

**Diseño de estructuras de**  
**CONCRETO ARMADO**  
**Tomo I**



---

España - México - Colombia - Chile - Ecuador - Perú - Bolivia - Uruguay - Guatemala - Costa Rica



## **Diseño de estructuras de concreto armado. Tomo I**

Autor: Ing. Juan Emilio Ortega García

© Derechos de autor registrados:

[Empresa Editora Macro EIRL](#)

© Derechos de edición, arte gráfico y diagramación reservados:

[Empresa Editora Macro EIRL](#)

**Corrección de estilo:**

Milton A. Gonzales M.

**Coordinación de arte y diseño:**

Alejandro Marcas León

**Diagramación:**

Paul Escobar Tantaleán

**Ilustración:**

Miguel Almeida Rojas

**Edición a cargo de:**

© [Empresa Editora Macro EIRL](#)

Av. Paseo de la República N.° 5613, Miraflores, Lima, Perú

☎ Teléfono: (511) 748 0560

✉ E-mail: [proyecto@editorialmacro.com](mailto:proyecto@editorialmacro.com)

🌐 Página web: [www.editorialmacro.com](http://www.editorialmacro.com)

Primera edición: setiembre de 2014

Tiraje: 1000 ejemplares

**Impresión**

Talleres gráficos de la Empresa Editora Macro EIRL

Jr. San Agustín N.° 612-624, Surquillo, Lima, Perú

ISBN N.° 978-612-304-217-2

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N.° 2014-13304

**Prohibida la reproducción parcial o total, por cualquier medio o método, de este libro sin previa autorización de la Empresa Editora Macro EIRL.**

## JUAN EMILIO ORTEGA GARCIA

Ingeniero civil por la Universidad Ricardo Palma, con estudios de posgrado en Estructuras de Acero, en la Pontificia Universidad Católica del Perú; posgrado en Estructuras y Construcciones de Acero y Concreto, en la Universidad Central y la Universidad Simón Bolívar de Venezuela; estudios de posgrado en Planeamiento, Control y Economía en la Industria de la Construcción, en la City University de Londres; y estudios de Diseño de Estructuras de Acero, en el Westminster College de Londres. Posee una maestría en Construcción y Gestión Ambiental por la Universidad Nacional Federico Villarreal.

Ha sido profesor del curso «Estructuras en Acero, Concreto y Supervisión de Obras», en las escuelas de pre y posgrado de las universidades Ricardo Palma y Federico Villarreal, así como profesor del curso «Estructuras de Concreto y Acero», en la Universidad Metropolitana de Caracas. Asimismo, ha sido expositor principal de los cursos «Diseño y Supervisión en Estructuras de Concreto y Acero» y «Estructuras de Concreto y Acero», en CAPECO, ACI, el Colegio de Ingenieros y en distintas universidades a nivel nacional.

Es autor de los libros *Manual de estructuras de concreto armado e Inspección de estructuras de concreto armado* para la editorial CAPECO, así como de diversos libros sobre estructuras de concreto, supervisión de obras y estructuras de acero, utilizados en distintas universidades a nivel nacional e internacional.

Finalmente, el autor ha trabajado como ingeniero estructural en Proyecto Perú - BIRF, Plantas Industriales INDUPERÚ y Selection Trust, en Londres, Inglaterra; por otro lado, se ha desempeñado como jefe de estructuras en INELECTRA S. A. y en la Empresa Constructora DELPRE, ambas en Venezuela. Además, ha ocupado el cargo de supervisor de obras para diversas entidades públicas y privadas, como: CORDECALLAO, Región Callao, Ministerio del Interior, Ministerio de Transportes, Ministerio de Vivienda, Región Lima, ENAPU Perú, EMAPE, Región Puno, Municipalidad de Lima, SEDAPAL, ODEBRECH, Graña y Montero, CESEL y Nippon.

# DEDICATORIA

## DEDICATORIA

*A mi querido padre*

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1. CONCRETO ARMADO .....</b>	<b>13</b>
1.1 Concreto.....	13
1.1.1 Tipos de concreto y usos del mismo .....	14
1.1.2 Requisitos que debe cumplir el concreto .....	14
1.1.3 Formación y proceso de formación del concreto .....	14
1.1.4 Tipos de cemento Portland, principales usos y especificaciones .....	15
1.1.5 Agregados .....	19
1.2 Resistencia y deformación a compresión del concreto.....	19
1.3 Resistencia a tracción del concreto.....	21
1.4 Resistencia al esfuerzo cortante y compresión combinadas: el Círculo de Mohr .....	21
1.4.1 Comportamiento del esfuerzo biaxial .....	22
1.4.2 Comportamiento del esfuerzo de compresión triaxial .....	22
1.5 Confinamiento del concreto por el refuerzo .....	24
1.5.1 Concreto confinado por espirales.....	27
1.5.2 Concreto confinado por estribos rectangulares .....	28
1.6 Retracción o contracción .....	31
1.7 Concreto ligero .....	31
1.8 Acero de refuerzo.....	31
1.8.1 Tipos de acero de refuerzo .....	32
1.8.2 Calidades y resistencias del acero .....	33
1.8.3 Curvas esfuerzo-deformación .....	34
1.8.4 Aceros peruanos .....	37
<b>CAPÍTULO 2. ANÁLISIS, DISEÑO, RESISTENCIA Y SERVICIABILIDAD.....</b>	<b>39</b>
2.1 Métodos de diseño .....	39
2.2 Cargas .....	39
2.3 Métodos de análisis .....	40
2.4 Redistribución de momentos negativos en elementos continuos de concreto armado sujetos a flexión.....	40

2.5 Definiciones y consideraciones importantes.....	41
2.6 Resistencia de diseño.....	42
2.7 Resistencia requerida para la combinación de cargas.....	44

### **CAPÍTULO 3. FLEXIÓN .....47**

3.1 Generalidades y consideraciones fundamentales.....	47
3.2 Casos de flexión en secciones rectangulares con acero en tracción .....	51
3.2.1 Estado elástico no agrietado:.....	51
3.2.2 Estado elástico agrietado.....	53
3.2.3 Estado de rotura .....	55
3.2.4 Cuantía máxima de refuerzo .....	59
3.2.5 Cuantía mínima de refuerzo.....	60
3.3 Vigas rectangulares con acero en tracción (diseño a la rotura) o por resistencia .....	63
3.4 Tipos de sollicitación (tres casos).....	69
3.5 Relaciones a flexión, separación de varillas y recubrimientos .....	78
3.5.1 Separación de varillas por temperatura.....	79
3.5.2 Límites para el espaciamiento del refuerzo .....	79
3.5.3 Protección de concreto para el refuerzo o recubrimiento .....	80
3.6 Flexión en secciones simétricas de forma cualquiera.....	82
3.6.1 Consideraciones principales.....	82
3.6.2 Pasos a seguir para resolver el problema .....	82
3.7 Control de deflexiones .....	84
3.7.1 Métodos para controlar las deflexiones.....	84
3.8 Variaciones en información de corte según capítulo 11 ACI-2011.....	91
3.9 Transferencia de momentos a columnas.....	92

### **CAPÍTULO 4. LOSAS ARMADAS EN UN SENTIDO.....93**

4.1 Generalidades .....	93
4.2 Método simplificado de análisis .....	93
4.2.1 Condiciones para su aplicación.....	93
4.3 Losas sólidas o macisas armadas en una sola dirección .....	96
4.4 Losas nervadas armadas en una sola dirección.....	101
4.4.1 Características .....	101

4.4.2 Refuerzo mínimo y máximo: .....	103
4.4.3 Espaciamiento máximo de varillas (por control de grietas).....	103
4.4.4 Recubrimiento mínimo y mínimo espesor de losa superior para resistencia al fuego .....	104
4.5 Diseño de aligerados o losas aligeradas (armadas en una sola dirección).....	109

## **CAPÍTULO 5. DISEÑO DE VIGAS CON ACERO EN TRACCIÓN Y COMPRESIÓN....115**

5.1 Generalidades .....	115
5.2 Análisis .....	115
5.3 Cedencia total del acero.....	117
5.4 Acero a compresión no cede.....	118
5.5 Falla balanceada.....	118

## **CAPÍTULO 6. DISEÑO DE VIGAS “T” .....129**

6.1 Generalidades .....	129
6.2 Interpretación de la recomendaciones del ACI-2011 para vigas “T” (con acero en tracción solamente) .....	130
6.3 Diseño de vigas “T”.....	130
6.4 Análisis de vigas “T” .....	131
6.5 Ejemplos .....	134

## **CAPÍTULO 7. RESISTENCIA AL CORTE Y TRACCIÓN DIAGONAL .....139**

7.1 Generalidades .....	139
7.1.1 Deducción del esfuerzo cortante .....	139
7.2 Comportamiento del cortante y esfuerzo que toma el concreto .....	140
7.2.1 Equilibrio en el tramo de cortante de una viga .....	141
7.2.2 Tipos de falla a cortante .....	143
7.2.3 Fórmulas prácticas proporcionadas por el ACI.....	144
7.3 Comportamiento y esfuerzo de corte que toma la armadura .....	144
7.3.1 Análisis del refuerzo de acero en el alma.....	145
7.4 Corte en viga según el ACI - 2011 .....	147
7.4.1 Tipos de refuerzo por corte .....	148
7.4.2 El refuerzo resistente por cortante “Vs” .....	149
7.4.3 Límites de separación para el refuerzo por corte .....	149
7.4.4 Refuerzo mínimo por corte .....	150

7.4.5 Diseño de refuerzo por corte.....	150
7.4.6 Cortante en losas y zapatas .....	151
7.5 Ejemplos .....	152

## **CAPÍTULO 8. ADHERENCIA, ANCLAJE Y LONGITUD DE DESARROLLO .....157**

8.1 Adherencia y anclaje.....	157
8.2 Adherencia por flexión.....	158
8.3 Análisis y comportamiento de la resistencia por adherencia.....	159
8.4 Efectos de la adherencia por la ubicación de las varillas.....	161
8.5 Fallas por fisuración .....	161
8.5.1 Confinamiento.....	161
8.6 Longitud de anclaje o desarrollo del refuerzo .....	162
8.7 Longitud de anclaje en varillas con acero en tracción.....	162
8.8 Longitud de anclaje en varillas con acero en compresión .....	165
8.9 Ganchos estándar .....	165
8.10 Empalmes de varillas .....	168
8.11 Problemas de aplicación .....	169

## **CAPÍTULO 9. ESCALERAS .....173**

9.1 Generalidades .....	173
9.2 Dimensionamiento de escaleras y cargas según las normas vigentes.....	174
9.3 Tipos de escaleras .....	175

## **CAPÍTULO 10. COLUMNAS.....185**

10.1 Generalidades .....	185
10.1.1 Dimensiones de diseño para elementos sometidos a compresión.....	185
10.1.2 Límites del refuerzo (áreas de acero).....	186
10.2 Tipos de columna.....	186
10.2.1 Columnas cortas .....	186
10.2.2 Análisis de columnas rectangulares con acero en dos caras .....	189
10.2.3 Análisis de columnas rectangulares con acero en las cuatro caras .....	203
10.2.4 Columnas cortas sometidas a carga axial y flexión biaxial.....	208
10.2.5 Columnas largas o esbeltas .....	219



10.2.6 Columnas sometidas a cargas axiales .....	220
10.2.7 Columnas sometidas a flexocompresión.....	222
10.2.8 Diseño de columnas esbeltas de concreto armado según el A.C.I .....	228
Apéndice.....	237
Bibliografía.....	239



# INTRODUCCIÓN

El presente texto es un compendio actualizado de acuerdo al reglamento ACI - 2011 y contiene múltiple información utilizada durante los años en que el autor ejerció la docencia a nivel pre y posgrado, tanto en el Perú como en otros países de Europa y América, y se especializó en numerosas obras con estructuras de concreto armado en diversos países.

En los primeros capítulos se efectúa un análisis conciso del desarrollo histórico del concreto, la proporción de los materiales constitutivos, el comportamiento básico a largo plazo y el desarrollo de factores de seguridad, que proporcionará una introducción adecuada al tema del concreto reforzado. También se desarrollan los experimentos fundamentales de laboratorio, el conocimiento esencial de la proporción de mezclas, los requerimientos de resistencia y de funcionamiento, y los conceptos de confiabilidad en cuanto al rendimiento de las estructuras, que son temas básicos para todo estudiante de Ingeniería. El estudio del control de calidad y aseguramiento del mismo, proporcionará al lector una eficaz introducción al enfoque sistemático, necesario para administrar el desarrollo de sistemas estructurales de concreto.

Puesto que el concreto es un material no elástico, con la no linealidad de su comportamiento (que comienza en una etapa muy temprana de carga) se presenta un enfoque de resistencia última o «estado límite a proximidad de falla». Se proporciona un tratamiento adecuado de las verificaciones de las condiciones de servicio en términos del agrietamiento y deformaciones, así como los efectos a largo plazo; de esta manera, el diseño deberá satisfacer todos los requerimientos de servicio-carga-nivel, en tanto garantice que la teoría aplicada en el análisis (diseño) describa correctamente el funcionamiento real de los elementos diseñados.

Los capítulos siguientes desarrollan el comportamiento ante la flexión, la tensión diagonal y las condiciones de servicio de miembros de una dimensión, es decir, las vigas y losas en una dirección. Se ha puesto especial atención en proporcionar al estudiante y al ingeniero una noción de lo que significa la distribución interna de la deformación en elementos de concreto estructural y reforzado, y una comprensión básica de la resistencia de reserva y los factores de seguridad inherentes a las expresiones de diseño. Por otro lado, se hace referencia al análisis y diseño de columnas y otros miembros de compresión, y al análisis de flexión y diseño de vigas. Finalmente, se incluye un estudio detallado de cómo se construyen los diagramas de interacción para el dimensionamiento de columnas sujetas a flexión biaxial y pandeo, y se presenta información respecto a la adherencia y longitud de desarrollo en el reforzamiento.



## CONCRETO ARMADO

### 1.1 Concreto

El concreto es un material duro, tiene similitud a la piedra y resulta al efectuarse un adecuado mezclado entre cemento, agregados (piedra y arena), agua y aire. A diferencia de las piedras, el concreto puede ser formado de acuerdo a las dimensiones que se necesite. Para dar con estas dimensiones se usan las formas o encofrados.

El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados y convirtiendo todo el aglomerado en una masa sólida. De acuerdo al diseño de mezclas que se use, podrá obtenerse diferentes resistencias de concreto. Influyen también en esta característica del concreto, los métodos y eficiencia del curado. Debido a que el concreto es un elemento resistente a los esfuerzos de compresión (teniendo en cambio muy poca resistencia a los esfuerzos de tracción y flexión), es que se introduce el acero como parte complementaria para tomar estos esfuerzos, en los cuales el concreto no actúa de manera óptima.

Antiguamente, los concretos y los aceros tenían una resistencia relativamente baja; por consiguiente, se necesitaban elementos bastante pesados para resistir especialmente cargas grandes. En la actualidad, se ha mejorado mucho este aspecto, pues ya existen concretos muy resistentes y aceros de alta resistencia que permiten disminuir los pesos propios de las estructuras en gran magnitud. Inclusive se puede contar con el concreto pre y post tensado, que aumentan las resistencias finales en proporciones muy grandes. Entre las estructuras más importantes construidas con concreto armado, se pueden mencionar:

- a) Entramados o pórticos de varios sistemas de vigas y columnas, y/o placas o pantallas para edificios.
- b) Losas de pisos y/o techos que pueden ser nervadas, fungiformes, aligeradas, etc.
- c) Cubiertas laminares cilíndricas, elípticas, parabólicas o planas plegadas, que permiten el empleo de capas delgadas de concreto.
- d) Puentes, ya sean con estructuras de soporte tipo arco o puentes de tramos rectos.
- e) Tanques, depósitos, silos.
- f) Losas de piso, carreteras.
- g) Muros de contención, cimentaciones.
- h) Presas, reservorios.

### 1.1.1 Tipos de concreto y usos del mismo

En general, la mayoría de las construcciones pueden ser clasificadas como: “concreto masivo”, “losas” y “estructuras encofradas”. Las estructuras encofradas tales como vigas, columnas, muros, arcos y algunos lineamientos de túneles, son normalmente armadas con acero. El espacio para la colocación del concreto es restringido, y cualquier acabado superficial será hecho una vez que se hayan retirado los encofrados. Los pavimentos y las losas de piso tienen un área bastante considerable, que no fue encofrada; por lo tanto, es necesario tener especial cuidado en proporcionarle el acabado y curado tan pronto se efectúe la colocación del concreto. El concreto masivo para presas, pilares y cimentaciones tiene superficies expuestas en una proporción relativamente pequeña, pero de igual forma se estará pendiente de las elevaciones de temperatura, debido al calor de hidratación del cemento.

### 1.1.2 Requisitos que debe cumplir el concreto

Los requisitos principales que debe cumplir el concreto endurecido son: **resistencia**, **durabilidad** y **economía**. Debe tener la resistencia deseada, diseñada y especificada, que sea uniforme, impermeable y resistente al clima, al uso y otros agentes destructivos; además, que no se agriete excesivamente al enfriamiento o al secado, debe ser de menos costo que otros materiales igualmente resistentes y durables. Para algunos usos el concreto debe tener características especiales.

Para casos especiales o particulares debe tener alta resistencia al fuego y a los agentes químicos, o tener un peso liviano o poseer una superficie muy suave (más que la suavidad normal), o tener una superficie porosa requerida por arquitectura como acabado. En cualquiera de estos casos, el diseñador necesita un buen conocimiento de la naturaleza del concreto para poder especificar correctamente y permitir, de esta manera, que el inspector pueda hacer cumplir en obra lo que se pretende realmente en el proyecto.

### 1.1.3 Formación y proceso de formación del concreto

En un concreto fresco mezclado plásticamente, todos los sólidos granulares, incluyendo el cemento, están temporalmente suspendidos en agua. Las partículas individualmente se encuentran separadas por capas delgadas de agua. Esta separación de partículas y el efecto de lubricación de estas capas de agua juntas, y algunas fuerzas entre partículas, hacen la mezcla plástica y trabajable.

Es conveniente pensar que el concreto es una mezcla entre una pasta (agua-cemento), y el agregado mineral (piedra y arena). Sabiendo que se trata de una pasta, donde se introduce el agregado, el cual irá separado por medio de capas delgadas de pasta.

Luego, el volumen de toda la mezcla es igual al volumen de la pasta, más el volumen de los sólidos (o sea los agregados), más el volumen de los vacíos de aire, que los graficamos a continuación. Asimismo, mostraremos los porcentajes de volumen de una mezcla normal:

AIRE 5%	AGUA 15%	CEMENTO 10%	AGREGADO (fino y grueso) 70%
------------	-------------	----------------	---------------------------------

————— PASTA ————— | ————— MINERAL INERTE —————

### 1.1.4 Tipos de cemento Portland, principales usos y especificaciones

Es un material aglomerante que tiene las propiedades de adherencia y cohesión necesarias para unir áridos inertes entre sí, formando una masa sólida que cumple las características y propiedades que más adelante se detallarán. Este material se fabricó por primera vez en 1824 en Inglaterra.

Para satisfacer ciertos requerimientos físicos y químicos para propósitos específicos, se elaboran diferentes tipos de cemento Portland. Las especificaciones standard para estos tipos de cemento y los métodos de prueba se encuentran al detalle en las especificaciones ASTM. La American Society for Testing and Materials (ASTM), provee cinco tipos de cemento Portland: Tipo I, II, III, IV y V, y en la Norma C-150 la Canadian Standard Association (CSA), provee también cinco tipos: normal, moderado, de altas resistencias iniciales, de bajo calor de hidratación y de resistencia a los sulfatos, en la norma CSA Standard a5.

- **ASTM tipo I, CSA normal**

Este tipo de cemento es de uso general. Es apropiado para todos los usos cuando no son requeridas las propiedades especiales de los otros tipos de cemento. Es usado cuando el cemento o concreto no están sujetos a exposiciones específicas, tales como ataque de sulfatos del suelo o agua a una elevada temperatura, ocasionada por el elevado calor de hidratación. Sus usos incluyen pavimentos y veredas, concreto armado para edificios, puentes, estructuras de líneas férreas, tanques, reservorios, alcantarillas, tuberías de agua, unidades de albañilería, etc.

- **ASTM tipo II, CSA moderado**

El tipo II de cemento es usado donde no se requiere una excesiva protección contra ataques de sulfatos; es decir, donde los ataques por sulfatos no son muy severos. El tipo II de cemento usualmente generará menos calor de hidratación que el cemento tipo I o cemento normal; por consiguiente, este tipo de cemento puede ser usado en estructuras de masas de concreto considerables, como son: grandes pilares, estribos voluminosos o gruesos muros de contención. Su uso, en general, será para reducir la temperatura de hidratación, la cual es muy importante cuando se trabaja en regiones calurosas. Este tipo de cemento es inferior al tipo I en su contenido de aluminato tricalcico ( $\text{Ca}_3\text{A}$ ). Por consiguiente, es inferior en la generación de calor, y algo más resistente a los sulfatos que el tipo I. El contenido de ( $\text{Ca}_3\text{A}$ ) no debe exceder del 8%.

- **ASTM tipo III, CSA altas resistencias iniciales**

Este tipo de cemento de resistencias iniciales altas adquieren sus resistencias una semana o menos del vaciado. Se usa cuando los encofrados o formas tienen que ser retiradas lo antes posible para otro uso, o cuando la estructura debe ser puesta en servicio lo antes posible. En tiempo frío, su uso permite una reducción en el período de curado.

Aunque con mezclas ricas de cemento tipo I se puede llegar a obtener altas resistencias en corto tiempo, el cemento tipo III da resultados más satisfactorios y más económicos. Este cemento produce un alto calor de hidratación, por lo cual es peligroso su uso en estructuras masivas. Estas características le dan los granos finos y los montos mayores de ( $\text{Ca}_3\text{Si}$ ) y ( $\text{Ca}_3\text{A}$ ).

- **ASTM tipo IV, CSA bajo calor de hidratación**

Este cemento se usa donde el calor de hidratación debe ser reducido al mínimo. Desarrolla resistencias a más largo plazo que el tipo I o normal, se usa en estructuras masivas de concreto tales como grandes presas de gravedad, donde la elevación de temperatura resultante del calor generado durante el endurecimiento del concreto es un factor crítico. Presenta (Ca3A1) en baja proporción.

- **ASTM tipo V, CSA resistente a sulfatos**

Este tipo de cemento es usado solamente en concretos que van a estar expuestos a una severa acción de sulfatos. Se usan principalmente donde los suelos, o aguas en contacto con la estructura, tienen un alto contenido de sulfato. Este cemento adquiere resistencia más lentamente que el tipo I o normal. Presenta (Ca3A1) en baja proporción, generalmente no más del 5%, pero es preferible no que sea más del 4%.

- **Cemento Portland con incorporación de aire**

Las especificaciones de los tres tipos de cemento Portland con aire incorporado se encuentran en la Norma ASTM C 175. Existen tres tipos de cemento con incorporado de aire: IA, IIA y IIIA, correspondientes a los tipos I, II y III, respectivamente. A estos cementos se les ha añadido pequeñas cantidades de materiales incorporados de aire al clinker, durante la fabricación. Estos cementos producen concretos con una mejor resistencia a la acción del congelamiento y deshielo. En tales concretos existen millones de pequeñas burbujas de aire perfectamente distribuidas.

Cuando los agregados acompañantes contienen elementos que son destructivos al reaccionar con los óxidos de sodio o potasio del cemento, es necesario usar cementos con baja alcalinidad debido a que, al usar estos cementos, se mejora la durabilidad y la serviciabilidad de la mezcla. Los cementos con baja alcalinidad contienen menos del 0.60% de estos óxidos conocidos como óxido de sodio.

La reactividad potencial de las combinaciones del agregado - cemento, puede ser calculada por el procedimiento descrito en la norma ASTM C 227. El porcentaje de los óxidos alcalinos en el cemento puede ser determinado por la fotometría de la llama de acuerdo al ASTM C 228. Cuando el cemento tiene bajo contenido de alcalinidad no es resistente a los sulfatos.

Una propiedad que algunos cementos tienen en contra es el falso fraguado. Debido a este fenómeno, se incrementa el requerimiento de agua en la mezcla, al igual que se produce la pérdida en asentamiento: aparecen las grietas por consolidación plástica y se origina la dificultad en la manipulación y colocación de concreto. La presencia del fraguado falso se determina al aplicarse los test que dan las normas ASTM C 359 (método del mortero) o ASTM C 451 (método de la pasta).



- **Cemento Portland blanco**

Este cemento es fabricado conforme a las especificaciones ASTM C 150 y C 175. La principal diferencia entre el cemento blanco y gris es el color. El cemento blanco es fabricado con materias primas selectas, y contiene pequeñas cantidades de hierro y óxido de manganeso. Este cemento es usado principalmente en proyectos arquitectónicos, tales como: cobertura para pisos, superficies de terreno, estucados, pintura de cemento, losetas y concretos decorativos.

- **Cemento Portland puzolánico**

Los cementos puzolánicos incluyen cuatro tipos: IP, OP -A, P y P-A. El segundo y el cuarto contienen aditivo incorporador de aire, como está especificado en la norma ASTM C 595. Estos son fabricados añadiendo en la molienda del clinker una apropiada cantidad de puzolana, o por medio de una mezcla de cemento portland. Se usa principalmente en grandes estructuras hidráulicas como puentes, pilares, presas, etc.

- **Cemento de albañilería**

Estos cementos cumplen los requerimientos de las Normas ASTM C 91 o CSA A 8. Son cementos portland mezclados con aditivos incorporados de aire y material suplementario seleccionado con el fin de obtener: Cemento de Escoria, Portland de alto horno (ASTM C 205) y cemento natural (ASTM C 10).

- **Tipos especiales de cemento Portland**

Hay tipos especiales de cemento Portland que son considerados por especificaciones de la ASTM o CSA.

- **Cemento para pozos de petróleo**

Este cemento es usado para sellar pozos de petróleo. Generalmente debe ser un cemento de fraguado lento y resistente a altas temperaturas y presiones. Las especificaciones del American Petroleum Institute para cementos para pozos de petróleo (API Standard 10A) establecen los requerimientos de cada una de seis clases. Cada clase es usada para cierta profundidad del pozo.

La industria del petróleo también usa tipos convencionales de cementos portland, aplicando aditivos especiales.

- **Cemento o prueba de agua**

Este cemento es generalmente fabricado añadiendo una pequeña cantidad de calcio y aluminio al clinker del cemento portland durante la molienda final. Es fabricado en color blanco o gris.

- **Cementos plásticos**

Son hechos añadiendo agentes plastificantes hasta un máximo del 12% del volumen total a cementos tipo I o II, durante el proceso de fabricación. Los cementos plásticos son comúnmente usados para trabajos con morteros, revoques y estucados.

### A. Comparación entre cementos de diversos tipos

Relación aproximada entre la resistencia del concreto producida por los diferentes tipos de cemento.

Tipo de cemento Portland		Resistencia a la compresión como porcentaje a la resistencia de concreto con cemento tipo "I" o "Normal".			
ASTM	CSA	1 día	7 días	28 días	3 meses
I	Normal	100	100	100	100
II	Moderado	75	85	90	100
III	Altas resistenc. inic.	190	120	110	100
IV	Bajo calor de hidrat.	55	55	75	100
V	Resistente a sulfatos	65	75	85	110

Para fines prácticos, se puede considerar que el cemento está integrado por cuatro componentes principales, a saber:

Silicato Tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	=	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato Dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	=	$\text{C}_2\text{S}$
Aluminato Tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	=	$\text{C}_3\text{A}$
Aluminato Ferrato Tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	=	$\text{C}_2\text{AF}$

Las fórmulas de la derecha son abreviaturas para entrar a la tabla, los porcentajes aproximados de cada compuesto se pueden calcular al hacer el análisis químico. En su mayoría, los aumentos de resistencia están controlados por  $\text{C}_3\text{S}$  y  $\text{C}_2\text{S}$ . Estos componentes sumados dan más del 70% del total para la mayoría de los cementos.

### B. Cálculos en la composición de los compuestos del cemento Portland

TIPOS DE CEMENTO	COMPOSICIÓN DE COMPUESTOS				FINEZA	
	$\text{C}_3\text{S}$	$\text{C}_2\text{S}$	$\text{C}_2\text{A}$	$\text{C}_2\text{AF}$	cm <sup>2</sup> por gramo	% que pasa la malla
1. Normal	45	27	11	8	1 710	90.7
2. Modificado	44	31	5	13	1 990	90.7
3. Altas resist. iniciales	53	19	10	10	2 730	99.5
4. Bajo calor hidrat.	28	49	4	12	1 880	93.1
5. Resistente a sulfatos	36	43	4	4	1 960	93.2

El área de la superficie ha sido determinada por la prueba del turbidímetro de Wagner.

### C. Aspectos económicos

La economía del concreto está influenciada por la cantidad del cemento necesario para producir la resistencia requerida, u otras propiedades, por la disponibilidad o proximidad del material deseado y por la magnitud del proceso requerido para producir el agregado deseado. No obstante, que agregados bien definidos ya sean angulares o redondeados, graduados entre los límites de especificaciones de aceptación general, producirá concretos de cantidad comparable a la de un factor cemento dado, esto está especificado en el artículo del ACI Comité 613 – 45, que con agregados de características que produzcan requisitos altos de agua de mezclado en forma anormal, es necesario aumentar el contenido de cemento para mantener una relación agua-cemento preseleccionada.

### D. Muestreo y pruebas

Es necesario que el cemento, para considerarlo satisfactorio, pase las pruebas que indican las siguientes normas: ASTM (C 183 y 184 C 187 a 191).

## 1.1.5 Agregados

Los agregados se clasifican básicamente en dos tipos: agregados gruesos o grava, y agregados finos o arenas, los mismos que en su conjunto ocupan del 70 al 75% del volumen de la masa endurecida. La resistencia y economía del concreto es consecuencia directa de la mejor compactación que los agregados pueden tener, siendo muy importante la granulometría de las partículas.

Los agregados finos o arenas son los que pasan por un tamiz número 4, los mayores a este tamaño se consideran como agregados gruesos. Además de esta clasificación, puede haber una más rigurosa cuando se quiere una granulometría más favorable. Las arenas podrán subdividirse en 2 ó 3 tamaños, y los gruesos o gravas en otros tantos. De este modo se obtiene una granulometría más ajustable, colmándose de acuerdo a curvas granulométricas.

El tamaño básico de agregado para un determinado elemento se fijará de acuerdo a varios criterios; en especial, la separación de varillas y la distancia de éstas a los encofrados, la altura de las losas, etc. (Ver el informe del Comité 621-ACI).

## 1.2 Resistencia y deformación a compresión del concreto

### a) Por carga rápida

En materiales como el concreto, que se utilizan básicamente para resistir esfuerzos de compresión, es importante conocer el comportamiento bajo la relación esfuerzo-deformación.

El módulo de elasticidad “ $E_c$ ”, que viene a ser la pendiente de la parte inicial recta de las curvas, que para diferentes concretos se gráfica a continuación, puede expresarse por la siguiente fórmula:

$$E_c = 0.135 \times W^{3/2} \sqrt{f'_c} \Rightarrow \text{para } W = 1\,440 \text{ a } W = 2\,500 \text{ k/m}^3$$

$$W = \text{Peso unitario del concreto endurecido k/m}^3$$

$$f'_c = \text{Resistencia cilíndrica del concreto k/m}^2$$

Para concreto normal  $W = 2330 \text{ k/m}^3$ , usar  $E_c = 15200\sqrt{f'c}$

Las curvas esfuerzo-deformación en probetas de igual resistencia bajo variadas condiciones de carga, varían en forma bastante considerable.

$$\text{El módulo de Poisson} = \frac{\text{deformación transversal}}{\text{deformación longitudinal}}$$

El módulo de Poisson para  $0.7 f'c$  es aproximadamente 0.17 (Fig. 1.4)

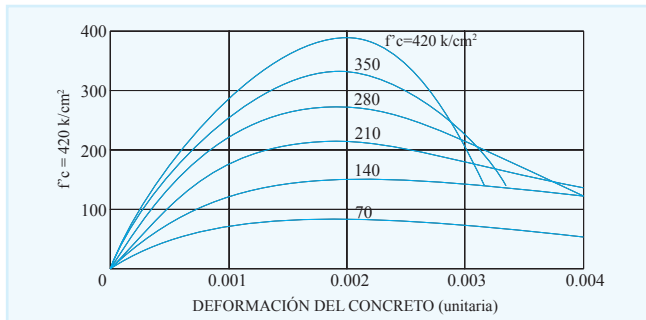


Fig. 1.1

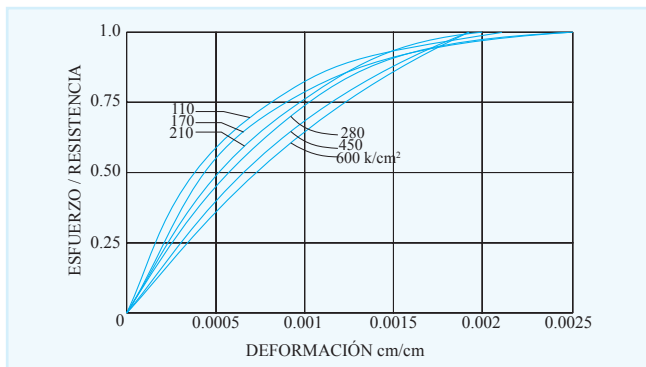


Fig. 1.2

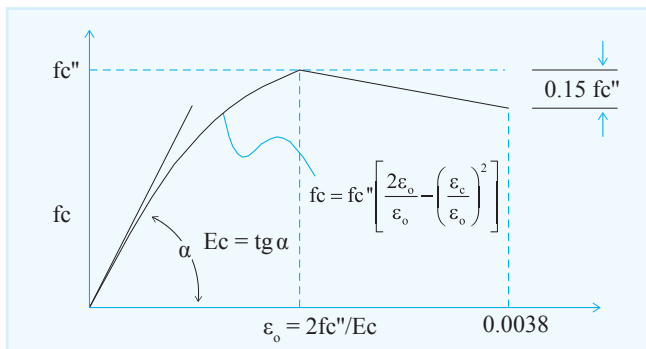


Fig. 1.3

Impreso en los talleres gráficos de



Surquillo