

# Índice del contenido

## CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN 1

- 1.1 Presentación del material
- 1.2 Los primeros hormigones
- 1.3 Nuevos hormigones u hormigones no tradicionales
- 1.4 El hormigón en la Argentina
- 1.5 Presente y futuro del hormigón
- Bibliografía consultada

## CAPÍTULO 2: CEMENTOS

- 2.1 Introducción
  - 2.1.1 Breve historia del cemento
  - 2.1.2 Definiciones
- 2.2 Composición del cemento
  - 2.2.1 Composición química
  - 2.2.2 Composición mineralógica
    - 2.2.2.1 Determinación de la composición mineralógica
- 2.3 Fabricación de cementos
  - 2.3.1 Etapas de producción del cemento
    - 2.3.1.1 Etapa 1: Preparación de materias primas
      - 2.3.1.1.1 Extracción de materias primas
      - 2.3.1.1.2 Trituración y prehomogeneización
      - 2.3.1.1.3 Molienda de crudo
      - 2.3.1.1.4 Homogeneización y acopio de crudo
    - 2.3.1.2 Etapa 2: Producción de clinker
      - 2.3.1.2.1 Precalcinación
      - 2.3.1.2.2 Clinkerización
      - 2.3.1.2.3 Enfriamiento
    - 2.3.1.3 Etapa 3: Molienda de cemento
      - 2.3.1.3.1 Molino de bolas
      - 2.3.1.3.2 Molino vertical
      - 2.3.1.3.3 Prensa de rodillos
      - 2.3.1.3.4 Separadores
      - 2.3.1.3.5 Molienda conjunta y separada
    - 2.3.1.4 Etapa 4: Expedición
  - 2.3.2 Sistemas de captación de polvos
- 2.4 Compuestos químicos del cemento
  - 2.4.1 Silicato tricálcico
  - 2.4.2 Silicato dicálcico
  - 2.4.3 Aluminatos de calcio
  - 2.4.4 Ferroaluminato de calcio
  - 2.4.5 Constituyentes menores
- 2.5 Finura
  - 2.5.1 Finura Blaine
  - 2.5.2 Curva de distribución de partículas
- 2.6 Hidratación del cemento pórtland
  - 2.6.1 Hidratación de los silicatos
    - 2.6.1.1 Hidratación del silicato tricálcico
      - 2.6.1.1.1 Modificaciones en la hidratación del  $C_3S$
      - 2.6.1.1.2 Hidratación del silicato dicálcico
    - 2.6.1.2 Hidratación del aluminato tricálcico
      - 2.6.2.1 Importancia del contenido de yeso en las primeras edades

- 2.6.2.2 Modificaciones en la hidratación del  $C_3A$
- 2.6.3 Hidratación del ferroaluminato tetracálcico
- 2.7 Morfología de los productos de hidratación
  - 2.7.1 Silicato de calcio hidratado (C-S-H)
  - 2.7.2 Hidróxido de calcio (CH)
  - 2.7.3 Fases AFt y Afm
- 2.8 Desarrollo de la estructura de la pasta de cemento
- 2.9 Variables que influyen en el desarrollo de la estructura de la pasta
  - 2.9.1 Edad de la pasta
  - 2.9.2 Composición del cemento
  - 2.9.3 Finura del cemento
  - 2.9.4 Razón agua/cemento
  - 2.9.5 Temperatura
  - 2.9.6 Efecto de los aditivos
  - 2.9.7 Efecto de las adiciones minerales
  - 2.9.8 Relación gel-espacio
- 2.10 Pasta de cemento hidratada
- 2.11 Propiedades de la pasta de cemento
  - 2.11.1 Propiedades mecánicas
  - 2.11.2 Propiedades volumétricas
    - 2.11.2.1 Contracción temprana
    - 2.11.2.2 Contracción autógena y autodesecación
    - 2.11.2.3 Contracción por secado
- 2.12 Cementos de uso general: tipos y requisitos
  - 2.12.1 Requisitos físicos
  - 2.12.2 Requisitos mecánicos – categorías de resistencia
  - 2.12.3 Requisitos químicos
- 2.13 Cementos de uso general: usos recomendados
  - 2.13.1 Cemento pórtland normal
  - 2.13.2 Cemento pórtland puzolánico
  - 2.13.3 Cemento pórtland con escorias
  - 2.13.4 Cemento pórtland con filler calcáreo
  - 2.13.5 Cemento pórtland compuesto
  - 2.13.6 Cemento de alto horno
- 2.14 Cementos con propiedades especiales
  - 2.14.1 Cementos de alta resistencia inicial
  - 2.14.2 Cementos resistentes a los sulfatos
  - 2.14.3 Cementos de bajo calor de hidratación
  - 2.14.4 Cementos resistentes a la reacción álcali-agregado
  - 2.14.5 Cemento pórtland blanco
  - 2.14.6 Otros cementos
- 2.15 Selección y usos de los distintos tipos de cementos
- 2.16 Consideraciones finales

Normas de referencia

Normas argentinas

Normas extranjeras

Bibliografía consultada

## **CAPÍTULO 3: ADICIONES MINERALES**

- 3.1 Introducción
- 3.2 Adiciones minerales activas
  - 3.2.1 Clasificación
    - 3.2.1.1 Físicamente activas
    - 3.2.1.2 Físico-químicamente activas (no hidráulicas)
    - 3.2.1.3 Físico-químicamente activas (hidráulicas/puzolánicas)

- 3.2.1.4 Físico-químicamente activas (hidráulicas/autopuzolánicas)
- 3.2.2 Reacciones
- 3.2.3 Descripción de las adiciones minerales activas
  - 3.2.3.1 Caliza molida
  - 3.2.3.2 Puzolanas naturales
  - 3.2.3.3 Escoria granulada de alto horno
- 3.3 Acciones sobre el hormigón
- 3.4 Consideraciones finales
- Normas de referencia
- Normas argentinas
- Normas extranjeras
- Bibliografía consultada

## **CAPÍTULO 4: AGUAS**

- 4.1 Introducción
- 4.2 Agua de mezclado
  - 4.2.1 Requisitos físicos
    - 4.2.1.1 Tiempos de fraguado
    - 4.2.1.2 Resistencia a compresión
  - 4.2.2 Requisitos químicos
    - 4.2.2.1 Residuo sólido
    - 4.2.2.2 Materia orgánica
    - 4.2.2.3 pH
    - 4.2.2.4 Sulfatos
    - 4.2.2.5 Cloruros
    - 4.2.2.6 Hierro
    - 4.2.2.7 Carbonatos, bicarbonatos y otras sales inorgánicas
  - 4.2.3 Agua de mar
- 4.3 Agua de curado
- 4.4 Aguas de contacto
- 4.5 Control de calidad del agua
- 4.6 Agua de lavado
- 4.7 Agua reciclada
- Normas de referencia
- Normas argentinas
- Normas extranjeras
- Bibliografía consultada

## **CAPÍTULO 5: AGREGADOS**

- 5.1 Generalidades
- 5.2 Definición y clasificación de los agregados para hormigones
  - 5.2.1 Definiciones
  - 5.2.2 Clasificación de los agregados
    - 5.2.2.1 Clasificación por tamaño
    - 5.2.2.2 Clasificación por peso
    - 5.2.2.3 Clasificación por masa específica (densidad relativa)
    - 5.2.2.4 Clasificación por el método de obtención o por su naturaleza
    - 5.2.2.5 Clasificación por su composición mineralógica
    - 5.2.2.6 Agregados marginales
- 5.3 Influencia del tipo de roca y agregado en las propiedades del hormigón
- 5.4 Muestreo de agregados para determinar sus características
- 5.5 Propiedades de los agregados
  - 5.5.1 Estructura de los agregados
  - 5.5.2 Estados de humedad

- 5.5.2.1 Absorción y humedad superficial
- 5.5.3 Propiedades de los agregados del Grupo A
  - 5.5.3.1 Densidad de los agregados
  - 5.5.3.2 Densidad del agregado grueso
  - 5.5.3.3 Densidad del agregado fino
  - 5.5.3.4 Densidad a granel o peso unitario o peso de la unidad de volumen (PUV)
  - 5.5.3.5 Esponjamiento del agregado fino
  - 5.5.3.6 Contenido de vacíos y factor de empaquetamiento granular
  - 5.5.3.7 Resistencia a compresión, a trituración, abrasión y módulo de elasticidad
    - 5.5.3.7.1 Resistencia a la tracción y compresión de núcleos de rocas
    - 5.5.3.7.2 Módulo de elasticidad
    - 5.5.3.7.3 Dureza y desgaste
    - 5.5.3.7.4 Coherencia, compacidad y tenacidad de las rocas
  - 5.5.3.8 Durabilidad de los agregados
    - 5.5.3.8.1 Sanidad
    - 5.5.3.8.2 Humedecimiento y secado
    - 5.5.3.8.3 Congelamiento y deshielo
    - 5.5.3.8.4 Presencia de sustancias deletéreas
    - 5.5.3.8.5 Reacción álcali-sílice
    - 5.5.3.8.6 Reacción álcali-carbonato
    - 5.5.3.8.7 Estabilidad de rocas basálticas
  - 5.5.3.9 Propiedades térmicas
- 5.5.4 Propiedades de los agregados del Grupo B
  - 5.5.4.1 Forma y textura superficial
  - 5.5.4.2 Granulometría
    - 5.5.4.2.1 Definición
    - 5.5.4.2.2 Tamices de ensayo
    - 5.5.4.2.3 Módulo de finura
    - 5.5.4.2.4 Curvas granulométricas especificadas
    - 5.5.4.2.5 Tamaño máximo nominal de los agregados gruesos (TMA)
    - 5.5.4.2.6 Consumo de pasta de cemento
    - 5.5.4.2.7 Segregación
    - 5.5.4.2.8 Granulometrías continuas
    - 5.5.4.2.9 Granulometrías discontinuas
    - 5.5.4.2.10 Partículas menores a 75  $\mu\text{m}$  (polvo)
    - 5.5.4.2.11 Superficie específica de un material granular
- 5.6 Especificaciones de calidad de los agregados
- 5.7 Agregados livianos
  - 5.7.1 Métodos de producción de agregados livianos
- 5.8 Agregados pesados
- 5.9 Agregados reciclados
  - 5.9.1 Reciclado de hormigones
  - 5.9.2 Propiedades de los agregados gruesos reciclados (AGR)
    - 5.9.2.1 Granulometría y contenido de polvo
    - 5.9.2.2 Forma y textura superficial
    - 5.9.2.3 Densidad y absorción
    - 5.9.2.4 Dureza
    - 5.9.2.5 Reacción álcali-agregado
  - 5.9.3 Normativas y recomendaciones para agregados reciclados
- Normas de referencia
  - Normas argentinas
  - Normas extranjeras
  - Bibliografía consultada

## **CAPÍTULO 6: ADITIVOS QUÍMICOS 163**

- 6.1 Introducción: aditivos y la supremacía y versatilidad del hormigón
  - 6.2 Definición
  - 6.3 Reseña histórica
  - 6.4 ¿Por qué utilizar aditivos?
  - 6.5 Características básicas y requisitos generales de los aditivos
  - 6.6 Terminología y clasificación
  - 6.7 Aditivos reductores de agua
    - 6.7.1 Principio de acción
    - 6.7.2 Acciones secundarias
    - 6.7.3 Fluidificantes
    - 6.7.4 Superfluidificantes
    - 6.7.5 Reductores de agua de última generación: los hiperfluidificantes
  - 6.8 Aditivos modificadores del fraguado y la resistencia inicial
    - 6.8.1 Aceleradores
    - 6.8.2 Retardadores
    - 6.8.3 Aditivos para hormigón proyectado
  - 6.9 Aditivos incorporadores de aire
    - 6.9.1 Principales bases químicas de los incorporadores de aire
    - 6.9.2 Breve historia de los incorporadores de aire
    - 6.9.3 Efectos del aire incorporado en el hormigón fresco
    - 6.9.4 Efectos del aire incorporado en el hormigón endurecido
    - 6.9.5 Calidad del aire incorporado
      - 6.9.5.1 Ensayos para evaluar el contenido de aire
    - 6.9.6 Dosis del aditivo incorporador de aire
    - 6.9.7 Combinación de incorporador de aire con otros aditivos
  - 6.10 Otros aditivos
  - 6.11 Funciones de los aditivos
  - 6.12 Usos y aplicaciones
    - 6.12.1 Plastificantes
    - 6.12.2 Superplastificantes
    - 6.12.3 Hiperplastificantes
    - 6.12.4 Retardadores de fraguado
    - 6.12.5 Aceleradores
    - 6.12.6 Incorporadores de aire
  - 6.13 Aspectos a tener en cuenta para el empleo de los aditivos
- Normas de referencia
- Normas argentinas
- Normas extranjeras
- Bibliografía consultada

## **CAPÍTULO 7: DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN 191**

- 7.1 Introducción
- 7.2 Métodos de dosificación
  - 7.2.1 Antecedentes históricos nacionales
  - 7.2.2 Clasificación de los métodos de dosificación
  - 7.2.3 Bases de los métodos de dosificación
    - 7.2.3.1 Trabajabilidad
    - 7.2.3.2 Resistencia mecánica
    - 7.2.3.3 Durabilidad
    - 7.2.3.4 Costo
  - 7.2.4 Método del Instituto del Cemento Pórtland Argentino
  - 7.2.5 Método del American Concrete Institute
  - 7.2.6 Método del Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)

7.2.7 Otras modalidades de proporcionamiento de mezclas  
Normas de referencia  
Normas argentinas  
Normas extranjeras  
Bibliografía consultada

## **CAPÍTULO 8: HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO 215**

8.1 Introducción  
8.1.1 Definición  
8.1.2 Propiedades del hormigón fresco  
8.2 Duración del estado fresco  
8.2.1 Conceptos iniciales  
8.2.2 Factores que influyen en la duración del estado fresco  
8.2.3 Medición de la duración del estado fresco  
8.2.3.1 Generalidades  
8.2.3.2 Método de resistencia a la penetración  
8.3 Trabajabilidad  
8.3.1 Definición de trabajabilidad  
8.3.2 Consistencia de la mezcla fresca  
8.3.3 Estudio de la consistencia  
8.3.3.1 Conceptos generales  
8.3.3.2 Estudio teórico de la reología  
8.3.4 Grados de consistencia  
8.3.4.1 Definiciones  
8.3.4.2 Tablas de grados de consistencia  
8.3.5 Factores que influyen en la consistencia del hormigón fresco  
8.3.5.1 Introducción  
8.3.5.2 Granulometría de los agregados  
8.3.5.3 Tamaño máximo del agregado  
8.3.5.4 Cantidad absoluta de agua  
8.3.5.5 Consistencia propia de la pasta cementicia  
8.3.5.6 Cantidades relativas entre pasta y agregados  
8.3.5.7 Inclusión intencional de aire  
8.3.5.8 Aditivos de acción específica  
8.3.5.9 Temperatura del hormigón fresco  
8.3.5.10 Tiempo transcurrido desde el mezclado  
8.4 Ensayos para evaluar la trabajabilidad  
8.4.1 Conceptos generales sobre los ensayos  
8.4.2 Clasificación general de los ensayos de consistencia  
8.4.2.1 Clasificación general y fundamentos  
8.4.2.2 Ensayo de asentamiento de Abrams  
8.4.2.3 Ensayo de remoldeo VeBe  
8.4.2.4 Ensayo de extendido o de la Mesa de Graf  
8.4.2.5 Ensayo de extendido con el cono de Abrams  
8.4.3 Campo de utilización de los ensayos de consistencia  
8.4.4 Correlaciones y resultados típicos de los ensayos de consistencia  
8.5 Cohesión  
8.5.1 Introducción  
8.5.2 Uniformidad del hormigón fresco  
8.5.3 Fenómeno de pérdida de homogeneidad  
8.6 Segregación  
8.6.1 Fenómeno físico  
8.6.2 Factores que influyen en la segregación del hormigón  
8.6.2.1 Introducción  
8.6.3 Evaluación de la segregación del hormigón

- 8.6.3.1 Generalidades
- 8.6.3.2 Ensayo de vibración de Popovics
- 8.6.3.3 Ensayo de la columna de segregación estática
- 8.6.3.4 Examen cualitativo por ensayos de consistencia
- 8.7 Exudación
- 8.7.1 Fenómeno físico
- 8.7.2 Exudación del hormigón fresco
- 8.7.3 Factores que influyen en la exudación
- 8.7.4 Evaluación de la exudación
- 8.7.4.1 Generalidades
- 8.7.4.2 Ensayo de exudación directo en hormigón
- 8.7.4.3 Evaluación cualitativa por ensayos de consistencia
- 8.8 Consideraciones finales
- Normas de referencia
- Normas argentinas
- Normas extranjeras
- Bibliografía consultada

## **CAPÍTULO 9: PRODUCCIÓN, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN**

- 9.1 Introducción
- 9.2 Acopio de materiales
- 9.2.1 Acopio de agregados
- 9.2.1.1 Almacenamiento en estrella
- 9.2.1.2 Sistemas de carga con distribuidor
- 9.2.1.3 Sistema de carga con distribuidor rotativo
- 9.2.1.4 Sistema de carga con desplazamiento radial
- 9.2.1.5 Sistema de carga con cinta distribuidora
- 9.2.1.6 Almacenamiento en silos cerrados
- 9.2.2 Acopio de cemento
- 9.2.3 Acopio de aditivos
- 9.2.4 Acopio o provisión de agua
- 9.3 Dosificación y mezclado
- 9.3.1 Hormigón elaborado en planta dosificadora o mezcladora
- 9.3.1.1 Planta dosificadora
- 9.3.1.2 Planta mezcladora
- 9.3.1.3 Tiempo de mezclado
- 9.3.2 Reutilización de residuos en plantas de hormigón
- 9.4 Transporte
- 9.4.1 Transporte a obra
- 9.4.1.1 Transporte en motohormigonera
- 9.4.1.2 Transporte en vehículos sin agitación
- 9.4.2 Transporte del hormigón en obra
- 9.5 Colocación, compactación y curado
- 9.5.1 Colocación
- 9.5.2 Compactación
- 9.5.2.1 Compactación manual
- 9.5.2.2 Compactación mecánica
- 9.5.2.2.1 Vibrador de inmersión
- 9.5.2.2.2 Vibrado externo
- 9.5.2.2.3 Mesa vibratoria
- 9.5.2.2.4 Vibrado superficial
- 9.5.2.2.5 Compactación a rodillo
- 9.5.3 Curado
- 9.5.3.1 Métodos y materiales de curado

- 9.5.3.1.1 Encharcamiento e inmersión 2
- 9.5.3.1.2 Rociado o aspersión
- 9.5.3.1.3 Coberturas húmedas
- 9.5.3.1.4 Papel impermeable
- 9.5.3.1.5 Hojas de plástico
- 9.5.3.1.6 Compuestos de curado formadores de película
- 9.5.3.1.7 Curado por humedad interna
- 9.5.3.1.8 Encofrados dejados en su lugar
- 9.5.3.1.9 Curado a vapor
- 9.5.3.1.10 Mantas o cubiertas aislantes
- 9.5.3.1.11 Curado eléctrico, con aceite, microondas y rayos infrarrojos
- 9.5.3.2 Tiempo y temperatura de curado
- 9.6 Efectos de las condiciones climáticas en la colocación
- 9.6.1 Hormigonado en tiempo frío
- 9.6.2 Hormigonado en tiempo caluroso
- Normas de referencia
- Normas argentinas
- Normas extranjeras
- Bibliografía consultada

## **CAPÍTULO 10: HORMIGÓN ENDURECIDO 303**

- 10.1 Introducción
- 10.2 Mecanismos de falla y comportamiento del hormigón
- 10.2.1 Estructura del hormigón
- 10.2.2 Mecanismos de falla
- 10.2.2.1 Comportamiento en tracción
- 10.2.2.2 Comportamiento en compresión
- 10.2.2.3 Comportamiento bajo sollicitaciones multiaxiales
- 10.3 Resistencia y composición del hormigón
- 10.3.1 Estructura y porosidad. Razón agua/cemento
- 10.3.2 Contenido de aire
- 10.3.3 Tipo de cemento
- 10.3.4 Tiempo, temperatura y humedad
- 10.3.5 Tipo y tamaño de agregado
- 10.3.6 Efecto del tipo de sollicitación y las metodologías de ensayo
- 10.3.6.1 El ensayo de compresión
- 10.3.6.2 Evaluación de la resistencia a tracción
- 10.3.6.3. Otras evaluaciones sobre el hormigón endurecido
- 10.4 Deformabilidad del hormigón
- 10.4.1 Deformaciones instantáneas bajo carga
- 10.4.1.1 Factores que modifican el módulo de elasticidad
- 10.4.2 Extensibilidad
- 10.4.3 Deformaciones diferidas: Contracción y fluencia
- 10.5 Durabilidad: Efectos del medio ambiente sobre el hormigón
- 10.5.1 Ataques físicos
- 10.5.1.1 Procesos de congelamiento y acción de bajas temperaturas
- 10.5.1.2 Resistencia al fuego y acción de altas temperaturas
- 10.5.1.3 Abrasión y erosión
- 10.5.1.3.1 Resistencia del hormigón a la abrasión
- 10.5.2 Ataques químicos
- 10.5.2.1 Lixiviación de los compuestos cálcicos
- 10.5.2.2 Ataque ácido por cambio iónico
- 10.5.2.3 Ataque de sulfatos
- 10.5.2.3.1 Ataque externo de sulfatos
- 10.5.2.3.2 Ataque interno de sulfatos

- 10.5.2.3.3 Ataque en agua de mar
- 10.5.3 Reacciones deletéreas internas
- 10.5.3.1 Expansión por hidratación tardía de CaO, MgO
- 10.5.3.2 Reacción álcali-agregado