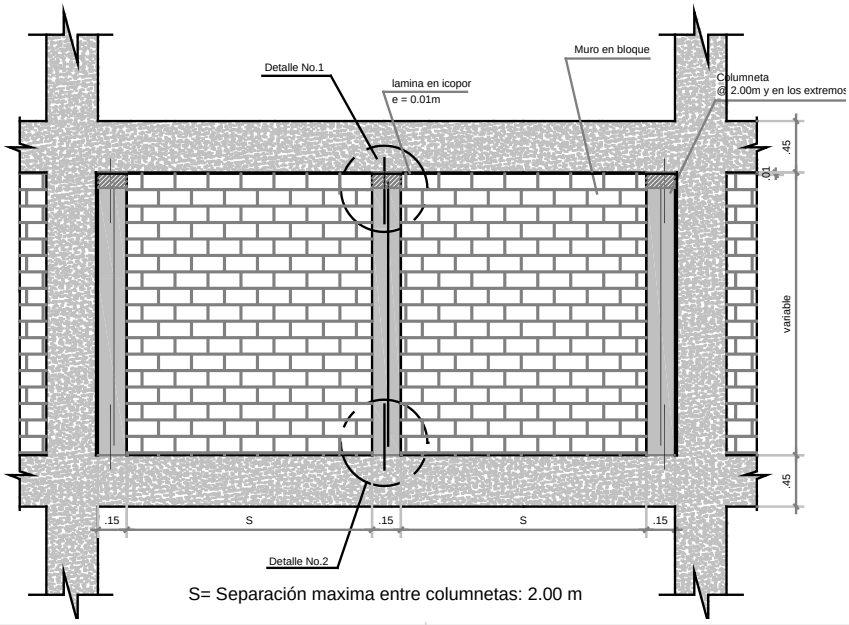
Elementos no estructurales

Dilatación entre muro y columna



Muro de fachada





S= Separación maxima entre columnetas: 2.00 m

GERDAU
DIACO

capítulo 7

La durabilidad de las estructuras de concreto

1. Vida útil de las estructuras de concreto

Se define la vida útil de una estructura, como la medida del tiempo en el cual la estructura y con ella la edificación, se comportará en las mismas condiciones tal como fue diseñada, sin perder ninguna de sus propiedades tanto físicas, químicas o mecánicas, conservando las condiciones de seguridad, funcionalidad y apariencia inicialmente previstas.

De esta manera, una estructura durable se consigue mediante una metodología que debe tomar en cuenta todos los posibles factores de deterioro o degradación que se deben considerar en cada una de las etapas de proyecto, diseño, ejecución, mantenimiento y uso de la estructura. Así surge el criterio de que una estructura de concreto no es solo el fruto de la creación del ingeniero estructural diseñador para responder a una configuración arquitectónica de usos, espacios y volumen, sino que involucra a otros sujetos cuyas decisiones afectan de manera definitiva el comportamiento, el servicio y uso de la edificación.

Es entonces cuando se crea la importancia de la durabilidad de las estructuras como un factor que involucra un conjunto de criterios derivados del aporte de un equipo profesional interdisciplinario más amplio del tradicional, criterios que desafortunadamente aún no se toma en cuenta en la generalidad de la actividad constructora, basado solo en la labor convencional tanto del arquitecto como del ingeniero diseñador y aún del profesional constructor.

De igual manera, se establece la importancia de considerar las condiciones particulares del medio ambiente que rodea la estructura al relacionar muchos de los daños en ellas con la agresividad del lugar.

Además, surge la necesidad de clasificar la agresividad como también definir los parámetros que se deben considerar en el diseño puesto que no puede ser lo mismo, por ejemplo, diseñar elementos estructurales de las edificaciones que están expuestas a la intemperie en atmósferas próximas al litoral, o estructuras sometidas a las acciones de gases derivados de procesos industriales o edificios convencionales de oficinas o vivienda protegidos por los acabados, algunos de ellos con gran capacidad de protección. Requerimos de un nuevo concepto para que nuestras construcciones no se afecten por estar expuestas a ambientes agresivos como sucede en zonas costeras o bajo la acción de las aguas lluvias ácidas o en zonas industriales o a los ciclos de humedecimiento y secado.

Las evidencias nos demuestran el deterioro de algunas construcciones en donde solo se tuvo en cuenta el criterio de evaluación de la resistencia mediante la valoración del parámetro de la resistencia a los 28 días $f´c$

olvidando las condiciones de exposición y servicio a las cuales la estructura estaría sometida.

Figura 7.1 – Deterioro de una columna de un edificio expuesta a los ciclos de humedecimiento y secado por la acción del intemperismo.

La siguiente tabla recoge el tiempo como vida útil que se considera, debieran tener algunas estructuras:

Tabla 7.1 Vida útil típica de algunas estructuras

Tipo de estructura	Años
Estructuras off-shore	35
Viviendas	50
Edificios	50
Túneles - Puentes	100

Los criterios de durabilidad no son tan fáciles transferirlos de un país a otro como sí lo son, por ejemplo, los aspectos que fundamentan el análisis y diseño estructural.

En nuestro medio, un país en desarrollo lo temporal se convierte en definitivo. Probablemente en un país desarrollado, existan criterios propios de las condiciones socioeconómicas del lugar, como las técnicas de construcción o la calidad de la obra en sí, aspectos éstos vinculados estrechamente a la definición de vida útil.

El grado de daño que hoy en día se descubre en muchas de ellas, obliga a establecer criterios que definan de manera taxativa la vida útil de las estructuras. Hasta nuestros días han llegado construcciones en piedra y mampostería de arcilla en condiciones óptimas de servicio que contrastan con edificaciones construidas hace pocos años en concreto reforzado en donde prevalecen daños asociados con patologías que pudieron evitarse.

2. Factores de deterioro

Las primeras recomendaciones relacionadas con la durabilidad se refieren a la magnitud del espesor del recubrimiento que deben tener los elementos estructurales de concreto reforzado. Desafortunadamente hoy en día se construyen estructuras sin que en ellas se tenga el adecuado control sobre los recubrimientos de los aceros de refuerzo.

Existe la falsa creencia de considerar que el recubrimiento de los aceros de refuerzo concierne solamente al proceso del diseño y los planos de obra usualmente ni mencionan tal requerimiento dejando que los estribos o flejes lo determinen de acuerdo con la voluntad de quien construya. Lo mismo ocurre con el contenido mínimo de cemento, con el tiempo mínimo de curado o la relación máxima de agua y material cementante (A/C), parámetros estos que en algunos casos ni siquiera se especifican en los planos de obra dejando su definición a la voluntad del constructor, lo cual no sería inconveniente si éste estableciera adecuadamente tales parámetros.

Hoy se sabe de los mecanismos de deterioro, de la forma como los gases actúan dentro de la microestructura del concreto, del efecto de los ciclos del humedecimiento y secado tan dañino sobre el concreto y otras tantos conocimientos que permiten dar garantía de durabilidad a las nuevas edificaciones cuando en ellas se toman en cuenta algunas consideraciones del diseño tanto estructural como arquitectónico, las formas geométricas de los elementos, el adecuado drenaje, las propias características del material pero especialmente algunos procedimientos constructivos y posteriormente la previsión derivada del adecuado mantenimiento.

Figura 7.2.- Falta de recubrimiento y hormigueros en una columna expuesta al intemperismo.

Figura 7.3 – La agresividad del medio ambiente es una característica fundamental que debe involucrarse en el diseño y construcción de las edificaciones.

3. Durabilidad de las estructuras de concreto

Para conseguir una edificación durable se requiere ciertas características de los materiales que la constituyen y ciertos criterios en el diseño tanto arquitectónico como estructural además de las técnicas constructivas apropiadas utilizadas en el proceso general de la construcción. De esta manera aumentamos la vida útil o de servicio de la edificación.

La durabilidad del concreto depende de su permeabilidad y del grado de agresividad presente en el medio ambiente donde se encuentre la estructura. Además de la permeabilidad existen otros factores colaterales del concreto como las fisuraciones o microfisuraciones causadas por la retracción del fraguado y los efectos derivados de las acciones mecánicas que influyen en la durabilidad del material.

4. Factores que afectan la durabilidad

La durabilidad del concreto se afecta por una serie de factores entre los cuales se deben considerar los siguientes[i]:

- Clasificación de la agresividad del medio ambiente
- Clasificación de la resistencia del concreto al deterioro
- Modelos, de preferencia numéricos, del deterioro y envejecimiento de las estructuras de concreto
- Correspondencia entre la agresividad del medio ambiente y la resistencia al deterioro y envejecimiento del concreto

- Vida útil deseada, o sea, el período de tiempo que se desea que la estructura atienda a ciertos requisitos funcionales con un mínimo de mantenimiento
- Calidad de los procesos constructivos.

5. Agresividad del medio ambiente

De acuerdo con lo anterior, se requiere clasificar la agresividad del medio ambiente y el riesgo de deterioro tal como se muestra en la tabla 7.2 siguiente:

Tabla 7.2 – Clasificación de la agresividad del ambiente

Clase de agresividad	Agresividad	Riesgo de deterioro de la estructura
I	Ligera	Insignificante
II	Media	Pequeño
III	Fuerte	Grande
IV	Muy fuerte	Elevado

Es claro que siendo el concreto reforzado un material compuesto por concreto y acero de refuerzo, es necesario clasificar el grado de agresividad considerando la durabilidad de cada uno de esos dos componentes como puede observarse en la tabla siguiente:

Tabla 7.3 – Clasificación de la agresividad del ambiente con relación a la durabilidad

Clase de agresividad	Macro clima	Microclima	Gas carbónico CO_2 del ambiente	Cloruros Cl^- del ambiente
I	Atmósfera rural	H.R. ≤ 60% Interiores secos	≤ 0.3%	≤ 200 mg/L
II	Urbana	H.R. ≤ 60 a 95% H.R. = 100% (inundado)	≤ 0.3%	< 500 mg/L
III	Marina o industrial	H.R. ≤ 65 a 98%	≥ 0.3%	> 500 mg mg/L
IV	Industrial	Zonas interiores industriales húmedos	> 0.3%	> 500 mg mg/L

Según el profesor Dr. Paulo Roberto do Lago Helene[i], los tres mecanismos básicos de deterioro son: (a) la lixiviación por acción de las aguas puras, carbónicas agresivas y ácidas que disuelven y corroen los compuestos de pasta hidratada especialmente el hidróxido de calcio, (b) expansión por acción de los sulfatos reactivos con el aluminato tricálcico de la pasta y (c) expansión derivada de la reacción del álcalis del cemento con ciertos agregados.

La tabla 7.4 siguiente recoge estos criterios:

Tabla 7.4 – Clasificación de la agresividad del ambiente al considerar la durabilidad del concreto.

Clase de agresividad	pH	CO_2 agresivo mg/L	Amonio NH_4^+ mg/L	Magnesio Mg^{2+} mg/L	Sulfato SO_4^{2-} mg/L	Sólidos disueltos mg/L
I	> 6.0	< 20	< 100	< 150	< 400	> 150
II	5.9 - 5.0	20 – 30	100 – 150	150 – 250	400 – 700	150 – 50
III	4.9 - 4.5	30 - 100	150 – 250	250 – 500	700 – 1500	< 50
IV	< 4.5	> 100	> 250	> 500	> 1500	< 50

Notas:

1. En los suelos, el análisis debe realizarse sobre la fase acuosa

2. Agua en movimiento, temperatura por encima de 30°C conducen a un aumento de la agresividad

3. Ciertas combinaciones de acción física superficial tales como abrasión y cavitación aumentan la velocidad de ataque químico y pueden corresponder a un gran aumento de la agresividad.

La tabla 7.5 siguiente asocia los factores relacionados con el tipo de agresividad del ambiente con la exigencia de durabilidad que debe poseer el concreto.

Tabla 7.5 – Relación entre agresividad y clase de concreto

Clase de agresividad	Concreto recomendado
I Ligera	Normal, resistente y durable
II Media	Normal, resistente y durable
III Fuerte	Resistente y durable
IV Muy fuerte	Durable

6. Resistencia del concreto a los agentes de deterioro

Las estructuras de concreto que quedan expuestas al fluido de mayor abundancia en la naturaleza en sus distintos ambientes y estados como el agua del mar, agua de ríos, lagos, corrientes subterráneas, niveles freáticos, vapor de agua, granizo, nieve, aguas lluvias, etc., son vulnerables por la acción destructiva de sus materiales. El mecanismo que explica esos daños se presenta por la pequeñísima dimensión de las moléculas de agua que pueden penetrar dentro de las cavidades o por los poros extremadamente finos del concreto. Además, el agua tiene la particularidad notable de disolver el mayor número de substancias que cualquier otro líquido conocido[ii]. Esta propiedad se debe a la presencia de muchos iones y gases que causan descomposición química de los materiales sólidos.

Puede notarse además que el agua tiene una mayor temperatura de evaporación que los líquidos comunes, por lo que bajo temperatura usual, tiene una tendencia a permanecer como un material en estado líquido, en vez de evaporarse y dejar el material seco.

7. Agresividad del medio ambiente y resistencia al deterioro

Tradicionalmente se define la durabilidad del concreto fabricado con cemento portland como la capacidad resistente a la acción del clima, a los ataques químicos, a la abrasión o a cualquier otro proceso de deterioro. El concreto durable mantendrá su forma original, su calidad y sus propiedades de servicio al estar expuesto al medio ambiente[iii].

Las condiciones ambientales para las cuales el ACI estableció recomendaciones mediante la publicación de la "Guía para la Durabilidad del Concreto" del Comité ACI 201, están referidas a las múltiples variables propias de las condiciones ambientales que se presentan en los Estados Unidos, que no son precisamente las mismas que experimentan otras zonas del planeta aunque en algunos casos efectivamente existen las mismas variables por lo que deben distinguirse esas diferencias en procura de conseguir que cada región o lugar, determine los parámetros particulares que pueden influir en la durabilidad de las estructuras de concreto.

La actividad investigadora en el mundo científico es realmente amplia sobre el tema de la durabilidad del concreto con importantes avances del conocimiento. En el caso europeo, actualmente se discute el borrador[iv]de la que será la norma europea del hormigón EN-206. Allí se proponen por ejemplo, 18 tipos de diferentes ambientes dada la variedad del ámbito europeo.

En la siguiente figura, se establece los procesos de deterioro del concreto.

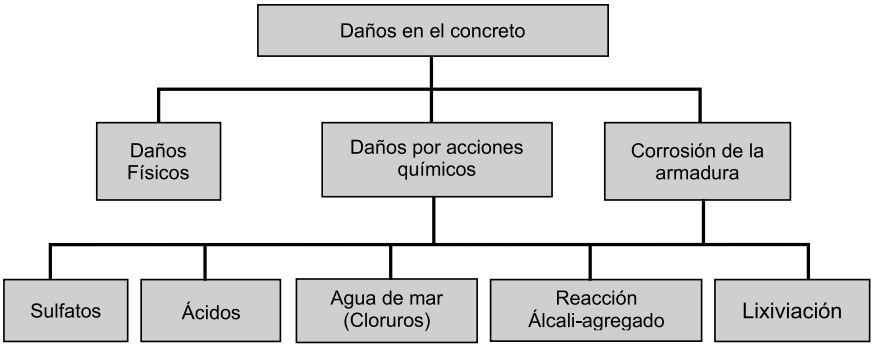


Figura 7.4 – Representación de los diferentes tipos de deterioro del concreto.

La ya mencionada Guía del ACI relaciona de manera específica los distintos tipos de deterioro, describe los mecanismos de daño, se señalan los requerimientos que se deben cumplir en lo relacionado con los materiales, diseño y procedimientos constructivos mediante el ordenamiento en siete características que seguiremos como esquema de la presentación de la durabilidad, junto con las observaciones y recomendaciones que en cada caso se sugieren.

Esta situación propia de los países nórdicos contrasta con las variables climatológicas de los países tropicales caracterizadas principalmente por las temperaturas y precipitaciones pluviales cambiantes a lo largo del año con variaciones adicionales dependientes de la situación geográfica en lo relacionado con la altitud y latitud.

Para el caso de los países caribeños y andinos probablemente tenga mayor interés otros aspectos climatológicos especialmente la temperatura (primordialmente las demasiado bajas) y las precipitaciones pluviales. Por los factores ya mencionados de la altitud y la latitud, se crean condiciones particulares de diversa índole que requiere su mejor identificación en procura de conseguir patrones particulares en la búsqueda de concretos durables para las regiones tropicales.

Surgen así diversas condiciones climáticas para las cuales se recomiendan procedimientos distintos como los siguientes:

Construcciones en clima frío: Para la fabricación del concreto, se recomienda utilizar preferentemente cemento Portland tipo I o tipo II. El agregado debe ser limpio y de buena calidad. Se requiere adicionar un inclusor de aire dentro de las exigencias establecidas en las Normas NSR-10[v], siguientes:

Tabla 7.6 – Contenido de Aire para el grado de exposición de acuerdo con el tamaño máximo del agregado

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		CONTENIDO DE AIRE TOTAL EN % (POR VOLUMEN)			
		NATURALMENTE	GRADO DE EXPOSICIÓN		
mm	Pulgadas	ATRAPADO	LIGERA	MODERADA	SEVERA
9.5	3/8	3.0	4.5	6.5	7.5
12.5	½	2.5	4.0	5.5	7.0
19.1	¾	2.0	3.5	5.0	6.0
25.4	1	1.5	3.0	4.5	6.0
38.1	1 ½	1.0	2.5	4.5	5.5
50.8	2	0.5	2.0	4.0	5.0
76.1	3	0.3	1.5	3.5	4.5

En estas circunstancias no se recomienda el empleo de aditivos acelerantes de la resistencia del concreto (cloruro de calcio) ante el riesgo de la corrosión del acero de refuerzo.

El Comité del ACI 309[vi], estableció algunas recomendaciones que se consideran muy importantes relacionadas con la elaboración, colocación y mantenimiento del concreto a la temperatura adecuada. En ellas se establece que al mezclar el concreto, éste posea una temperatura apropiada para la hidratación del cemento y se mantenga hasta que el concreto adquiera la resistencia adecuada para soportar el retiro de la formaleta y los efectos de las bajas temperaturas. Se debe evitar el choque térmico que se causa por un cambio de temperatura súbito por lo que éste debe ser gradual. Por esa razón se debe proteger la estructura mediante aislantes térmicos.

El precalentamiento del agua es el medio apropiado para aumentar la temperatura del concreto, tomando la precaución de no provocar el fraguado instantáneo. Se sugiere mezclar primero el agua caliente con los agregados fríos y luego añadir el cemento por lo que se debe prolongar en un 25% el tiempo normal de mezclado.

Terminado el vaciado se debe proteger la estructura con aislamientos térmicos, mantas o sacos de fique húmedos hasta cuando el concreto alcance la resistencia especificada, tomando las medidas de protección necesarias puesto que en la medida en que la temperatura es menor, el fraguado y endurecimiento se desarrolla más lentamente. Lo anterior exige que en esas condiciones climáticas se recomiende utilizar formaleta de madera y su retiro se realice lo más tarde posible pero si eso no es posible, la estructura requiere apuntalamiento y los ya procedimientos que permitan su cubrimiento.

Construcciones en clima cálido: También en este caso se deben tomar las medidas preventivas para conseguir concretos de buena calidad y

durables. De manera similar el Comité ACI 305[vii] estable algunas recomendaciones como las siguientes: La calidad del concreto debe ser la especificada por lo que el contenido de cemento debe satisfacerse de acuerdo con el diseño de la mezcla, lo mismo que lo relacionado con los agregados y el agua. Se recomienda utilizar los siguientes aditivos: un agente reductor de agua que puede ser también un retardante de fraguado y un agente incluso de aire cuando se prevea variaciones altas de temperatura.

La Práctica Recomendada por el ACI 306[viii] establece que la definición de la relación A/C debe basarse en las condiciones del lugar para satisfacer los requerimientos de durabilidad de acuerdo con los siguientes valores:

Tabla 7.7 – Relación A/C para distintas condiciones de exposición

Tipo de estructura y condiciones de exposición y servicio		A/C máxima sugerida por Durabilidad (*)
Estructuras de concreto simple o reforzado, con secciones delgadas expuestas a la intemperie, en sitios con algunas nevadas y temperaturas de congelación durante el invierno		0.50
Estructuras de concreto sujetas a ciclos de humedecimiento y secado, en clima benigno:		
Si el medio de contacto no es químicamente agresivo	Concreto simple	0.58
	Concreto reforzado	0.55
Si el medio de contacto es químicamente agresivo, en concre simple o reforzado (**)		0.45
Estructuras de concreto simple o reforzado para almacenamiento de agua, o expuestas a contacto con agua que actúa bajo presión		0.48

(*) Este requisito deja de operar si para obtener la resistencia especificada se requiere emplear una relación A/C más baja.

(**) En este caso debe emplearse, además, un cemento de composición química adecuada.

Por razones de resistencia y durabilidad, no es conveniente que al fabricar el concreto, su temperatura sea demasiado alta. La temperatura ideal para fabricar el concreto es de 21°C, tomando en consideración una variación de + ó - 11°C para las etapas de fraguado y endurecimiento. De esta manera se sugiere que para vaciados de concreto en clima frío, se tomen las medidas necesarias para que la temperatura no se baje a menos de 10°C y para vaciados en clima cálido, la temperatura no exceda de 32°C.

Cuando la temperatura es superior, se requiere tomar medidas para disminuir la temperatura mediante acciones como el enfriamiento del agua de mezclado mediante hielo, lo cual no es práctico para grandes volúmenes de mezcla. En ese caso se sugieren otras medidas como las siguientes:

Mantener cubiertos los agregados para evitar el calentamiento por la acción directa del sol, mantener húmedos los agregados, mantener el agua en depósitos que permitan una baja de temperatura, controlar el calentamiento

de las mangueras de suministro de agua, almacenar el cemento en lugares frescos, cubiertos y ventilados, proteger del sol el concreto del vaciado, realizar el vaciado en horas en que la temperatura del lugar sea baja.

Una vez el concreto se ha vaciado, se debe proteger para disminuir el riesgo del secado prematuro puesto que produce la fisuración y agrietamiento y por consiguiente afecta la durabilidad. Uno de los factores más importantes que aumentan el riesgo de fisuración es el viento. Por tal razón, el concreto debe protegerse mediante barreras o cubiertas temporales que permitan un curado apropiado, es decir, impedir la pérdida de humedad. Es útil el uso de líquidos que forman una membrana o agua de riego continuo o mediante mantas de fique. El retiro de la formaleta debe hacerse lo antes posible buscando con ello la disipación del calor propio del fraguado y permitiendo el curado con agua.

El Agua

El agua es un ingrediente en la fabricación del concreto, es decir, que como agua de mezclado ocupa entre el 10 y el 25% del volumen del concreto.

Tabla 7.8- Efectos de la calidad del agua sobre el concreto

Tipo de agua	Efectos sobre el concreto
Aguas puras	Acción disolvente e hidrolizante de compuestos cálcicos del concreto
Aguas ácidas naturales	Disolución rápida de los compuestos del cemento
Aguas fuertemente salinas	Interrumpe las reacciones de fraguado del cemento. En el curado, disolución de los componentes cálcicos del concreto
Aguas alcalinas	Produce acciones nocivas para cementos diferentes al aluminoso
Aguas sulfatadas	Son agresivas para concretos fabricados con Cemento Portland, en especial al Tipo I
Aguas con cloruros	Produce una alta solubilidad de la cal. Produce disolución en los componentes del concreto.
Aguas con magnesio	Tienden a fijar la cal, formando hidróxido de magnesio y yeso insoluble. En las mezclas, inhibe el proceso de fraguado del cemento.
Aguas de mar	Produce eflorescencias. Incrementa la posibilidad de generar corrosión del acero de refuerzo.
Aguas recicladas	El concreto puede acusar los defectos propios del exceso de finos
Aguas industriales	Por su contenido de iones sulfato, ataca cualquier tipo de cemento.
Aguas negras	Daño en los conductos con efectos imprevisibles

El agua que se debe utilizar para fabricar un concreto durable, no debe contener iones sulfato en cantidades superiores a 1 g/L (1000 ppm) excepto en el caso de que se emplee un cemento resistente a los sulfatos en el que el límite anterior podrá elevarse a 5 g/L (5000 ppm).

Exposición a substancias químicas agresivas

Las sustancias agresivas pueden provenir de diversas fuentes de acuerdo con la condición de uso que tenga la estructura pero también y de mayor incidencia se sucede cuando la naturaleza de esa agresividad proviene de los mismos materiales de los que está constituido el concreto. Se destacan como las substancias más agresivas los sulfatos de sodio, potasio, calcio y magnesio.

Los combustibles contienen gases sulfurosos que al combinarse con la humedad forman el ácido sulfúrico. Igual situación se presenta con las aguas negras que forman ácidos que atacan al concreto. De manera semejante esta situación se presenta con los suelos que contienen turbas por la presencia de sulfuro de hierro (pirita) que al oxidarse producen ácido sulfúrico y luego generar sales sulfatadas que producirán, ataques por sulfato.

La presencia de sulfatos en el concreto puede provenir de los agregados y de las arenas especialmente cuando tales recursos naturales se extraen de ríos que desaguan zonas volcánicas, como es usual en la formación de la cordillera de Los Andes en Suramérica. Muchísimas son las poblaciones de Centro y Sur América que poseen construcciones realizadas con cantos rodados y arenas de ríos cuya hoya hidrográfica está directamente relacionada con zonas volcánicas.

Igual situación se presenta cuando las estructuras, especialmente las cimentaciones, se construyen en suelos naturales o con niveles freáticos que contienen substancias agresivas (sulfatos de sodio, potasio, calcio y magnesio) en concentraciones que pueden llegar a deteriorar al concreto.

El mecanismo de daño se explica por una de las dos situaciones siguientes[2]:

1- Combinación de los sulfatos con hidróxido de calcio (cal hidratada) liberada durante el proceso de hidratación del cemento. Esta combinación forma sulfato de calcio (yeso)

2- Combinación de yeso y aluminato hidratado de calcio para formar sulfoaluminato de calcio (etringita).

Estas dos reacciones tienen como resultado el aumento de volumen sólido. A la segunda se atribuye la mayoría de las expansiones y rupturas del concreto causadas por soluciones de sulfatos.

La tabla siguiente de la Guía ACI 201 establece algunos grados de agresividad de los sulfatos dependiendo de su concentración en el agua o suelo que se encuentre en contacto con la estructura de concreto.

Tabla 7.9 – Relación A/C para distintos grados de agresividad

Grado de exposición	Cemento utilizable		Máxima + Relación A/C
	Preferido	Alternativo	
Suave o benigno	Cualquier tipo o clase		--
Moderado *	Tipo II	Portland-puzolana (con clincker tipo I)	0.5
Severo	Tipo V	Portland puzolana (con clinker tipo II)	0.45
Muy severo	Tipo V	Portland-puzolana (con clincker tipo V) **	0.45

Notas:

\+ Para prevenir la corrosión de elementos inmersos en el concreto, puede requerirse una relación A/C menor

* En esta categoría también se incluye el agua del mar

** Use una puzolana que efectivamente mejore la resistencia a los sulfatos al utilizarse con concreto fabricado con cemento tipo V.

Caso de especial cuidado son las estructuras de concreto en contacto con el agua de mar que por tener este una concentración del orden de 1500 ppm, le corresponde en la escala un grado moderadamente agresivo. Además, la elevada concentración de cloruros de más de 20000 ppm es un medio agresivo que causa la corrosión del acero de refuerzo.

De igual forma debe considerarse la acción agresiva derivada de suelos y aguas freáticas que pueden contener altas concentraciones de sulfatos que explican los deterioros frecuentes en estructuras de cimentación.

La adición de cloruro de calcio como aditivo al concreto reduce su resistencia a los ataques de sulfatos por lo que se debe excluir su uso si el concreto está sujeto a los últimos grados de exposición que aparecen en la tabla anterior.

Una vez se conozcan las características agresivas del medio de contacto con la estructura, se deben utilizar algunas recomendaciones como las siguientes: elaborar un concreto de alta compacidad, denso e impermeable

para impedir la penetración de sulfatos en solución, utilizar cementos cuya composición química lo haga resistente a sulfatos, utilizar una relación A/C baja y además utilizar los procedimientos idóneos para la fabricación, transporte, colocación, compactación y curado de acuerdo con las recomendaciones establecidas en las Guía ACI 201 y ACI 309[ix].

Las medidas constructivas complementarias que favorecen la protección contra sustancias agresivas, son las siguientes:

1. Realizar drenajes que permitan abatir el nivel freático
2. Colocar un medio de protección de la estructura antes de vaciar el concreto
3. Para rellenos de cimentación, sustituir el material por otro exento de sulfatos
4. Sobre las superficies terminadas de concreto, colocar un recubrimiento de protección o tratamiento superficial adecuado como los recomendados por el Comité ACI 515 "Guía para el uso de Sistemas de Impermeabilizadores. Anti-humectantes, Protectores y Decorativos en el Concreto"[x].

Abrasión

La abrasión se define como "la habilidad de una superficie para resistir el desgaste producido por fricción o frotamiento"[xi]. Lógicamente la abrasión se presenta por las condiciones de servicio propias de la función que preste la estructura. Así por ejemplo[2], las acciones abrasivas pueden darse por causas mecánicas o hidráulicas. La primera de ellas se presenta en pisos y pavimentos como resultado del uso cotidiano del tráfico de personas vehículos ligeros, o deslizamiento de objetos sobre la superficie.

Además se presenta sobre pavimentos de concreto debido al desgaste especialmente por efecto de llantas con taches o cadenas. La acción hidráulica se presenta en estructuras sometidas al flujo de fluidos presentándose las siguientes opciones: Erosión de estructuras hidráulicas tales como presas, tuberías o estribos de puentes afectados por el material abrasivo llevado por la corriente del agua o por el desgaste en la estructuras hidráulicas en donde se presentan altas presiones y presiones negativas lo cual se conoce como erosión por cavitación y depende del diseño hidráulico y estructural.

La tabla[1] siguiente muestra la clasificación que puede darse al fenómeno de erosión de acuerdo con la velocidad del agua.

Tabla 7.10 – Grado de erosión de acuerdo con la velocidad del agua

Fenómeno	Velocidad del agua
Erosión por abrasión	Entre 0 y 8 m/seg
Erosión por cavitación	Entre 8 m/seg y 30 m/seg
Impacto	Superiores a 30 m/seg

La resistencia del concreto a la abrasión depende principalmente de:

1. **Resistencia del concreto a la compresión.** Este parece ser el factor más importante que controla la resistencia a la abrasión. La resistencia a la compresión y a la abrasión varía de manera inversamente proporcional a la relación vacíos (agua + aire)/cemento. Para mezclas ricas, el limitar el tamaño máximo del agregado aumenta la resistencia a la compresión y como resultado se obtendrá una resistencia máxima de las superficies del concreto a la abrasión.

2. **Propiedades de los agregados.** La capacidad resistente de los agregados influye notoriamente en la resistencia del concreto a la abrasión lo cual es más notable en concretos de baja resistencia por lo que para superficies expuestas tales como vías o pisos deben emplearse agregados duros y resistentes.

3. **Métodos de acabados.** Se debe tener especial cuidado con los procedimientos de acabado para con ello conseguir la mejor calidad de la superficie de concreto. En pisos de dos capas, se puede colocar una capa superficial de excelente resistencia a la abrasión y aplicar un concreto corriente en el resto de la placa.

4. **Uso de recubrimientos.** Se pueden utilizar endurecedores de superficie de manera que se logre una condición resistente a la abrasión.

5. **Curado.** El curado es parte esencial de la calidad resistente de cualquier elemento de concreto. Se ha demostrado que una superficie curada durante 7 días es casi el doble de resistente al desgaste que una curada durante solamente tres días.

Es posible lograr la durabilidad de un concreto expuesto a los fenómenos de la abrasión mediante el empleo de un concreto con un nivel adecuado de calidad mediante el uso de procedimientos apropiados de construcción particularmente en lo relacionado con el acabado y curado de las superficies expuestas.

Tabla 7.11

ACCIÓN ABRASIVA	PROTECCIÓN RECOMENDADA
Abrasión mecánica e hidráulica ligera (pisos de concreto, revestimiento de canales y otras estructuras hidráulicas en contacto con flujos de agua de baja velocidad)	Impregnación de la superficie del concreto con líquidos endurecedores (fluosilicatos de magnesio o de zinc, o silicato de sodio)
Abrasión mecánica e hidráulica intensa (pisos industriales, pavimentos de concreto y estructuras hidráulicas diversas en contacto con flujos de agua de alta velocidad, pero sin la presencia de cavitación)	**Opcionalmente:** (a) Aplicación de recubrimientos de protección antiabrasivos, y eventualmente antiderrapantes, en forma de pinturas con base de resinas de epoxy, poliester, uretano o acrílicas. (b) Colocación de una capa sobrepuesta de mortero de formulación especial para piso, con base de resinas como las mencionadas en (a) y arena resistente a la abrasión. Eventualmente con fragmentos metálicos para mejorar la resistencia al impacto (c) Colocación de una capa sobrepuesta de mortero de alta calidad con base de cemento portland y arena resistente a la abrasión. Eventualmente con malla de acero de refuerzo, con modificación con base de látex, o con formulación especial para evitar la contracción (d) Colocación de una capa sobrepuesta de concreto de alta calidad con base de cemento portland y agregados resistentes a la abrasión. Eventualmente con acero de refuerzo, con modificación con base de látex, con formulación especial para evitar la contracción, o con refuerzo integral mediante la incorporación de fibras cortas.
Erosión hidráulica por cavitación (estructuras hidráulicas en contacto con flujos de agua de muy alta velocidad).	Prevención del fenómeno de cavitación mediante un buen diseño hidráulico, el uso de un concreto de alta calidad con estrictas tolerancias geométricas y de acabado, el empleo de sistemas de aireación del flujo, el control de la operación hidráulica y la continua inspección de las estructuras

Corrosión del acero y de otros materiales inmersos en el concreto

Generalmente el concreto proporciona la suficiente protección del acero cuando se cumplen a cabalidad las distintas recomendaciones relacionadas con la calidad del concreto y los espesores de recubrimiento. Sin embargo, sucede con frecuencia que la corrosión constituye un factor de deterioro con lo cual el problema de la reparación se convierte en un factor de alto costo.

De acuerdo al numeral C.7.4.2. NSR-10, el refuerzo de acero con óxido, escamas de laminación o combinación de ambas, puede considerarse satisfactorio, siempre y cuando las dimensiones mínimas (incluyendo la altura de los resaltes del corrugado) y el peso, de una muestra limpiada con cepillo de acero de mano, no sean menores que las indicadas en la norma. Esto aplica para barras corrugadas y para alambres y mallas de acero estructural.

Cuando se deja el acero expuesto al medio ambiente se puede producir en un plazo breve la oxidación, muy diferente al fenómeno de la corrosión.

En primer lugar, para el caso del acero, aparece en presencia del aire y/o agua, la formación de un hidróxido de hierro (óxido de color amarillo) conocido como herrumbre, película muy fina que con el tiempo se transforma en óxido de hierro hidratado y en agua; lo anterior descrito se conoce como fenómeno de oxidación. Investigaciones relacionadas han demostrado que una cantidad normal de óxido aumenta la adherencia del concreto. Generalmente se espera que por la manipulación normal del acero de refuerzo se pierda el óxido suelto que es perjudicial para la adherencia del concreto (Ver NSR-10 CR7.4).

Sí no se toman medidas adecuadas y se permite que prosiga el fenómeno corrosivo, cambiando la apariencia del acero de refuerzo de color amarillo a color rojizo oscuro, el agua o elementos extraños adheridos provocan corrosión localizada cuya manifestación es la formación de cavidades con gran pérdida de masa en el acero. Este fenómeno incluso se puede dar en ambientes moderados ayudado por la condición de arrastre capilar posibilitada por la micro estructura del concreto; la corrosión es un proceso patológico que debe corregirse pues el desprendimiento del acero además de la pérdida del refuerzo, genera fracturas por las fuerzas expansivas en la micro estructura que aceleraran el proceso de daño.

La rapidez del fenómeno depende del tipo de ambiente al cual se encuentra expuesto el acero. Para el caso de ambientes normales de ciudad se estiman, para los aceros estructurales, velocidades de corrosión o penetración del orden de 0.2 a 0.3 mm/ año lo que equivale a una pérdida de peso del orden de los 0.17 mg /mm2 de área expuesta por año.

Es necesario aclarar que la reacción de oxidación en el acero embebido en el concreto se pasiva, es decir, que el fenómeno corrosivo se detiene gracias a la fuerte alcalinidad de su entorno producida por el hidróxido de calcio que se forma en el momento de la hidratación del cemento. Sin embargo, es necesario tener en cuenta, para garantizar el mantenimiento de la pasivación, la impermeabilidad del concreto y las concentraciones máximas permitidas del ión cloruro soluble en agua, aportadas por los

ingredientes del concreto incluyendo el agua, los agregados, el material cementante y los aditivos (C.4-5 NSR-10).

Reacciones químicas de los agregados

Existen agregados que en contacto con la pasta de cemento, reaccionan y producen afectaciones a la durabilidad del concreto. La reacción más estudiada y la primera en identificarse, es la reacción de los álcalis, óxido de sodio y potasio (Na2O y K2O) procedentes del cemento o de otras fuentes con el hidróxido y diversos constituyentes silíceos.

Se pueden definir tres tipos de reacciones básicas[xii] álcali-agregado: álcali-sílice, álcali-silicato y álcali-carbonato. La primera es la más frecuente y en ella ciertas clases de sílice amorfa y criptocristalina reaccionan con la solución altamente alcalina de los poros del concreto para formar un gel que se hincha y produce presión al absorber agua del medio que la rodea. La segunda reacción, que es poco frecuente, intervienen los filosilicatos que por su estructura laminar tienden a ser exfoliados por la acción de los álcalis. Finalmente, la tercera reacción, cuya frecuencia es intermedia entre las dos anteriores, se manifiesta como una dedolomitización de algunas rocas calizas dolomíticas por efecto de los propios álcalis.

Existen tres circunstancias para que se produzca y genere una reacción álcali-agregado destructiva:

1. Presencia de rocas y minerales reactivos en los agregados, en las proporciones que en cada caso resulten críticas, conforme a su origen y naturaleza. Se debe evitar el uso de agregados identificados como potencialmente reactivos con los álcalis.

2. Elevado contenido de álcalis en la mezcla de concreto, por arriba de ciertos límites establecidos empíricamente. Se recomienda utilizar cemento Portland con bajo contenido de álcalis: menos de 0.60% si la reacción es álcali-sílice y menos de 0.40% si la reacción es álcali-carbonato.

3. Humedad suficiente en el interior del concreto para mantener una solución fuertemente alcalina en contacto con los agregados. Aún hoy no existen medidas efectivas para evitar el daño. Algunas estructuras permiten mantener el concreto seco o aislado mediante barreras que difieren los efectos dañinos prolongando la vida útil de la estructura.

Lixiviación por aguas puras

La lixiviación en el concreto se presenta por la disolución del calcio del cemento por la acción de las aguas ya sean ellas, puras, libres de sales, aguas lluvias, pantanosas, producto de procesos industriales, etc.

Al perder el calcio, el concreto pierde su resistencia y se desintegra puesto que se pierde no solo el óxido de calcio si no también los silicatos, aluminatos y ferritos hidratados. Existe un valor límite del CaO del cemento a partir del cual se considera que el concreto pierde algunas de sus propiedades, causando la corrosión del acero al quedar expuesto a la intemperie. La manifestación externa de la destrucción del concreto por lixiviación es la formación de estalactitas por la pérdida de la cal.

Existen diversos medios para prevenir la lixiviación como son: concretos no porosos, de alta compacidad, impermeabilización o tratamiento de superficies.

GERDAU
DIACO

capítulo 8

La corrosión de las estructuras de concreto

1. Introducción

Es bien sabido la importancia económica que tienen los daños causados por la corrosión en amplios sectores de la industria, en sus instalaciones, en estructuras que permanecen a la intemperie como los puentes y estructuras viales, postes, instalaciones de servicios públicos e inclusive edificaciones convencionales.

Por mucho tiempo se consideró que el concreto reforzado era un material imperecedero pero con el trascurso de los años, se han venido presentado daños en estructuras ocasionados por el fenómeno de la corrosión. La magnitud de la inversión que es necesaria realizar para corregir esas patologías obliga a un conocimiento amplio sobre las causas del fenómeno con la clara comprensión de los mecanismos de daño en procura de proyectar el aporte de ingeniería para la apropiadamente rehabilitación.

2. Naturaleza del fenómeno

El cemento, el principal componente del concreto, contiene silicatos y aluminatos de calcio que en contacto con el agua se endurece generando una red de silicatos hidratados que aportan la resistencia mecánica del concreto. Simultáneamente se forma el hidróxido de calcio que es el principal responsable de la estabilización del pH con valores de alrededor de 12.5 y a veces superiores hasta 14.

Cuando vaciamos el concreto para conformar un elemento estructural, la lechada del concreto forma una capa alrededor de cada varilla, cubriéndola y aislándola del medio ambiente. Esa capa se denomina capa pasivadora y de la buena calidad del concreto y algunos otros factores, va a depender la durabilidad del elemento.

Desafortunadamente la evaporación del agua de la mezcla necesaria para su manejabilidad causa la formación de una red de poros dentro de la masa del concreto.

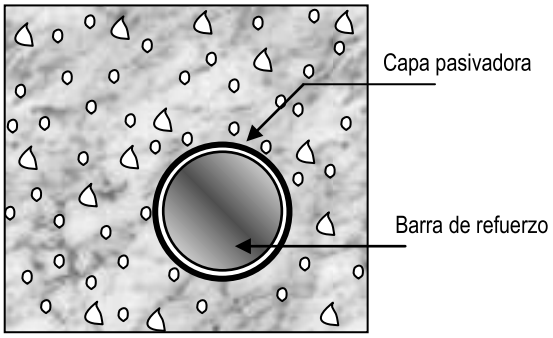


Figura 8.1 – Ilustración de la formación de la capa pasivadora.

Inicialmente la capa pasivadora es una solución acuosa compuesta por los iones OH provenientes del cemento a los que debe su alta alcalinidad. Dada esa buena envoltura, el acero no puede acceder al oxígeno y por lo tanto, no puede oxidarse.

3. Mecánica de la corrosión

La corrosión se define como la reacción química o electroquímica de un metal o aleación con su medio agresivo circundante con el consiguiente deterioro de sus propiedades.

La corrosión del acero de las estructuras de concreto reforzado se presenta por un mecanismo derivado de la formación de una celda electroquímica por la acción ya sea de los electrones (iónes cloruros o sulfatos) divagando en la masa acuosa del concreto o por la reducción de la alcalinidad por lixiviación de las substancias alcalinas con lo cual se logra romper la capa pasivadora o de protección del acero y con ello la oxidación del refuerzo.

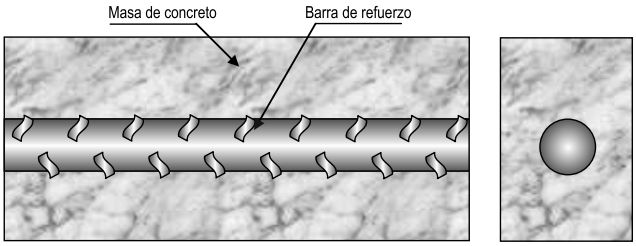


Figura 8.2 – Estado inicial del concreto y acero antes de la corrosión.

De acuerdo con lo anterior, para que se presente la oxidación se requiere la presencia de los siguientes elementos:

a.- el ánodo donde se presenta la oxidación,
b.- un cátodo, donde sucede la reducción,
c.- un conductor metálico donde hay flujo de electrones y
d.- el medio electrolito o sea el concreto húmedo.

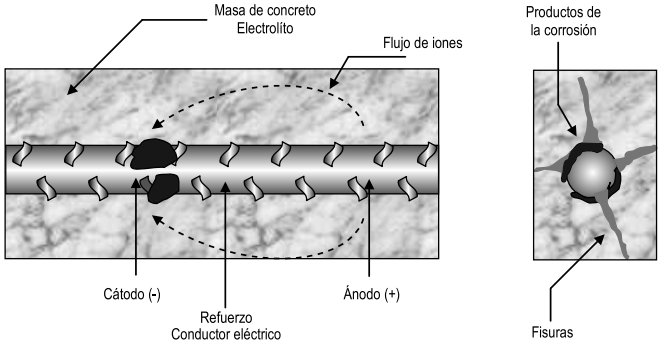


Figura 8.3 – Mecanismo de la corrosión.

Para que se exista la corrosión se requiere la disminución del pH del concreto, la presencia de ciclos de humedecimiento y secado como también puede sucederse por flujos de corriente eléctricas debido a la presencia de iones despasivantes o sales.

Dependiendo a la morfología de ataque se pueden distinguir diferentes tipos de corrosión que de manera ilustrativa se representan de la siguiente manera:

Tipos de corrosión

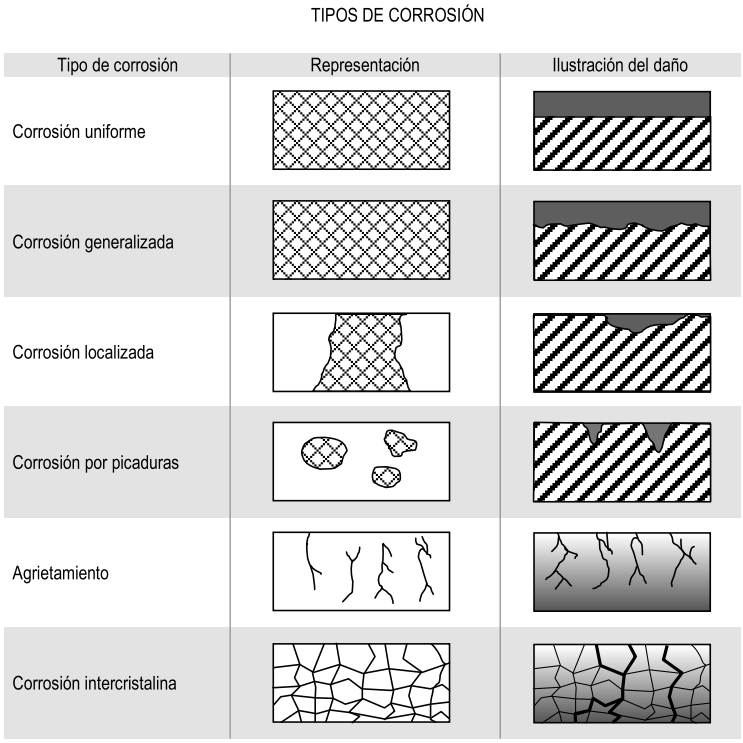


Figura 8.4 – Algunos de los diversos tipos de corrosión por la morfología de ataque.

Para propósitos de la corrosión de las estructuras de concreto reforzado consideraremos las siguientes tipos de acuerdo con la apariencia física del ataque:

Corrosión por picaduras

Se trata de una corrosión localizada en los puntos donde se destruye la capa pasivadora por el ingreso de iones cloruro del medio ambiente o por estar incorporados en el concreto.

Este tipo de daño tiene el inconveniente de ser autocatalíticas con lo cual el proceso es continuo al disminuir el pH y continuar un ciclo.

El proceso de daño se inicia por la destrucción de la capa pasiva en un punto donde se forma el ánodo o lugar donde se reduce el acero y otro sitio donde la capa pasiva está intacta donde se sitúa el cátodo o sea el lugar donde se reduce el oxigeno.

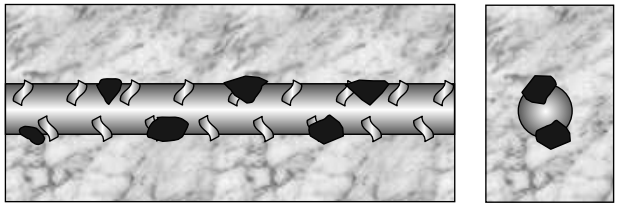


Figura 8.5 – Corrosión por picadura de la armadura.

Corrosión en espacios confinados

Se presenta cuando sobre el acero existe una zona suficientemente protegida al acceso del oxigeno y otras que pueden crear celdas diferenciales que provocan la corrosión del refuerzo. Un ejemplo de este tipo de daño se presenta cuando al corregir alguna fisura, se inyecta material epóxico que cubre lugares donde ya se ha iniciado la corrosión.

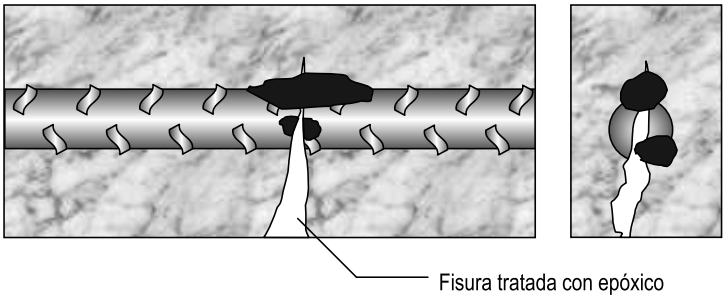


Figura 8.6 – Corrosión por espacios confinados (refuerzo con epóxico).

Lo mismo sucede cuando los revestimientos epóxicos no produce una verdadera adhesión con el acero. Otro caso se presenta por falta de adherencia cuando no existe una adecuada unión entre el acero y el concreto por proceso constructivo o funcionamiento mecánico.

Corrosión bajo tensión

Este fenómeno solo es observable al microscopio y se presenta por las tracciones en el acero en un medio agresivo. Usualmente ocurre en los aceros del pre o postensado por la mala calidad de la lechada con la que se llenan

los ductos o por la incorporación de iones a través de algunos aditivos. Este daño puede comprometer el elemento estructural puesto que causa pérdida de ductilidad y falla del refuerzo.

Corrosión por corrientes erráticas

Pueden existir corrientes continuas erráticas como las derivadas de equipos de soldadura, líneas a tierra, etc que causan flujos de corriente necesarios para causar corrosión. Si el concreto contiene cloruros, la corrosión se acelera. Se causa mayor efecto por la presencia de la corriente continua puesto que fluye en un solo sentido.

Figura 8.7 – Ejemplo del daño en el concreto por corrientes erráticas causadas por la instalación de líneas a tierra en contacto con la armadura de refuerzo.

Corrosión uniforme

Se produce por la pérdida generalizada de la capa pasivadora debido a la carbonatación, por la presencia de iones cloruros o por lixiviaciones por aguas puras o ácidas.

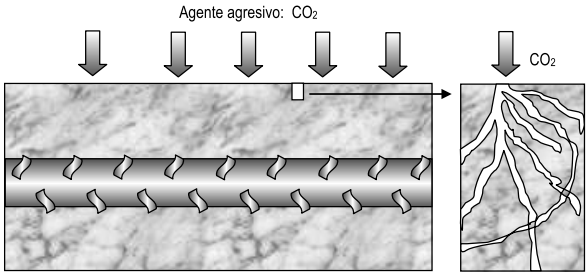


Figura 8.8 - Corrosión uniforme por carbonatación.

Corrosión galvánica

Ocurre por la presencia en el medio electrolítico de dos metales en diferente forma. Es el caso de varillas de refuerzo debidamente embebidas en el concreto y otras por fuera de éste.

Figura 8.9 – Corrosión galvánica por dejar refuerzo a la intemperie sin ninguna protección efectiva.

Causas de la corrosión

De acuerdo con lo anterior, se conoce que existen factores que de manera directa o indirecta causan la corrosión y ellos son: la calidad de la mezcla, la compacidad del concreto, el espesor del recubrimiento, las condiciones ambientales, la temperatura, la superficie del acero, tensiones mecánicas, las corrientes erráticas entre otras.

4. Calidad del concreto

Para que un concreto sea de buena calidad, además de desarrollar apropiadamente sus características mecánicas, se requiere que sea durable, es decir, compacto, no poroso para garantizar así la protección del acero de refuerzo frente al intemperismo del ambiente donde se encuentre. De acuerdo con lo anterior, durante el proceso constructivo debe formarse adecuadamente la capa pasivadora lo que se consigue con un concreto apropiadamente dosificado, transportado, vaciado y curado sin distinguir cuál de estas etapas es la más importante. No está por demás mencionar la importancia de minimizar la porosidad a través del control de la relación Agua/Cemento y la mejor selección de adiciones ya sean al cemento o al concreto para conseguir su fluidez. Con relaciones A/C menores de 0.4 se consiguen concretos resistentes al medio ambiente agresivo pero se requiere un adecuado curado con el fin de permitir la hidratación del cemento y con ello evitar la porosidad. La relación A/C define la porosidad de manera que el coeficiente de permeabilidad, directamente relacionado con la porosidad, aumenta exponencialmente para relaciones superiores a 0.60 – 0.65 como muestra la gráfica siguiente:

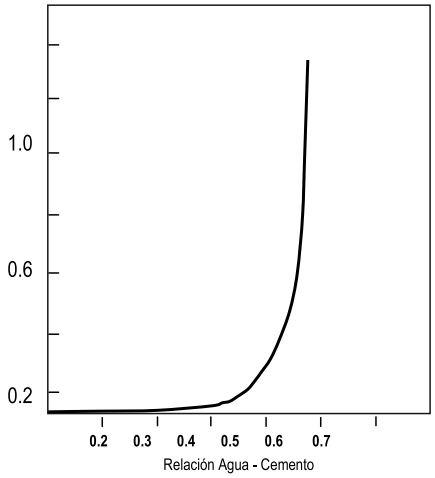


Figura 8.10 – Relación entre el coeficiente de permeabilidad y la relación agua / cemento.(Guía Práctica de la corrosión, No. 4).

Compacidad y homogeneidad

Los agentes agresivos que más deterioran al concreto son la carbonatación y la presencia de cloruros por lo que el medio más eficaz para impedir que penetren a la masa del concreto es evitando la porosidad, es decir, necesitamos producir concretos de alta compacidad. Esta propiedad se expresa como la relación entre el volumen sólido y el volumen aparente.

Para producir un concreto de alta compacidad se requiere no solo la buena calidad de los materiales y su adecuada dosificación sino que es fundamental el proceso de obra, es decir, las labores propias de mezclado y transporte que influyen de manera especial en la homogeneidad de la mezcla como también la colocación, vibrado y curado sin olvidar los procedimientos apropiados para el retiro de la formaleta.

Espesor del recubrimiento

Controlada la compacidad y homogeneidad del concreto que protege el refuerzo, es necesario controlar la dimensión de su recubrimiento el cual no puede ser demasiado ante la posibilidad de que se presente fisuras derivadas del comportamiento mecánico del elemento. Tampoco debe ser de poca dimensión puesto que con ello se facilita el daño por oxidación del refuerzo.

Figura 8.11 - Evidencia del mal proceso constructivo.
El refuerzo se encuentra a la vista.

El control del recubrimiento en obra se consigue mediante la fabricación de soportes o distanciadores de los cuales existen diversos tipos como los mostrados en las figuras siguientes. Si se fabrican en obra, se deben realizar de concreto de la misma calidad del elemento en donde se vayan a utilizar.

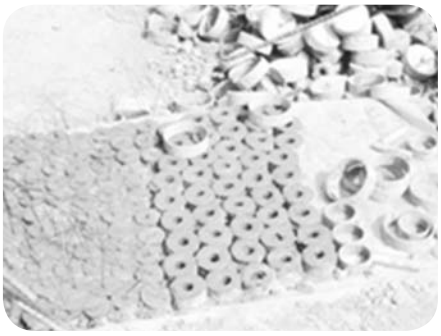


Figura 8.12 – Diversos tipos de soportes, separadores o distanciadores.

Pueden fabricarse en obra utilizando una formaleta de madera que forme una cuadrícula de dimensiones apropiadas de acuerdo con el uso que tendrán los distanciadores o soportes y de espesor según las dimensiones especificadas por la Norma NSR-10. Una buena alternativa consiste en utilizar anillos de tuberías de PVC cortadas al tamaño del espesor del soporte agregándoles alambre como medio de sujeción o dejando un orificio para mejor utilización con las barras de refuerzo en las columnas.

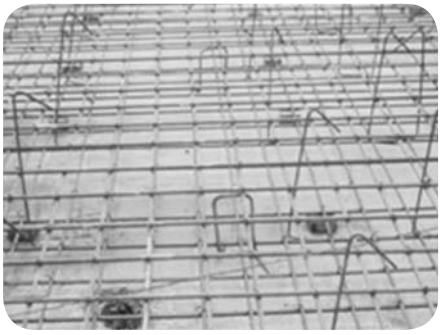


Figura 8.13 y 8.14 – Utilización de separadores o distanciadores para garantizar el adecuado recubrimiento.

5. Condiciones ambientales

Para la formación del electrolito se requiere la presencia de agua, la cual es el medio para la movilización de los iones con lo que se presenta la corrosión lo cual explica porqué en ambientes secos, es decir, de alta resistividad eléctrica en donde la velocidad de corrosión es mínima, la corrosión es muy lenta.

Figura 8.15 - En lugares donde las condiciones ambientales son agresivas al concreto, se deben extremar las medidas para conseguir concretos durables, es decir resistentes al medio ambiente. Estructura perteneciente a un edificio de una planta de producción de abonos.

En los poros del concreto puede existir humedad que influye de manera definitiva en el proceso de corrosión. En la mayoría de los concretos a una profundidad de 4 centímetros los poros casi siempre permanecen saturados de humedad.

Temperatura

Debido a la acción de la temperatura se activa el movimiento de los factores desencadenantes de la corrosión. Al aumentar la temperatura se mo-

vilizan las substancias agresoras y se evapora la humedad y al disminuir se condensa el agua en los capilares.

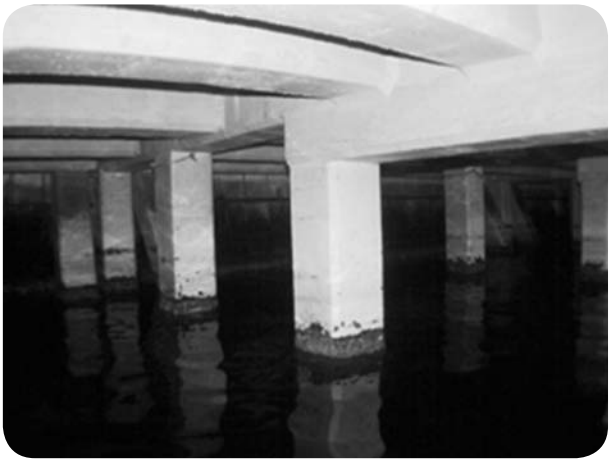


Figura – Estructura de un muelle en perfecto buen estado gracias a su adecuada construcción y continuo proceso de mantenimiento.

La condición de corrosión debe evaluarse a partir de la interrelación de la humedad, oxigeno y temperatura puesto que la consideración de alguno de los factores de manea independiente no es garantía de acierto en el diagnóstico del daño.

6. Superficie del acero

La superficie de la barras de refuerzo debe estar limpia de cualquier producto de la corrosión por causa de la presencia de la barra en el medio ambiente o por cualquier agente agresivo. Debe recordarse la importancia de permitir que la adherencia de la barra con el concreto que la rodea debe formar la capa pasivadora y permitir posteriormente el trabajo conjunto con el concreto para desarrollar sus funciones mecánicas.

7. Corrientes eléctricas erráticas

Por diversas causas existen corrientes erráticas que pueden llegar a las estructuras de concreto reforzado y si en ellas el proceso de oxidación se encuentra iniciado o avanzado, estas corrientes pueden precipitar el daño y con ello el colapso de la estructura.

Los agentes agresores que producen la corrosión, los más importantes son los cloruros y los sulfatos, ellos constituyen los iones que causan el deterioro o desaparición de la capa pasivante.

8. Iones cloruros

La presencia de iones cloruros en la masa del concreto pueden causar la despacivación del refuerzo con lo cual se produce la oxidación del refuerzo. Los cloruros llegan al concreto por dos causas principales a saber:

1. Se incorporan entre los componentes del concreto: cemento, agregados, agua o aditivos, y

2. Por la acción de ambientes marinos o sales de deshielo.

Como medio para controlar la incorporación de cloruros, las normas de construcción de cada país establecen las cuantías máximas que se aceptan, sin existir un valor universal debido a las características diferentes del resto de los componentes del concreto: agregados, cemento e inclusive la condición del refuerzo. Un valor medio aceptado es 0.4% en relación al peso de cemento o 0.05% a 0.1% en relación al peso del concreto.

Los cloruros llegan al interior de la masa del concreto y al refuerzo a través de la red de conductos microscópicos de los poros como se ilustra enseguida.

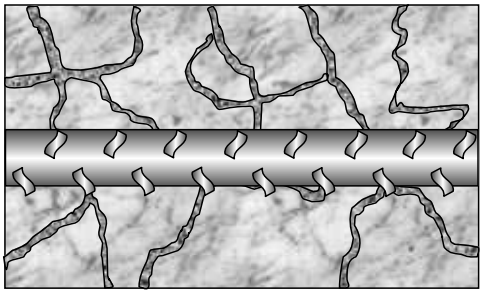


Figura 8.14 – Ilustración de la red de poros.

Los cloruros provenientes del ambiente marino afectan a las estructuras de concreto dependiendo de algunos factores como son: la cantidad necesaria de cloruros para causar la despasivación, tiempo que demoran en llegar hasta la armadura de refuerzo y la velocidad de corrosión con posterioridad a su inicio.

La cantidad de cloruros para conseguir la despasivación es un valor diferente según si el concreto se encuentra en estado plástico o endurecido.

Figura 8.15 – Daño severo por corrosión en un pilote de concreto.

La investigación que debe darse para determina el tiempo que los cloruros demoran en llegar al refuerzo está relacionado con la calidad del concreto y el espesor del recubrimiento con lo cual se puede determinar la velocidad de avance de los cloruros utilizando una de las leyes de difusión de Fick que establece:

$$x_{cl} = k_{cl}\sqrt{t}$$

en donde: x_{cl} = espacio o distancia de penetración de los cloruros,

k_{cl} = constante que depende de la clase de concreto y del medio ambiente,

t_{cl} = tiempo.

9. Patologías por la presencia de sulfatos

Las patologías por la presencia de los sulfatos en el concreto constituyen una de los principales factores que afectan la durabilidad y puede producirse por diversas formas pero especialmente por el contacto directo con aguas o terrenos con alto contenido de sulfatos. Los sulfatos son las sales del anión SO_4= presentes en aguas freáticas residuales, industriales, en el suelo y en el mar. También pueden encontrarse por la descomposición de sustancias orgánicas albuminoideas que contengan azufre en su molécula. Los abonos pueden aumentar el contenido de sulfato de los suelos y al estar diseminados en el terreno incrementan la oxidación del azufre. Las

materias fecales y las aguas negras contienen gran cantidad de sulfatos al igual que los pantanos, lagos y aguas superficiales, siendo los sulfatos más peligrosos los de amonio, calcio magnesio y sodio. Si el agua que está en contacto con la pasta contiene sulfatos, se puede causar la degradación del concreto por lixiviación.

Los daños en el concreto se presentan principalmente por fisuraciones, disgregaciones, perdida de integridad que hace finalmente que el agregado se suelte rodeado de una sustancia gelatinosa. Se presenta ruptura en las esquinas y aristas con la presencia de fisuraciones, disgregación y pérdida de cohesión. Dependiendo de la estructura, puede presentarse mayor porosidad y si se trata de tanques, el aumento de permeabilidad se verá reflejado en mayores filtraciones

Los procesos que acompañan los daños por sulfatos pueden ocurrir por cualquiera de las siguientes razones:

1. La transformación del hidróxido de calcio (cal libre) del cemento endurecido en sulfato de calcio hidratado y su cristalización (yeso). Al reaccionar el anión sulfato del agua con el $Ca(OH)_2$ liberado por el cemento, se forma el yeso lo cual es nocivo al depositarse en los poros del concreto en donde se cristaliza con la absorción de dos moléculas de agua lo cual ejerce una acción expansiva y produce su desmoronamiento. Ese aumento es del 17.7%.

2. La transformación de los aluminatos de calcio hidratado en sulfoaluminatos cálcico hidratados (etringita) que es poco soluble y crea fuertes tensiones por el aumento de volumen del orden de 2.3 veces el tamaño original. Este efecto no se presentaría si el concreto en estado plástico hidratara completamente al aluminato tricálcico lo cual casi no ocurre. Ahora, si al concreto se le adiciona cloruro cálcico como aditivo, el sulfoaluminato cálcico se forma mas rápidamente, debido a la solubilidad del C_3A. La degradación es causada principalmente por el aluminato tricálcico del cemento formándose un sulfo-aluminato cálcico hidratado de gran complejidad y poco soluble. Este compuesto cristaliza absorbiendo 31 moléculas de agua y creando fuertes presiones internas, a causa del aumento de volumen. Dicha sal compleja es llamada sal de Michaelis-Candlot-Deval, o también llamada etringita.

Estos dos procesos producen reacciones expansivas que por tal razón causan fisuraciones y deterioro progresivo que facilitan el acceso del agua agresiva.

3. La descomposición de los silicatos de calcio hidratados. En este caso se produce una perdida importante de resistencia pero la reacción no es

expansiva. Se produce una disminución de pH del cemento y por tal causa se inicia la descomposición de los silicatos de calcio hidratado.

En la naturaleza los sulfatos que más se presentan son: el sulfato cálcico (yeso), sulfato magnésico y sulfato sódico.

El sulfato cálcico solo produce el segundo de los procesos descritos con la formación de etringita, con el sulfato sódico se pueden presentar los dos primeros procesos y con el sulfato magnésico se pueden producir los tres procesos. La reacción más severa se presenta con el sulfato magnésico, presente en el agua de mar, pudiendo aumentarse los daños por la reacción del hidróxido de magnesio con el gel de sílice.

El agua con sulfatos en disolución es tanto más agresiva sobre el concreto cuanto más presión exista. De igual forma, a igualdad de contenido de sulfatos, el agua en movimiento es más agresiva que la que se encuentra en reposo o estancada.

Las patologías descritas sugieren la importancia de estudiar el terreno donde se realizará la construcción evaluando las características químicas con lo cual se podrá definir el tipo y dosificación del cemento a emplear, fabricar un concreto denso para lo cual se requiere una relación agua/cemento baja y para su puesta apropiada en obra, utilizar super plastificante puesto que un concreto bien vaciado de baja relación A/C duplica su condición de durabilidad ante el mismo grado de agresividad.

10. Carbonatación

La carbonatación se presenta cuando el dióxido de carbono contenido en la atmósfera reacciona con los componentes alcalinos del concreto produciendo el Carbonato Cálcico y la disminución del pH que se evidencia con el indicador de fenolftaleina.

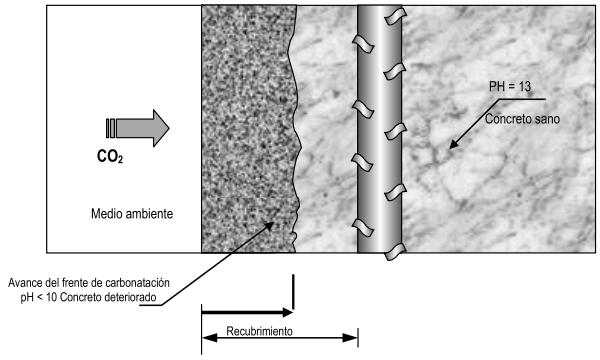


Figura 8.16 - Fenómeno de la carbonatación.

Se denomina frente de carbonatación la profundidad hasta donde se haya producido la carbonatación y si ésta llega hasta el nivel de los aceros de refuerzo se produce la despasivación generalizada produciendo la corrosión.

La velocidad de avance del frente de carbonatación depende de:

a. Relación A/C
b. Contenido de humedad
c. Materia carbonatable

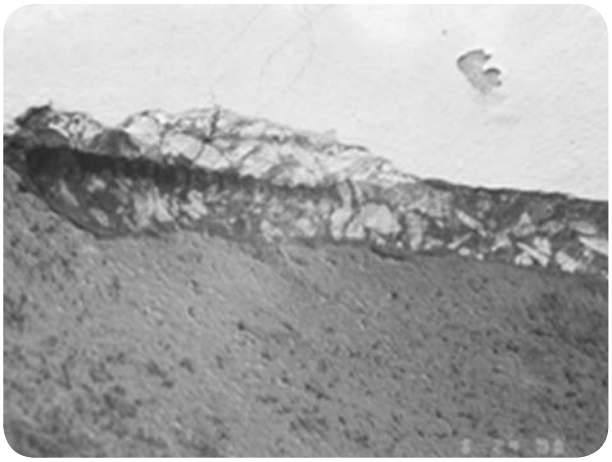


Figura 8.17 - Daño por corrosión asociada a la carbonatación.

Es muy importante el contenido de humedad puesto que si los poros están secos, el CO_2 no podrá reaccionar y si están completamente saturados, su penetración es muy lenta debido a la baja solubilidad del CO_2 en el agua. Las condiciones que facilitan la carbonatación se presentan cuando los poros están parcialmente llenos, es decir entre el 50 y 80%.

De igual manera, la investigación que debe darse para determina el tiempo que el frente de carbonatación demora en llegar al refuerzo está relacionado con la calidad del concreto y el espesor del recubrimiento con lo cual se puede determinar utilizando de nuevo una de las leyes de difusión de Fick que establece:

$$x_{CO2} = k_{CO2}\sqrt{t}$$

en donde: x_{CO2} = espacio recorrido por el frente de carbonatación,

k_{CO2} = constante que depende de la clase de concreto y del medio ambiente,

t = tiempo.

De acuerdo con el mecanismo de deterioro se puede comprender que los concretos porosos se carbonatan con mucha facilidad. Cuando los poros son muy pequeños ellos permanecen saturados de humedad e impiden la carbonatación.

11. Lixiviación por aguas blandas

El calcio que contiene el concreto puede disolverse mediante un proceso denominado lixiviación el cual puede degradar al concreto por la destrucción de los demás componentes del concreto. Esa degradación la puede propiciar aguas totalmente puras, libres de sales, por aguas blandas que tengan pocas impurezas o por aguas de condensación industrial, aguas lluvias, etc.

Los concretos elaborados con cemento Pórtland se destruyen cuando el contenido de CaO del cemento se reduce en más del 20% por causa de la lixiviación con lo cual se presenta la corrosión del acero al perderse la capa pasivadora y estar expuesto directamente a la intemperie.

La manifestación externa de la lixiviación se presenta por medio de eflorescencias blancas crecientes sobre la superficie del concreto especialmente en zonas tales como desagües, grietas, hormigueros, coqueras, etc. Cuando el daño ya es avanzado por la salida del CaO, se forman estalactitas y estalagmitas.

Figura 8.17 – Lixiviaciones del óxido de calcio en una placa de parqueaderos.

12. Consecuencias de la corrosión

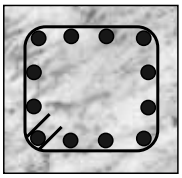
Los efectos de la corrosión pueden sintetizarse en los siguientes puntos:

En el acero se presenta una disminución de su sección con el compromiso de la resistencia mecánica del elemento al que pertenece. En el concreto se causa fisuraciones, grietas, desprendimientos y degradación del material. En el concreto y el acero al perderse la adherencia y sus efectos sobre la estructura.

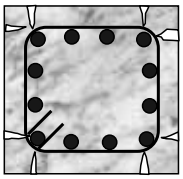
Los productos de la corrosión causan un incremento de volumen que generan tensiones en el concreto circundante y producen agrietamientos en el elemento, inclusive con desprendimiento del recubrimiento del acero.

Figura 8.18 y 8.19 – Daño en columnas de un edificio por causa de los efectos de la corrosión.

Las gráficas siguientes explican el mecanismo de formación de grietas en diversos elementos de acuerdo con la posición de las barras de refuerzo.



Columna sana



Columna deteriorada por corrosión

Figura 8.20 – Ilustración de daño por corrosión en columnas.

Figura – Deterioro de vigas por causa de la corrosión del refuerzo.

Figura 8.21 - Daño por oxidación del refuerzo en una viga.

Figura 8.22 - Daño por oxidación del refuerzo en una placa.

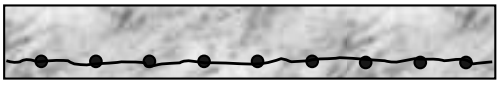


Figura 8.23 – Daño por oxidación en una placa.

13. Influencia de las fisuras

Cuando se presentan las fisuras, ellas constituyen el camino rápido para la penetración de las sustancias agresivas al interior de la masa del concreto y al acero de refuerzo. En presencia de humedad, se inicia la corrosión dado que las zonas a la intemperie actúan como ánodo frente a las adyacentes que actúan como cátodo.

Figura 8.24 – Los daños por oxidación obligan a grandes inversiones para su corrección por lo que la mejor medida está relacionada con el conocimiento de los mecanismos de daño para evitar su aparición.

14. Prevención y protección contra la corrosión

El mejor medio para controlar la corrosión en la construcción de estructuras nuevas consiste en la debida protección del acero de refuerzo mediante la capa pasivadora ya que junto con el adecuado recubrimiento y la compacidad del concreto son los mejores medios de defensa contra la corrosión.

Para edificaciones existentes el control dependerá del diagnóstico de las patologías presentes pero no existe suficiente garantía del uso de algunos productos que aun cuando se utilizan, no demuestran las bondades que de ellos se pregonan.

En la actualidad se utilizan pinturas, revestimientos, protección catódica e inhibidores. Se encuentran en fase experimentación la remoción de cloruros y realcalinización.

Las técnicas de control de la corrosión se realizan por protección directa del refuerzo o por protección indirecta a través del concreto.

Protección directa

Recubrimientos epóxicos

Se utilizan recubrimientos tipo barrera mediante epóxicos y galvanizados sin ser muy buenos los resultados, inclusive en algunos casos la corrosión producida ha sido severa.

Protección catódica

Se considera que es el único sistema de protección efectivo puesto que el mecanismo consiste en que toda la armadura se convierta en cátodo y el ánodo (de aluminio y zinc) es un elemento dispuesto aparte. La protección puede hacerse por ánodos de sacrificio o por corriente impresa que es el método de mayor uso en el mundo.

Protección indirecta

Morteros de reparación

El mortero se elabora con agregado fino seleccionado y un cementante que puede ser cemento Pórtland o epóxicos, acrílicos, u otro polímero orgánico. Se puede agregar algunos aditivos como microsílica, ceniza volante, escoria de alto horno, etc. Para garantizar la reparación es necesario remover la totalidad del concreto deteriorado y retirar o limpiar todo el acero oxidado.

Revestimientos

Los revestimientos son barreras físicas entre los que se encuentran los revestimientos hidrófugos, membranas orgánicas prefabricadas, polímeros impregnados sobre el hormigón y otros como epóxicos, acrílicos y poliuretanos.

Extracción de los iones cloruros

Este método actualmente en investigación consiste en aprovechar la carga negativa del ión cloruro por lo que se atrae mediante un ánodo externo hasta la superficie con lo cual se restablece la pasivación del refuerzo.

Realcalinización

Se trata de un método que incrementa el pH en los poros del concreto mediante la incorporación de un electrolito alcalino desde el exterior. Así se repasiva la armadura.

Inhibidores de corrosión

La protección del acero de refuerzo se logra mediante la incorporación de una sustancia a la masa de concreto pudiendo afectar sus propiedades mecánicas. Es una buena alternativa para concretos utilizados en zonas o ambientes marinos. El inhibidor más utilizado es el nitrito de calcio. A pesar de su uso no se tienen resultados completamente favorables a largo plazo.

GERDAU
DIACO

anexos

1. SISTEMA INTERNACIONAL DE MEDIDAS - SI

Reglamento Colombiano de Construcciones Norma Sismo Resistente NSR - 10

Unidades básicas:

Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundos	s

Unidades suplementarias:

Ángulo plano	radian	rad

Unidades derivadas:

Frecuencia	hertz	Hz	1 s^{-1}
Fuerza	newton	N	1 kg o m/s^2
Esfuerzo	pascal	Pa	1 N/m^2
Trabajo	joule	J	1 N o m

Prefijos:

exa	E	10^{18}	1 000 000 000 000 000 000.
peta	P	10^{15}	1 000 000 000 000 000.
tera	T	10^{12}	1 000 000 000 000.
giga	G	10^{9}	1 000 000 000.
mega	M	10^{6}	1 000 000.
kilo	k	10^{3}	1 000.
mili	m	10^{-3}	0.001
micro	m	10^{-6}	0.000 001
nanon	n	10^{-9}	0.000 000 001
pico	p	10^{-12}	0.000 000 000 001
femto	f	10^{-15}	0.000 000 000 000 001
atto	a	10^{-18}	0.000 000 000 000 000 001

Sintaxis:

- Nunca se debe intercambiar minúsculas y mayúsculas: kg y no KG.
- Los símbolos no se alteran en el plural: cm y no cms.
- Nunca se debe dejar espacio entre el prefijo y el símbolo: MPa y no M Pa.
- No se agrega punto al final del símbolo, a menos que sea el punto final de una oración.
- Los símbolos no son abreviaturas. Por tanto: Pa y no Pasc. m y no mts.
- En los productos de símbolos se utiliza un punto levantado: kN o m.
- En los cocientes se utiliza un solo símbolo de división, o pueden utilizarse potencias negativas: kg/(mos) ó kgom-1os-1 pero no kg/m/s.
- Puede utilizarse punto o coma para indicar los decimales, dependiendo de la costumbre local. Esto significa que ninguno de los dos se debe utilizar para separar grupos de dígitos. Para esto se utiliza un espacio en blanco.

  Ejemplo: g = 9.806 650 m/s2.

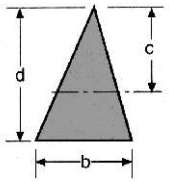
" Para números menores de la unidad nunca se omite el cero inicial: 0,123 y no ,123.

" Debe existir un espacio entre el número y las unidades, excepto cuando se trata de grados.

" La unidad cuyo nombre es el apellido de un científico se emplea con mayúsculas: N, Pa, etc… pero cuando se refiere a alias no se utiliza la mayúscula: pascales, etc.

PROPIEDADES DE LAS SECCIONES - 1

TRIÁNGULO
Eje de momentos a través del centro de gravedad



$$A = \frac{bd}{2}$$

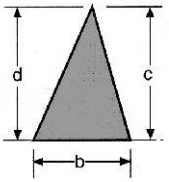
$$c = \frac{2d}{3}$$

$$I = \frac{bd^3}{36}$$

$$S = \frac{bd^2}{24}$$

$$r = \frac{d}{\sqrt{18}}$$

TRIÁNGULO
Eje de momentos en la base



$$A = \frac{bd}{2}$$

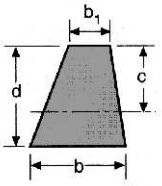
$$c = d$$

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

$$S = \frac{bd^2}{12}$$

$$r = \frac{d}{\sqrt{6}}$$

TRAPECIO
Eje de momentos a través del centro de gravedad



$$A = \frac{d(b + b_1)}{2}$$

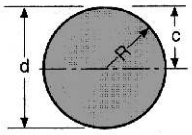
$$c = \frac{d(2b + b_1)}{3(b + b_1)}$$

$$I = \frac{d^3(b^2 + 4bb_1 + b_1^2)}{36(b + b_1)}$$

$$S = \frac{d^2(b^2 + 4bb_1 + b_1^2)}{12(2b + b_1)}$$

$$r = \frac{d}{6(b + b_1)}\sqrt{2(b^2 + 4bb_1 + b_1^2)}$$

CÍRCULO
Eje de momentos a través del centro



$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \pi R^2$$

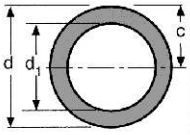
$$c = \frac{d}{2} = R$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi R^4}{4}$$

$$S = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{\pi R^3}{4}$$

$$r = \frac{d}{4} = \frac{R}{2}$$

CÍRCULO HUECO
Eje de momentos a través del centro



$$A = \frac{\pi(d^2 - d_1^2)}{4}$$

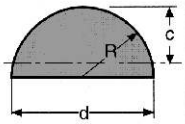
$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{\pi(d^4 - d_1^4)}{64}$$

$$S = \frac{\pi(d^4 - d_1^4)}{32d}$$

$$r = \frac{\sqrt{d^2 + d_1^2}}{4}$$

MEDIO CÍRCULO
Eje de momentos a través del centro de gravedad



$$A = \frac{\pi R^2}{2}$$

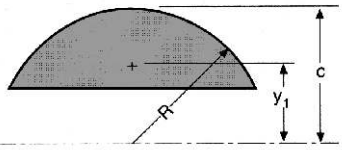
$$c = R\left(1 - \frac{4}{3\pi}\right)$$

$$I = R^4\left(\frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi}\right)$$

$$S = \frac{R^3(9\pi^2 - 64)}{24(3\pi - 4)}$$

$$r = R\frac{\sqrt{9\pi^2 - 64}}{6\pi}$$

SEGMENTO DE UN CÍRCULO
Eje de momentos a través del centro del círculo



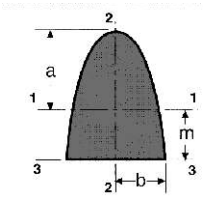
$$A = \frac{\pi R^2}{2} - y_1\sqrt{R^2 - y_1^2} - R^2\sin^{-1}\frac{y_1}{R}$$

$$c = \frac{2(R^2 - y_1^2)^{3/2}}{3A}$$

$$I = \frac{\pi R^4}{8} + \frac{y_1}{2}\sqrt{(R^2 - y_1^2)^3} - \frac{R^2}{4}\left(y_1\sqrt{R^2 - y_1^2} + R^2\sin^{-1}\frac{y_1}{R}\right)$$

PROPIEDADES DE LAS SECCIONES - 2

PARÁBOLA



$$A = \frac{4}{3}ab$$

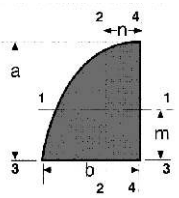
$$m = \frac{2}{5}a$$

$$I_{1\text{-}1} = \frac{16}{175}a^3b$$

$$I_{2\text{-}2} = \frac{4}{15}ab^3$$

$$I_{3\text{-}3} = \frac{32}{105}a^3b$$

MEDIA PARÁBOLA



$$A = \frac{2}{3}ab$$

$$m = \frac{2}{5}a$$

$$n = \frac{3}{8}b$$

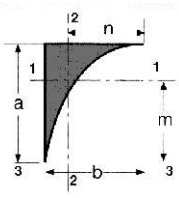
$$I_{1\text{-}1} = \frac{8}{175}a^3b$$

$$I_{2\text{-}2} = \frac{19}{480}ab^3$$

$$I_{3\text{-}3} = \frac{16}{105}a^3b$$

$$I_{4\text{-}4} = \frac{2}{15}ab^3$$

COMPLEMENTO DE MEDIA PARÁBOLA



$$A = \frac{1}{3}ab$$

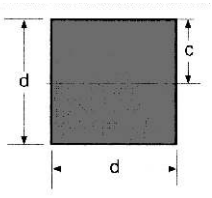
$$m = \frac{7}{10}a$$

$$n = \frac{3}{4}b$$

$$I_{1\text{-}1} = \frac{37}{2100}a^3b$$

$$I_{2\text{-}2} = \frac{1}{80}ab^3$$

CUADRADO
Eje de momentos a través del centro



$$A = d^2$$

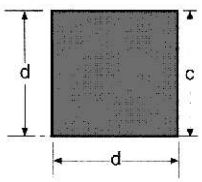
$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{d^4}{12}$$

$$S = \frac{d^3}{6}$$

$$r = \frac{d}{\sqrt{12}} = 0.288675d$$

CUADRADO
Eje de momentos en la base



$$A = d^2$$

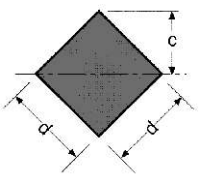
$$c = d$$

$$I = \frac{d^4}{3}$$

$$S = \frac{d^3}{3}$$

$$r = \frac{d}{\sqrt{3}} = 0.577350d$$

CUADRADO
Eje de momentos sobre la diagonal



$$A = d^2$$

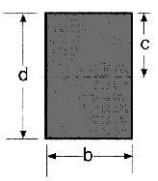
$$c = \frac{d}{\sqrt{2}} = 0.707107d$$

$$I = \frac{d^4}{12}$$

$$S = \frac{d^3}{6\sqrt{2}} = 0.117851d^3$$

$$r = \frac{d}{\sqrt{12}} = 0.288675d$$

RECTÁNGULO
Eje de momentos a través del centro



$$A = bd$$

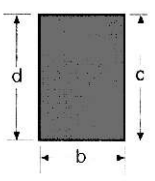
$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

$$S = \frac{bd^2}{6}$$

$$r = \frac{d}{\sqrt{12}} = 0.288675d$$

RECTÁNGULO
Eje de momentos en la base



$$A = bd$$

$$c = d$$

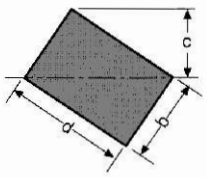
$$I = \frac{bd^3}{3}$$

$$S = \frac{bd^2}{3}$$

$$r = \frac{d}{\sqrt{3}} = 0.577350d$$

PROPIEDADES DE LAS SECCIONES - 3

RECTÁNGULO
Eje de momentos sobre la diagonal



$$A = bd$$

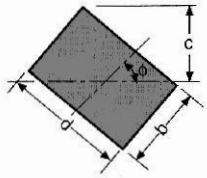
$$c = \frac{bd}{\sqrt{b^2 + d^2}}$$

$$I = \frac{b^3 d^3}{6(b^2 + d^2)}$$

$$S = \frac{b^2 d^2}{6\sqrt{b^2 + d^2}}$$

$$r = \frac{bd}{\sqrt{6(b^2 + d^2)}}$$

RECTÁNGULO
Eje de momentos sobre cualquier línea que pase por el centro de gravedad



$$A = bd$$

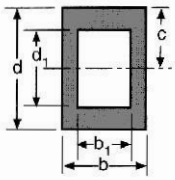
$$c = \frac{b\sin\phi + d\cos\phi}{2}$$

$$I = \frac{bd(b^2\sin^2\phi + d^2\cos^2\phi)}{12}$$

$$S = \frac{bd(b^2\sin^2\phi + d^2\cos^2\phi)}{6(b\sin\phi + d\cos\phi)}$$

$$r = \sqrt{\frac{b^2\sin^2\phi + d^2\cos^2\phi}{12}}$$

RECTÁNGUO HUECO
Eje de momentos a través del centro de gravedad



$$A = bd - b_1 d_1$$

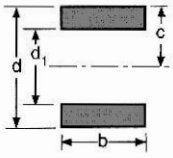
$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{bd^3 - b_1 d_1^3}{12}$$

$$S = \frac{bd^3 - b_1 d_1^3}{6d}$$

$$r = \sqrt{\frac{bd^3 - b_1 d_1^3}{12A}}$$

RECTÁNGULOS IGUALES
Eje de momentos a través del centro de gravedad



$$A = b(d - d_1)$$

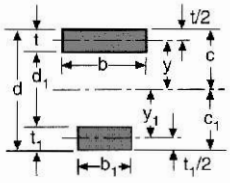
$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{b(d^3 - d_1^3)}{12}$$

$$S = \frac{b(d^3 - d_1^3)}{6d}$$

$$r = \sqrt{\frac{d^3 - d_1^3}{12(d - d_1)}}$$

RECTÁNGULOS DESIGUALES
Eje de momentos a través del centro de gravedad



$$A = bt + b_1 t_1$$

$$c = \frac{1/2bt^2 + b_1 t_1 (d - 1/2\, t_1)}{A}$$

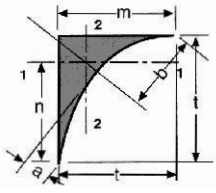
$$I = \frac{bt^3}{12} + bty^2 + \frac{b_1 t_1^3}{12} + b_1 t_1 y_1^2$$

$$S = \frac{I}{c}$$

$$S_1 = \frac{I}{c_1}$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

TRAMO PARABÓLICO EN ÁNGULO RECTO



$$a = \frac{t}{2\sqrt{2}}$$

$$b = \frac{t}{\sqrt{2}}$$

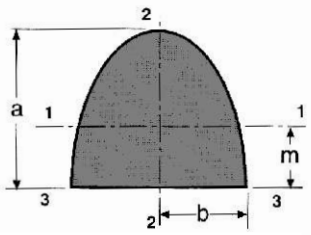
$$A = \frac{1}{6}t^2$$

$$m = n = \frac{4}{5}t$$

$$I_{1-1} = I_{2-2} = \frac{11}{2100}t^4$$

PROPIEDADES DE LAS SECCIONES - 4

*Media Elipse

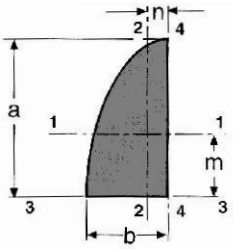


$$A = \frac{1}{2}\pi ab \qquad m = \frac{4a}{3\pi}$$

$$I_1 = a^3b\left(\frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi}\right) \qquad I_2 = \frac{1}{8}\pi ab^3$$

$$I_3 = \frac{1}{8}\pi a^3 b$$

*Cuarto de Elipse

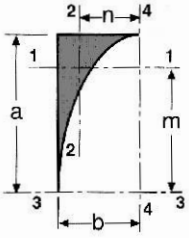


$$A = \frac{1}{4}\pi ab \qquad m = \frac{4a}{3\pi} \qquad n = \frac{4b}{3\pi}$$

$$I_1 = a^3b\left(\frac{\pi}{16} - \frac{4}{9\pi}\right) \qquad I_3 = \frac{1}{16}\pi a^3 b$$

$$I_2 = ab^3\left(\frac{\pi}{16} - \frac{4}{9\pi}\right) \qquad I_4 = \frac{1}{16}\pi ab^3$$

*Complemento de Elipse

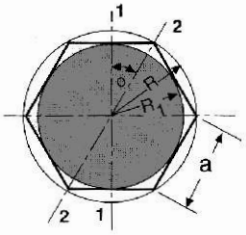


$$A = ab\left(1 - \frac{\pi}{4}\right) \qquad m = \frac{a}{6\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)} \qquad n = \frac{b}{6\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)}$$

$$I_1 = a^3b\left(\frac{1}{3} - \frac{\pi}{16} - \frac{1}{36\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)}\right)$$

$$I_2 = ab^3\left(\frac{1}{3} - \frac{\pi}{16} - \frac{1}{36\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)}\right)$$

Polígono Regular Eje momentos a través del centro



n = número de lados

$$o = \frac{180^\circ}{n}$$

$$a = 2\sqrt{R^2 - R_1^2}$$

$$R = \frac{a}{2\sin\phi} \qquad R_1 = \frac{a}{2\tan\phi}$$

$$A = \frac{1}{4}na^2\cot o = \frac{1}{2}nR^2\sin 2\phi = nR_1^2\tan\phi$$

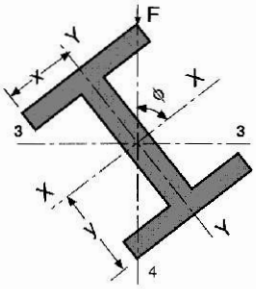
$$I_1 = I_2 = \frac{A(6R^2 - a^2)}{24} = \frac{A(12R_1^2 + a^2)}{48}$$

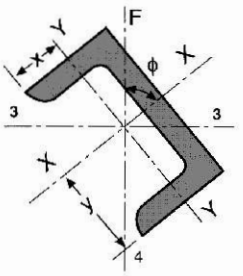
$$r_1 = r_2 = \sqrt{\frac{6R^2 - a^2}{24}} = \sqrt{\frac{12R_1 + a^2}{48}}$$

*** Para Obtener la propiedades de medios círculos, cuarto de círculo y complemento circular substituya a=b=R**

PROPIEDADES DE LAS SECCIONES - 5

PERFILES: VIGAS Y CANALES
Fuerza trasversal oblicua a través del centro de gravedad





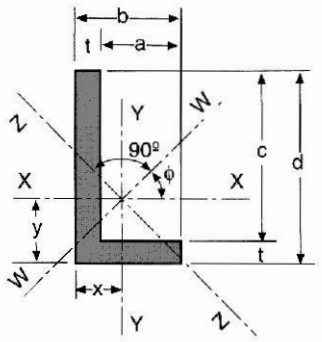
$$I_3 = I_x \operatorname{sen}^2\phi + I_y \cos^2\phi$$

$$I_4 = I_x \cos^2\phi + I_y \operatorname{sen}^2\phi$$

$$f_b = M\left(\frac{y}{I_x}\operatorname{sen}\phi + \frac{x}{I_y}\cos\phi\right)$$

M = Momento flector debido a la fuerza F

PERFILES: ÁNGULO
Eje de Momento a través del centro de gravedad



Z – Z es el eje de mínima inercia

$$\tan 2\phi = \frac{2K}{I_y - I_x}$$

$$A = t(b+c)$$

$$x = \frac{b^2 + ct}{2(b+c)}$$

$$y = \frac{d^2 + at}{2(b+c)}$$

$$K = \text{Producto de inercia alrededor XX y YY} = \pm\left(\frac{abcdt}{4(b+c)}\right)$$

$$I_X = \frac{1}{3}\left[t(d-y)^3 + by^3 - a(y-t)^3\right]$$

$$I_Y = \frac{1}{3}\left[t(d-x)^3 + dx^3 - c(x-t)^3\right]$$

$$I_Z = I_x \operatorname{sen}^2\phi + I_y \cos^2\phi + K \operatorname{sen}2\phi$$

$$I_W = I_x \cos^2\phi + I_y \operatorname{sen}^2\phi - K \operatorname{sen}2\phi$$

DIAGRAMA DE VIGAS

VIGA SIMPLEMENTE APOYADA - CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA

$$R = V \ldots\ldots = \frac{wl}{2}$$

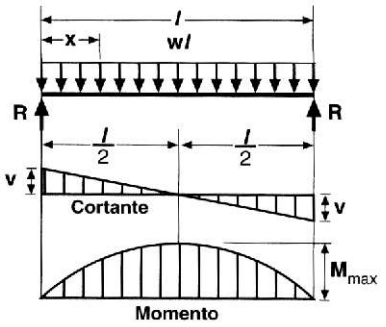
$$V_x \ldots\ldots = w\left(\frac{l}{2} - x\right)$$

$$M \text{ max. en el centro} \ldots\ldots = \frac{wl^2}{8}$$

$$M_x \ldots\ldots = \frac{wx}{2}(l - x)$$

$$\Delta \text{ max. en el centro} \ldots\ldots = \frac{5wl^4}{384\,EI}$$

$$\Delta_x \ldots\ldots = \frac{wx}{24EI}(l^3 - 2lx^2 + x^3)$$



VIGA SIMPLEMENTE APOYADA - CARGA CONCENTRADA EN EL CENTRO

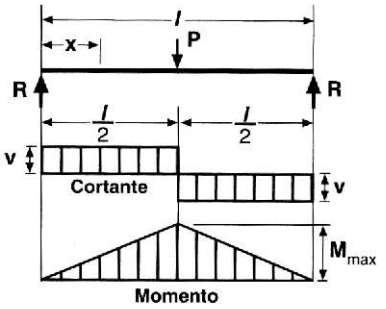
$$R = V \ldots\ldots = \frac{P}{2}$$

$$M \text{ max. bajo la carga} \ldots\ldots = \frac{Pl}{4}$$

$$M_x \left(\text{cuando } x < \frac{l}{2}\right) \ldots\ldots = \frac{Px}{2}$$

$$\Delta \text{ max. bajo la carga} \ldots\ldots = \frac{Pl^3}{48\,EI}$$

$$\Delta_x \left(\text{cuando } x < \frac{l}{2}\right) \ldots\ldots = \frac{Px}{48\,EI}(3l^2 - 4x^2)$$



VIGA SIMPLEMENTE APOYADA - CARGA CONCENTRADA EN CUALQUIER PUNTO

$$R_1 = V_1 \text{ (max. } a < b) \ldots\ldots = \frac{Pb}{l}$$

$$R_2 = V_2 \text{ (max. } a > b) \ldots\ldots = \frac{Pa}{l}$$

$$M \text{ max. bajo la carga} \ldots\ldots = \frac{Pab}{l}$$

$$M_x \text{ (cuando } x < a) \ldots\ldots = \frac{Pbx}{l}$$

$$\Delta_a \text{ bajo la carga} \ldots\ldots = \frac{Pa^2b^2}{3\,EIl}$$

$$\Delta_x \text{ (cuando } x < a) \ldots\ldots = \frac{Pbx}{6\,EIl}(l^2 - b^2 - x^2)$$

$$\Delta \text{ max.} \left(x = \sqrt{\frac{a(a+2b)}{3}} \quad a > b\right). = \frac{Pab(a+2b)\sqrt{3a(a+2b)}}{27\,EIl}$$

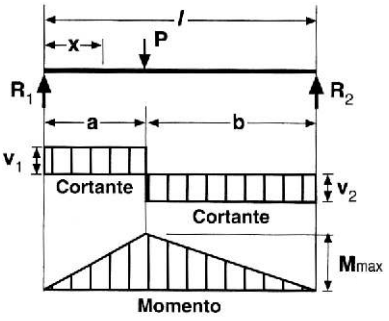


DIAGRAMA DE VIGAS

VIGA SIMPLEMENTE APOYADA - DOS CARGAS CONCENTRADAS COLOCADAS SIMÉTRICAMENTE

$R = V$ ..... $= P$

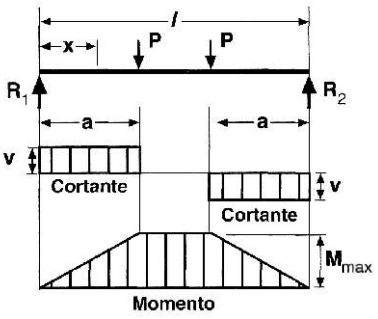
M max. entre cargas ..... $= Pa$

M_x (cuando $x < a$) ..... $= Px$

Δ max. en el centro ..... $= \frac{Pa}{24\,EI\ell}(3\ell^2 - 4a^2)$

Δ_x (cuando $x < a$) ..... $= \frac{Px}{6\,EI}(3\ell a - 3a^2 - x^2)$

Δ_x [cuando $x > a$; $y < (\ell - a)$] ... $= \frac{Pa}{6\,EI}(3\ell x - 3x^2 - a^2)$



VIGA SIMPLEMENTE APOYADA - DOS CARGAS DESIGUALES NO COLOCADAS SIMËTRICAMENTE

$R_1 = V_1$ ..... $= \frac{P_1(\ell - a) + P_2 b}{\ell}$

$R_2 = V_2$ ..... $= \frac{P_1 a + P_2(\ell - b)}{\ell}$

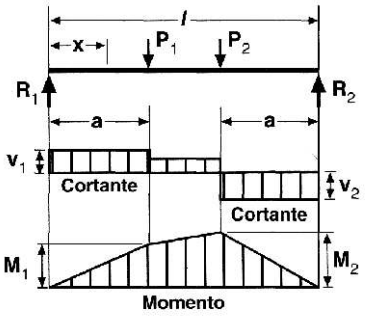
V_x cuando $x > a$; $y < (\ell - b)$ ... $= R_1 - P_1$

M_1 (max. $R_1 < P_1$) ..... $= R_1 a$

M_2 (max. $R_2 < P_2$) ..... $= R_2 b$

M_x (cuando $x < a$) ..... $= R_1 x$

M_x [cuando $x > a$; $y < (\ell - b)$] $= R_1 x - P_1 (x - a)$



VIGA SIMPLEMENTE APOYADA - CARGA UNIFORME PARCIALMENTE DISTRIBUIDA

$R_1 = V_1$ (max. $a < c$) ..... $= \frac{wb}{2\ell}(2c + b)$

$R_2 = V_2$ (max. $a > c$) ..... $= \frac{wb}{2\ell}(2a + b)$

V_x [cuando $x > a$, $y < (a+b)$] .. $= R_1 - w\,(x - a)$

M max. $\left(x = a + \frac{R_1}{w}\right)$ ..... $= R_1\left(a + \frac{R_1}{2w}\right)$

M_x (cuando $x < a$) ..... $= R_1 x$

M_x [cuando $x > a$, $y < (a + b)$] $= R_1 x - \frac{w}{2}(x - a)^2$

M_x [cuando $x > (a + b)$] ..... $= R_2\,(\ell - x)$

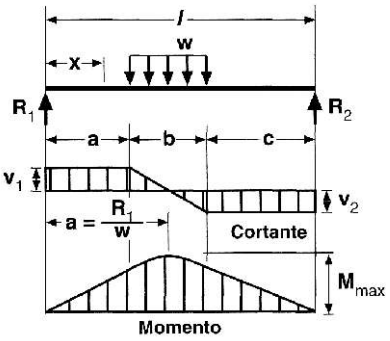


DIAGRAMA DE VIGAS

VIGA SIMPLEMENTE APOYADA
CARGA QUE SE INCREMENTA UNIFORMEMENTE HASTA UN EXTREMO

$$R_1 = V_1 \text{ .....} = \frac{W}{3}$$

$$R_2 = V_2 \text{ max. .....} = \frac{2W}{3}$$

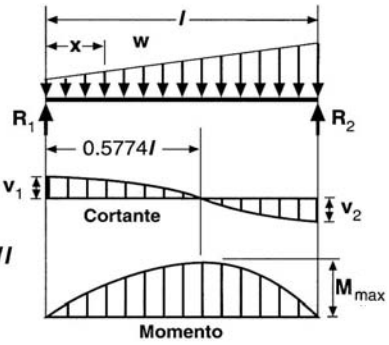
$$V_x \text{ .....} = \frac{W}{3} - \frac{Wx^2}{l^2}$$

$$M \text{ max.} \left(x = \frac{l}{\sqrt{3}} = 0.5774l\right) \text{ ....} = \frac{2Wl}{9\sqrt{3}} = 0.1283Wl$$

$$M_x \text{ .....} = \frac{Wx}{3l^2}(l^2 - x^2)$$

$$\Delta \text{ max.} \left(x = l\sqrt{1-\sqrt{\frac{8}{15}}} = 0.5193l\right) = 0.01304\,\frac{Wl^3}{EI}$$

$$\Delta_x \text{ .....} = \frac{Wx}{180\,EIl^2}(3x^4 - 10l^2x^2 + 7l^4)$$



VIGA SIMPLEMENTE APOYADA
CARGA QUE SE INCREMENTA UNIFORMEMENTE HASTA EL CENTRO

$$R = V \text{ .....} = \frac{W}{2}$$

$$V_x \left(\text{cuando } x < \frac{l}{2}\right) \text{ .....} = \frac{W}{2l^2}(l^2 - 4x^2)$$

$$M \text{ max. en el centro .....} = \frac{Wl}{6}$$

$$M_x \left(\text{cuando } x < \frac{l}{2}\right) \text{ .....} = Wx\left(\frac{1}{2} - \frac{2x^2}{3l^2}\right)$$

$$\Delta \text{ max. en el centro .....} = \frac{Wl^3}{60\,EI}$$

$$\Delta_x \text{ .....} = \frac{Wx}{480\,EIl^2}(5l^2 - 4x^2)^2$$

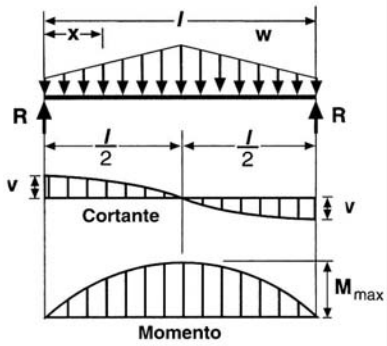
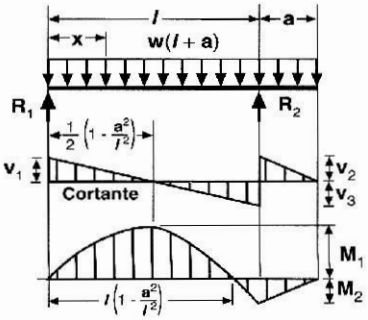


DIAGRAMA DE VIGAS

VIGA CON VOLADIZO EN UN EXTREMO
CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA



Momento

$R_1 = V_1 \ldots = \frac{w}{2l}(l^2 - a^2)$

$R_2 = V_2 + V_3 \ldots = \frac{w}{2l}(l + a)^2$

$V_2 \ldots = wa$

$V_3 \ldots = \frac{w}{2l}(l^2 + a^2)$

V_x entre apoyos $\ldots = R_1 - wx$

V_{x1} para el voladizo $\ldots = w(a - x_1)$

$M_1\left[x = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{a^2}{l^2}\right)\right] \ldots = \frac{w}{8l^2}(l + a)^2 (l - a)^2$

$M_2 (R_2) \ldots = \frac{wa^2}{2}$

M_x entre apoyos $\ldots = \frac{wx}{2l}(l^2 - a^2 - xl)$

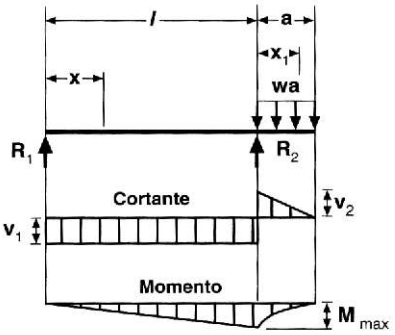
M_{x1} para el voladizo $\ldots = \frac{w}{2}(a - x_1)^2$

Δ_x entre apoyos $\ldots = \frac{wx}{24\,EIl}(l^4 - 2l^2x^2 + lx^3 - 2a^2l^2 + 2a^2x^2)$

Δ_{x1} para el voladizo $\ldots = \frac{wx}{24\,EIl}(4a^2l - l^3 + 6a^2x_1 - 4ax_1^2 + x_1^3)$

DIAGRAMA DE VIGAS

VIGA CON VOLADIZO EN UN EXTREMO
CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA EN EL VOLADIZO



$R_1 = V_1 \ldots = \frac{wa^2}{2l}$

$R_2 = V_1 + V_2 \ldots = \frac{wa}{2l}(2l + a)$

$V_2 \ldots = wa$

V_{x1} para el voladizo $\ldots = w(a - x_1)$

M max. $(R_2) \ldots = \frac{wa^2}{2}$

M_x entre apoyos $\ldots = \frac{wa^2x}{2l}$

M_{x1} para el voladizo $\ldots = \frac{w}{2}(a - x_1)^2$

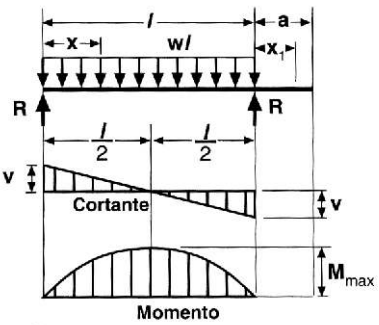
Δ max. para el voladizo $x_1 = a \ldots = \frac{wa^3}{24\,EI}(4l + 3a)$

Δ max. $\left(\text{entre apoyos } x = \frac{l}{\sqrt{3}}\right) . = \frac{wa^2l^2}{18\sqrt{3}\,EI} = 0.03208\,\frac{wa^2l^2}{EI}$

Δ_x entre apoyos $\ldots = \frac{wa^2x}{12\,EIl}(l^2 - x^2)$

Δ_{x1} para el voladizo $\ldots = \frac{wx_1}{24\,EI}(4a^2l + 6a^2x_1 - 4ax_1^2 + x_1^3)$

VIGA CON VOLADIZO EN UN EXTREMO
CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA ENTRE APOYOS



$R = V \ldots = \frac{wl}{2}$

$V_x \ldots = w\left(\frac{l}{2} - x\right)$

M max. en el centro $\ldots = \frac{wl^2}{8}$

$M_x \ldots = \frac{wx}{2}(l - x)$

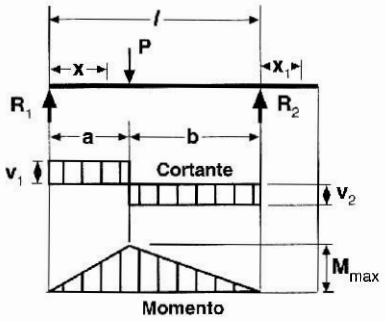
Δ max. en el centro $\ldots = \frac{5wl^4}{384\,EI}$

$\Delta_x \ldots = \frac{wx}{24\,EI}(l^3 - 2lx^2 + x^3)$

$\Delta_{x1} \ldots = \frac{wl^3x_1}{24\,EI}$

DIAGRAMA DE VIGAS

VIGA CON VOLADIZO EN UN EXTREMO
CARGA CONCENTRADA EN CUALQUIER PUNTO ENTRE APOYOS



$R_1 = V_1$ (max. $a < b$) ..... $= \dfrac{Pb}{l}$

$R_2 = V_2$ (max. $a > b$) ..... $= \dfrac{Pa}{l}$

M max. bajo la carga ..... $= \dfrac{Pab}{l}$

M_x $(x < a)$ ..... $= \dfrac{Pbx}{l}$

Δ_a bajo la carga ..... $= \dfrac{Pa^2b^2}{3\,EIl}$

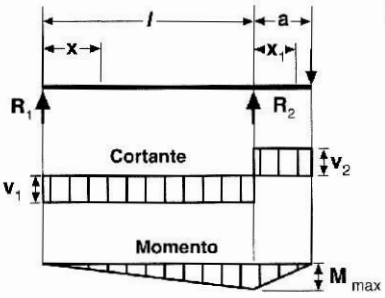
$\Delta_x\,(x < a)$ ..... $= \dfrac{Pbx}{6\,EIl}\,(l^2 - b^2 - x^2)$

Δ max. $\left[x = \sqrt{\dfrac{a\,(a+2b)}{3}}\;;\; (a > b)\right] = \dfrac{Pab\,(a+2b)\sqrt{3a\,(a+2b)}}{27\,EIl}$

$\Delta_x\,(x > a)$ ..... $= \dfrac{Pa\,(l-x)}{6\,EIl}\,(2lx - x^2 - a^2)$

Δ_{x1} ..... $= \dfrac{Pabx_1}{6\,EIl}\,(l + a)$

VIGA CON VOLADIZO EN UN EXTREMO
CARGA CONCENTRADA EN EL EXTREMO DEL VOLADIZO



$R_1 = V_1$ ..... $= \dfrac{Pa}{l}$

$R_2 = V_1 + V_2$ ..... $= \dfrac{P}{l}(l + a)$

V_2 ..... $= P$

M max. (R_2) ..... $= Pa$

M_x entre apoyos ..... $= \dfrac{Pax}{l}$

M_{x1} para el voladizo ..... $= P\,(a - x_1)$

Δ max. para el voladizo: $x_1 = a$ .. $= \dfrac{Pa^2}{3\,EIl}\,(l + a)$

Δ_x entre apoyos ..... $= \dfrac{Pax}{6\,EIl}\,(l^2 - x^2)$

Δ max. $\left(\text{entre apoyos: } x = \dfrac{l}{\sqrt{3}}\right)$. $= \dfrac{Pa^2\,l^2}{9\sqrt{3}\,EI} = 0.06415\,\dfrac{Pa^2l^2}{EI}$

Δ_{x1} para el voladizo ..... $= \dfrac{Px_1}{6\,EI}\,(2al + 3ax_1 - x_1^2)$

DIAGRAMA DE VIGAS

VIGA EN VOLADIZO - CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA

$R = V$ ..... $= wl$

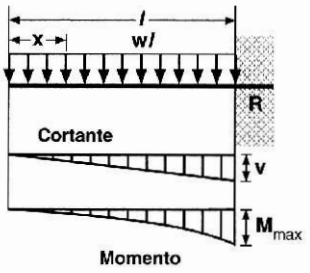
V_x ..... $= wx$

M max. en el empotramiento .... $= \frac{wl^2}{2}$

M_x ..... $= \frac{wx^2}{2}$

Δ max. en el extremo libre ..... $= \frac{wl^4}{8\,EI}$

Δ_x ..... $= \frac{w}{24\,EI}(x^4 - 4l^3x + 3l^4)$



VIGA EN VOLADIZO - CARGA CONCENTRADA EN EL EXTREMO LIBRE

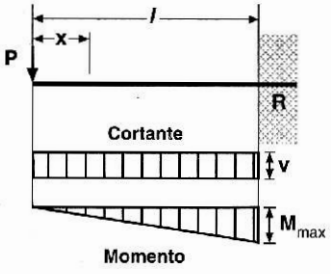
$R = V$ ..... $= P$

M max. en el empotramiento .... $= Pl$

M_x ..... $= Px$

Δ max. en el extremo libre ..... $= \frac{Pl^3}{3\,EI}$

Δ_x ..... $= \frac{P}{6\,EI}(2l^3 - 3l^2x + x^3)$



VIGA EN VOLADIZO - CARGA CONCENTRADA EN CUALQUIER PUNTO

$R = V$ ..... $= P$

M max. en el empotramiento .... $= Pb$

M_x (cuando $x > a$) ..... $= P\,(x - a)$

Δ max. en el extremo libre ..... $= \frac{Pb^2}{6\,EI}(3l - b)$

Δ_a bajo la carga ..... $= \frac{Pb^3}{3\,EI}$

Δ_x (cuando $x < a$) ..... $= \frac{Pb^2}{6EI}(3l - 3x - b)$

Δ_x (cuando $x > a$) ..... $= \frac{P(l - x)^2}{6\,EI}(3b - l + x)$

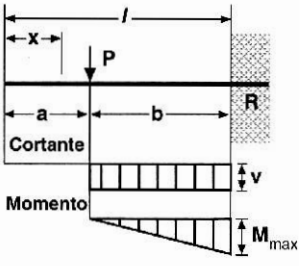


DIAGRAMA DE VIGAS

VIGA EN VOLADIZO
CARGA QUE SE INCREMENTA UNIFORMEMENTE HASTA EL EXTREMO DEL EMPOTRAMIENTO

$$R = V \ldots\ldots = w$$

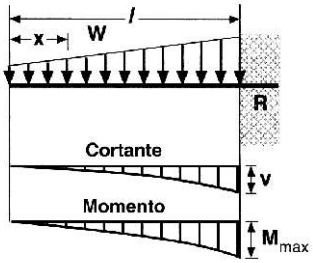
$$V_x \ldots\ldots = w\frac{x^2}{l^2}$$

$$M \text{ max. en el empotramiento } \ldots\ldots = \frac{wl}{3}$$

$$M_x \ldots\ldots = \frac{wx^3}{3l^2}$$

$$\Delta \text{ max. en el extremo libre } \ldots\ldots = \frac{wl^3}{15\,EI}$$

$$\Delta_x \ldots\ldots = \frac{w}{60\,EIl^2}(x^5 - 5l^4x + 4l^5)$$



VIGA EMPOTRADA EN UN EXTREMO Y APOYADA EN EL OTRO
CARGA UNIFORMEMNTE DISTRIBUIDA

$$R_1 = V_1 \ldots\ldots = \frac{3wl}{8}$$

$$R_2 = V_2 \max \ldots\ldots = \frac{5wl}{8}$$

$$V_x \ldots\ldots = R_1 - wx$$

$$M \text{ max.} \ldots\ldots = \frac{wl^2}{8}$$

$$M_1\left(x = \frac{3}{8}l\right) \ldots\ldots = \frac{9}{128}\,wl^2$$

$$M_x \ldots\ldots = R_1x - \frac{wx^2}{2}$$

$$\Delta \text{ max.}\left[x = \frac{l}{16}(1 + \sqrt{33}) = 0.4215l\right] = \frac{wl^4}{185\,EI}$$

$$\Delta_x \ldots\ldots = \frac{wx}{48\,EI}(l^3 - 3lx^2 + 2x^3)$$

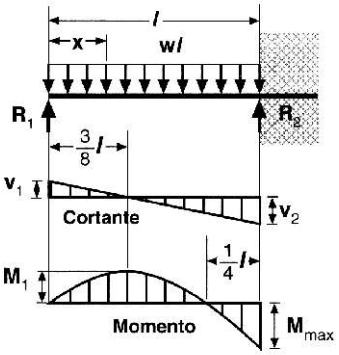
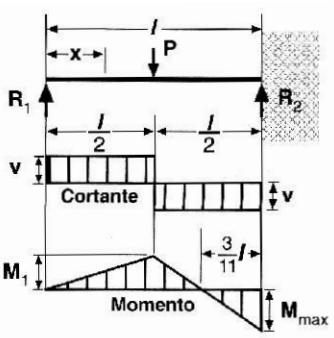


DIAGRAMA DE VIGAS

VIGA EMPOTRADA EN UN EXTREMO Y APOYADA EN EL OTRO
CARGA CONCENTRADA EN EL CENTRO



$$R_1 = V_1 \text{ .....} = \frac{5P}{16}$$

$$R_2 = V_2 \text{ max. .....} = \frac{11P}{16}$$

$$M \text{ max. en el empotramiento ....} = \frac{3Pl}{16}$$

$$M_1 \text{ bajo la carga .....} = \frac{5Pl}{32}$$

$$M_x \left(\text{cuando } x < \frac{l}{2}\right) \text{.....} = \frac{5Px}{16}$$

$$M_x \left(\text{cuando } x > \frac{l}{2}\right) \text{.....} = P\left(\frac{l}{2} - \frac{11x}{16}\right)$$

$$\Delta \text{ max.} \left(\text{en } x = l\sqrt{\frac{1}{5}} = 0.44721l\right) = \frac{Pl^3}{48\,EI\sqrt{5}} = 0.009317\,\frac{Pl^3}{EI}$$

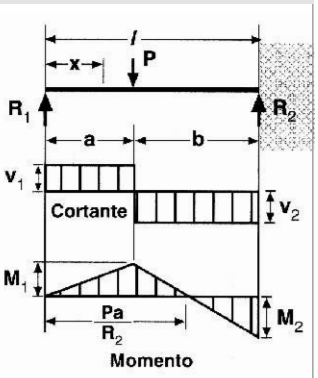
$$\Delta_x \text{ bajo la carga .....} = \frac{7Pl^3}{768\,EI}$$

$$\Delta_x \left(\text{cuando } x < \frac{l}{2}\right) \text{.....} = \frac{Px}{96\,EI}\,(3l^2 - 5x^2)$$

$$\Delta_x \left(\text{cuando } x > \frac{l}{2}\right) \text{.....} = \frac{P}{96\,EI}\,(x - l)^2\,(11x - 2l)$$

DIAGRAMA DE VIGAS

VIGA EMPOTRADA EN UN EXTREMO Y APOYADA EN EL OTRO
CARGA CONCENTRADA EN CUALQUIER PUNTO



$R_1 = V_1 \ldots = \frac{Pb^2}{2l^3}(a + 2l)$

$R_2 = V_2 \ldots = \frac{Pa}{2l^3}(3l^2 - a^2)$

M_1 bajo la carga $\ldots = R_1 a$

M_2 en el empotramiento $\ldots = \frac{Pab}{2l^2}(a + l)$

M_x (cuando $x < a$) $\ldots = R_1 x$

M_x (cuando $x > a$) $\ldots = R_1 x - P(x - a)$

Δ_a bajo la carga $\ldots = \frac{Pa^2b^3}{12\,EIl^3}(3l + a)$

Δ max. $\left(\text{cuando } a < 0.414l;\ x = \frac{l^2 + a^2}{3l^2 - a^2}\right) = \frac{Pa}{3\,EI}\frac{(l^2 - a^2)^3}{(3l^2 - a^2)^2}$

Δ max. $\left(\text{cuando } a > 0.414l;\ x = l\sqrt{\frac{a}{2l + a}}\right) = \frac{Pab^2}{6\,EI}\sqrt{\frac{a}{(2l + a)}}$

Δ_x (cuando $x < a$) $\ldots = \frac{Pb^2x}{12\,EIl^3}(3al^2 - 2lx^2 - ax^2)$

Δ_x (cuando $x > a$) $\ldots = \frac{Pa}{12\,EIl^3}(l - x)^2\ (3l^2x - a^2x - 2a^2l)$

DIAGRAMA DE VIGAS

VIGA EMPOTRADA EN SUS EXTREMOS
CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDA

$$R = V \text{ .....} = \frac{wl}{2}$$

$$V_x \text{ .....} = w\left(\frac{l}{2} - x\right)$$

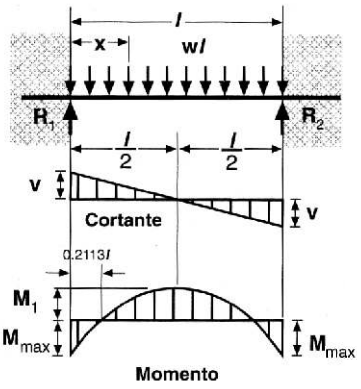
$$M \text{ max. en los extremos .....} = \frac{wl^2}{12}$$

$$M_1 \text{ en el centro .....} = \frac{wl^2}{24}$$

$$M_x \text{ .....} = \frac{w}{12}(6lx - l^2 - 6x^2)$$

$$\Delta \text{ max. en el centro .....} = \frac{wl^4}{348\,EI}$$

$$\Delta_x \text{ .....} = \frac{wx^2}{24\,EI}(l - x)^2$$



VIGA EMPOTRADA EN SUS EXTREMOS
CARGA CONCENTRADA EN CUALQUIER PUNTO

$$R_1 = V_1 \text{ (max. } \rightarrow a < b) \text{ .....} = \frac{Pb^2}{l^3}(3a + b)$$

$$R_2 = V_2 \text{ (max. } \Rightarrow a > b) \text{ .....} = \frac{Pa^2}{l^3}(a + 3b)$$

$$M_1 \text{ (max. } \Rightarrow a < b) \text{ .....} = \frac{Pab^2}{l^2}$$

$$M_2 \text{ (max. } \Rightarrow a > b) \text{ .....} = \frac{Pa^2b}{l^2}$$

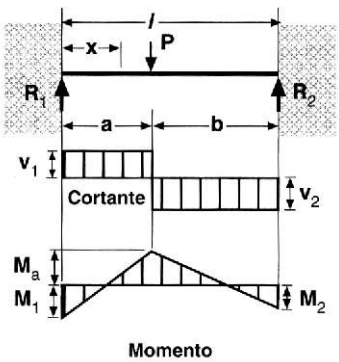
$$M_a \text{ bajo la carga .....} = \frac{2Pa^2b^2}{l^3}$$

$$M_x \text{ (cuando } x < a) \text{ .....} = R_1x - \frac{Pab^2}{l^2}$$

$$\Delta \text{ max. } \left(\text{cuando } a > b \;\; x = \frac{2al}{3a + b}\right) = \frac{2Pa^3b^2}{3\,EI\,(3a + b)^2}$$

$$\Delta_a \text{ bajo la carga .....} = \frac{Pa^3b^3}{3EIl^3}$$

$$\Delta_x \text{ (cuando } x < a) \text{ .....} = \frac{Pb^2x^2}{6\,EIl^3}(3al - 3ax - bx)$$



FACTORES DE CONVERSIÓN

MULTIPLÍQUENSE	POR	PARA OBTENER
Acres	0.404687	Hectáreas
Acres	4.04687×10^{3}	Kilómetros cuadrados
Áreas	1076.39	Pies cuadrados
Barril de cemento	376	Libras
Barril de cemento	170.5506	Kilogramos
Barril de petróleo	42	Galones USA
Barril de petróleo	159	Litros
Caballo de fuerza	0.98632	Caballos de fuerza H.P.
Caballo de fuerza (USA)	1.01387	Caballos de fuerza (métrico)
Centígrados	1.8 + 32°	Grados Fahrenheit
Centímetros	3.28083×10^{-2}	Pies
Centímetros	0.3937	Pulgadas
Centímetros cuadrados	0.1550	Pulgadas cuadradas
Centímetros cúbicos	3.53145×10^{-5}	Pies cúbicos
Centímetros cúbicos	6.102×10^{-2}	Pies cúbicos
Centímetros cuartos	0.024	Pies cuartas
Galones (USA)	0.832702	Galones imperiales ingleses
Galones (USA)	3.78543	Litros
Galones imperiales ingleses	0.160538	Pies cúbicos
Galones imperiales ingleses	1.20091	Galones USA
Galones imperiales ingleses	4.54596	Litros
Grades angulares	0.0174533	Radianes
Grades Fahrenheit	0.5556 x (°F - 32°)	Centígrados Celsius
Gramos (métrico)	2.20462×10^{-3}	Libras avoirdupois
Hectáreas	2.47104	Acres
Hectáreas	1.076387×10^{5}	Pies cuadrados
Hectáreas	3.86101×10^{-3}	Millas cuadradas
Kilogramos	2.20462	Libras
Kilogramos	9.84206×10^{-4}	Toneladas brutas b largas
Kilogramos	1.10231×10^{-3}	Toneladas netas o cortas
Kilogramos - metros	7.233	Libras - pies
Kilogramos - centímetros	0.86796	Libras - yardas
Kilogramos por metro	0.671971	Libras por pie
Kilogramos por metro	2.015913	Libras por yarda
Kilogramos por cm3	14.2234	Libras por pulgada cuadrada
Kilogramos por m2	0.204817	Libras por pie cuadrado
Kilogramos per m2	9.14362×10^{-5}	Toneladas largas por pie cuadrado
Kilogramos por mm2	14.2234	Libras por pulgada cuadrada
Kilogramos por mm3	0.634973	Toneladas largas por pulgada^{2}

MULTIPLÍQUENSE	POR	PARA OBTENER
Kilogramos por m^3	6.24283×10^{-2}	Libras por pie cúbico
Kilómetros	0.62137	Millas terrestres
Kilómetros	0.53959	Millas náuticas
Kilómetros cuadrados	247.104	Acres
Kilómetros cuadrados	0.3861	Millas cuadradas
Libras avoirdupois	453.592	Gramos
Libras avoirdupois	0.453592	Kilogramos
Libras avoirdupois	4.464×10^{-4}	Toneladas brutas o largas
Libras avoirdupois	4.53592×10^{-4}	Toneladas métricas
Libras - pie	0.13826	Kilogramos - metros
Libras - pulgada	1.152127	Kilogramos - centímetros
Libras por pie	1.48816	Kilogramos por metro
Libras por yarda	0.49605	Kilogramos por metro
Libras por pie cuadrado	4.88241	Kilogramos por metro cuadrado
Libras por pie cúbico	16.0184	Kilogramos por metro cubico
Libras por pulgada cuadrada	7.031×10^{-2}	Kilogramos por centímetro cuadrado
Libras par pulgada cuadrada	7.031×10^{-4}	Kilogramos por milímetro cuadrado
Litros	0.219975	Galones imperiales ingleses
Litros	0.26417	Galones USA
Litros	3.53145×10^{-2}	Pies cúbicos
Metros	3.28083	Pies
Metros	39.37	Pulgadas
Metros	1.09361	Yardas
Metros	1.19048	Varas
Metros cuadrados	10.7639	Pies cuadrados
Metros cuadrados	1.19599	Yardas cuadradas
Metros cúbicos	35.3145	Pies cúbicos
Metros cúbicos	1.30794	Yardas cubicas
Milímetros	3.937×10^{-2}	Pulgadas
Milímetros cuadrados	1.55×10^{-3}	Pulgadas cuadradas
Millas terrestres	1.60935	Kilómetros
Millas terrestres	0.8684	Millas náuticas
Millas cuadradas	259	Hectáreas
Millas cuadradas	2.59	Kilómetros cuadrados
Millas náuticas	6080.204	Pies
Millas náuticas	1.85325	Kilómetros
Millas náuticas	1.1516	Millas terrestres
Pies	30.4801	Centímetros
Pies	0.304801	Metros
Pies	304.801	Kilómetros
Pies	1.64468×10^{-4}	Millas náuticas

MULTIPLÍQUENSE	POR	PARA OBTENER
Pies cuadrados	9.29034×10^{-4}	Áreas
Pies cuadrados	9.29034×10^{-6}	Hectáreas
Pies cuadrados	0.929034	Metros cuadrados
Pies cúbicos	2.8317×10^{4}	Centímetros cúbicos
Pies cúbicos	2.8317×10^{-2}	Metros cúbicos
Pies cúbicos	6.22905	Galones imperiales ingleses
Pies cúbicos	28.317	Litros
Pies cúbicos	2.38095×10^{-2}	Toneladas British Shipping
Pies cúbicos	0.025	Toneladas USA Shipping
Pulgadas	2.54001	Centímetros
Pulgadas	$2,54001 \times 10^{-2}$	Metros
Pulgadas	25.4001	Milímetros
Pulgadas cuadradas	6.45163	Centímetros cuadrados
Pulgadas cuadradas	615.163	Milímetros cuadrados
Pulgadas cúbicas	16.38716	Centímetros cúbicos
Pulgadas cuartas	41.623143	Centímetros cuartos
Radiantes	52.29578	Grados angulares
Saco de cemento americano	42.6376	Kilogramos
Saco de cemento americano	94	Libras
Saco de cemento mexicano	50	Kilogramos
Toneladas brutas o largas	1016.05	Kilogramos
Toneladas brutas o largas	2240	Libras
Toneladas brutas o largas	1.01605	Toneladas métricas
Toneladas brutas o largas	1.12	Toneladas netas o cortas
Toneladas largas por pie^2	1.09366×10^{-4}	Kilogramos por metro cuadrado
Toneladas largas por $pulg^2$	1.57494	Kilogramos por milímetro cuadrado
Toneladas netas o cortas	907.185	Kilogramos
Toneladas netas o cortas	0.89286	Toneladas brutas o largas
Toneladas netas o cortas	0.907185	Toneladas métricas
Toneladas métricas	2204.62	Libras
Toneladas métricas	0.98421	Toneladas brutas o largas
Toneladas métricas	1.10231	Toneladas netas o cortas
Toneladas British Shipping	42	Pies cúbicos
Toneladas British Shipping	0.952381	Toneladas USA Shipping
Toneladas USA Shipping	1.050	Toneladas British Shipping
Toneladas USA Shipping	40	Pies cúbicos
Yardas	0.914402	Metros
Yardas cuadradas	0.83613	Metros cuadrados
Yardas cúbicas	0.764559	Metros cúbicos
Varas	0.84	Metros

BIBLIOGRAFÍA

I Helene, Paulo R.L., Estructuras de Concreto, Projetar para a durabilidade. Durabilidad, Patología y Reparación de las estructuras de concreto. Curso Internacional, Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto IMCYC. México D.F. Noviembre 1996.

II Kumar Mehta P., Monteiro Paulo J.M. Concreto. Estrutura, propriedades e materiais. Projeto de divulgacao tecnológica CIMINAS/HOLDERCHEM. Empresas do Grupo "Holderbank".PINI. Sao Pulo, 1994

III ACI Committee 201. "Guide to Durable Concrete". ACI Manual of Practice. Part 1. Detroit, Michigan, USA 1982.

IV European Committee for Standarization (CEN), "Concrete. Performance, production and conformity". Draft. N° 17. 1997

V Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistentes NSR-98. Ley 400 de 1997.

VI ACI Committee 306. "Cold Weather Concreting". ACI Manual of Concrete Practice. Detroit, Michigan, USA 1983

VII ACI Committee 305. "Hot Weather Concreting". ACI Manual of Concrete Practice. Detroit, Michigan, USA 1982

VIII ACI Committee 211. "Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal and Heavyweght Concrete". ACI Manual of Concrete Practice. Part 1. Detroit, Michigan, USA 1985

IX ACI Committee 309. "Standard Practice for Consolidation of Concrete". ACI Manual of Concrete Practice Part 2. Detroit, Michigan, USA 1982

X ACI Committee 515. "A Guide to the use of Waterproofing, Damproofing, Protective, and Decorative Barrier Systems for Concrete Standard Practice for Consolidation of Concrete". ACI Manual of Concrete Practice Part 5. Detroit, Michigan, USA 1985

XI ACI Committee 116. " Cement and Concrete Terminology, SP-19" American Concrete Institute, Detroit, Michigan, USA

XII Temas Técnicos y Prácticos del Concreto. Guía para la Durabilidad del Concreto. Suplemento Mexicano del Informe del Comité ACI 201. Cemex. México, D.F. Noviembre de 1989. Versión actualizada en Abril de 1996.

Los Capítulos 7 y 8 se adaptan del Libro "Patologías de las Estructuras de Concreto Reforzado – Evaluación y Rehabilitación" Sin Publicar, cuyo autor es el Ing. Harold Alberto Muñoz.

Notas

Notas

Notas

Notas

Plantas

Bucaramanga
Chimitá Km. 3 Vía Café Madrid Girón
Telefax: (7) 676 1025 - 676 1022

Cartagena
Km. 9 Zona Industrial Mamonal
Telefax: (5) 668 5799

Cali
Carrera 37 N° 12A-63
Urbanización industrial Acopi - Yumbo
Tel.: (2) 651 4747
Fax: (2) 665 3725

Cota
Km 3. vía Siberia
Cota - Cundinamarca
PBX: (1) 628 6230

Duitama
Ciudadela Industrial
Tel.: (1) 763 8260 - 763 8261
Tel.: (1) 763 8264

Medellín
Calle 80 Sur N° 47F-36
PBX: (4) 301 0122

Muña
Autopista Sur Km 25 vía Sibaté
Tel.: (1) 719 8866
Fax.: (1) 719 8972

Pereira
Calle 32 N° 16-71 Dosquebradas
Telefax: (6) 322 6274 - 323 1023

Tocancipá
Vereda Tibitó Cundinamarca
PBX: (1) 878 6655

Tuta
Carretera Central del Norte Km 27
Vía Tunja - Paipa
Tel.: (8) 742 6501 - 742 5362

OFICINA PRINCIPAL
Bogotá, D.C. Calle 99 N° 10-19 piso 5
PBX: (1) 600 3900
Fax: (1) 601 7587
Linea nacional gratuita 01-8000-51-7001

www.gerdau.com.co

GERDAU
DIACO