



**Mejores Prácticas para el Proyecto
y Ejecución de Pavimentos de Hormigón**

Diseño de mezclas de hormigón para pavimentos

Dirección Nacional de Vialidad
Distrito 9° | San Juan
San Juan
10 y 11 de Agosto de 2016

Diseño de mezcla

Premisas generales

- **Trabajabilidad + resistencia + durabilidad + estabilidad dimensional**
- **Economía global**
- **Uso de materiales disponibles localmente (si son aptos)**
- **Alcanzar óptimos**
- **Condicionantes particulares:** equipamiento a utilizar, proyecto, condiciones de exposición, plazo de ingreso en servicio
- Sin fisuras

Diseño de mezcla

Secuencia tradicional (ref Método ICPA)

1. Selección de la **resistencia de diseño**
2. Elección del **asentamiento objetivo** (medida de la consistencia)
3. Elección del **cemento a emplear**
4. Contemplar la **incorporación de aire**
5. **Distribución granulométrica** de los agregados:
 - Elegir esqueleto granular
 - Cálculo del módulo de finura
6. Estimación de la **cantidad de agua necesaria**

Gráfico mezclas

Mezclas ejemplo

Ábaco I

Diseño de mezcla

Secuencia tradicional (ref Método ICPA)

7. Selección de la relación agua / cemento
 - Resistencia
 - Durabilidad
8. Cálculo del contenido unitario de cemento (CUC)
9. Determinación de las cantidades de agregados por diferencia a 1000 litros de los volúmenes de agua, cemento , y aire
10. Proporcionamiento de los agregados según la curva adoptada
11. Expresar la dosificación en estado sss (o seco), para 1 m³ de hormigón
12. Ajuste por % Humedad en agregados

Ábaco 2

Planilla

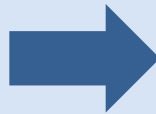
Diseño de mezclas

Resistencia de diseño

- **Diseño del pavimento** → Módulo Resistente a flexión (MR)
- **Diseño de la mezcla de hormigón** → Resistencia a la compresión media (potencial, en probetas cilíndricas) (f'_{cm})
- **Especificación del hormigón** → Resistencia característica (p.e. H30)

Métodos de diseño desarrollados en base:

- Resistencia a la compresión
- Edad: 28 días



Correlaciones entre ambas:

- Relaciones prácticas (p.e. PCA)
- Antecedentes documentados para iguales condiciones

Ajuste con pastones de prueba

PCA:

$$MR = k (f'_{cm})^{0,5}$$



$$f'_{cm} = (MR / k)^2$$

K = 0,7

K = 0,8

canto rodado
piedra partida

Diseño de mezclas

Estimación de la resistencia de diseño

‘Sn’ conocido

El **mayor valor** entre los resultantes para cada MODO de producción

MODO 1 (CIRSOC)

$$f'_{cm} = f'_{ck} + 1,34.S_n$$

$$f'_{cm} = f'_{ck} + 2,33.S_n - 3,5 \text{ MPa}$$

MODO 2 (CIRSOC)

$$f'_{cm} = (f'_{ck} + 5 \text{ MPa}) + 1,34.S_n$$

$$f'_{cm} = f'_{ck} + 2,33.S_n$$

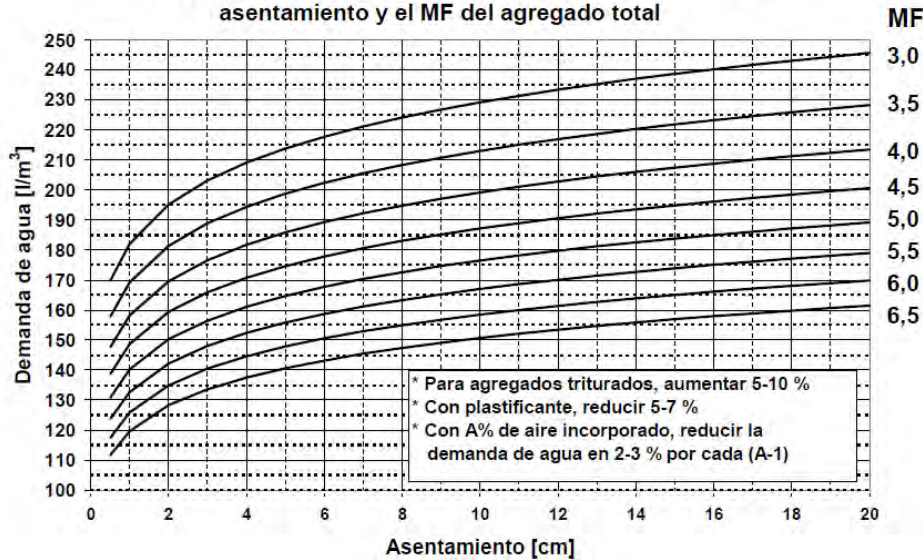
‘Sn’ desconocido

Resistencia especificada (f'ck) [MPa]	Resistencia de diseño de la mezcla (f'cm) [MPa]
< 20	f'ck + 7,0
20 - 35	f'ck + 8,5
> 35	f'ck + 10,0

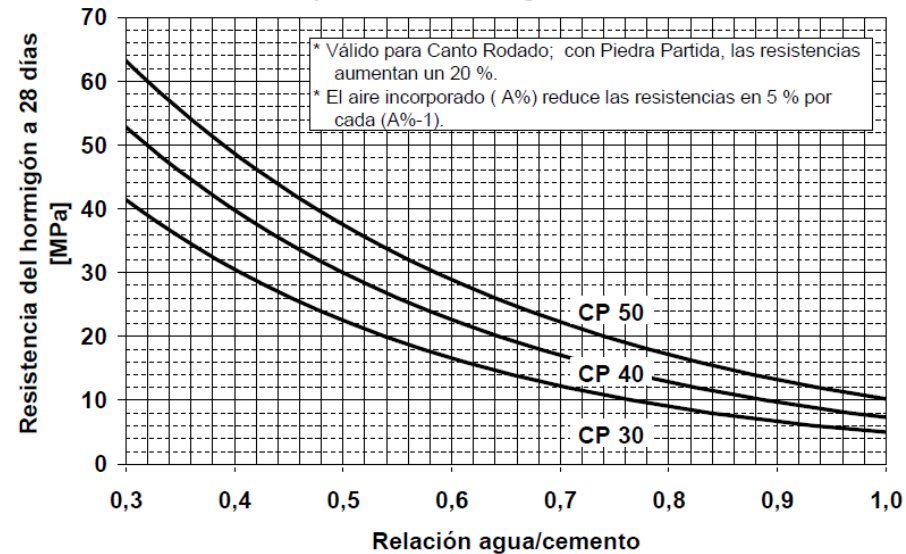
Diseño de mezcla

Secuencia tradicional (ref Método ICPA)

Abaco 1: Demanda de agua del hormigón en función del asentamiento y el MF del agregado total



Abaco 2: Relación a/c vs Resistencia del hormigón a la edad de 28 días para distintas categorías de cemento



- Hormigones convencionales y de peso normal
- Ábacos para agregados de peso normal, de tipo canto rodado, sin aditivos

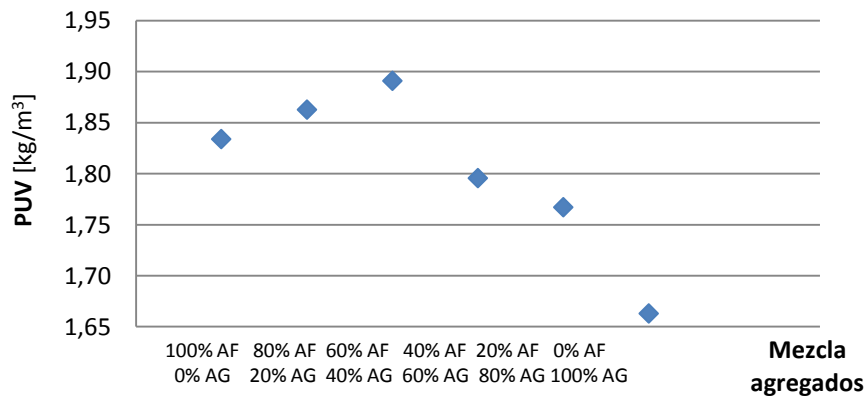
Mezcla de agregados

Hormigones convencionales y fast-track

Determinación de las proporciones óptimas:

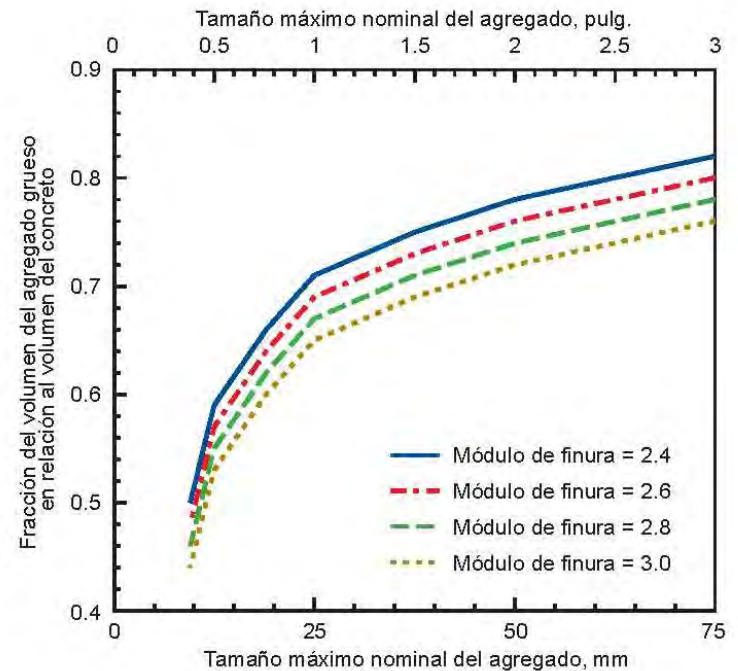
- Según normas o desempeño previo comprobado
 - Ábacos
 - Criterios de máxima compacidad
- } + Ajustes

Criterio máxima compacidad



No siempre máxima compacidad es aplicable, teniendo en cuenta las condiciones de trabajabilidad requeridas

ACI. Volumen de AG por unidad de volumen de hormigón, en función del TM y MF



Diseño de mezcla

Secuencia recomendada para pavimentos TAR

1. Elegir / optimizar el esqueleto granular en base a límites objetivo sobre retenidos parciales
2. Determinar contenido de vacíos del esqueleto granular
3. Elegir sistema pasta cementicia (tipo cemento, adiciones, a/c, % aire, aditivos)

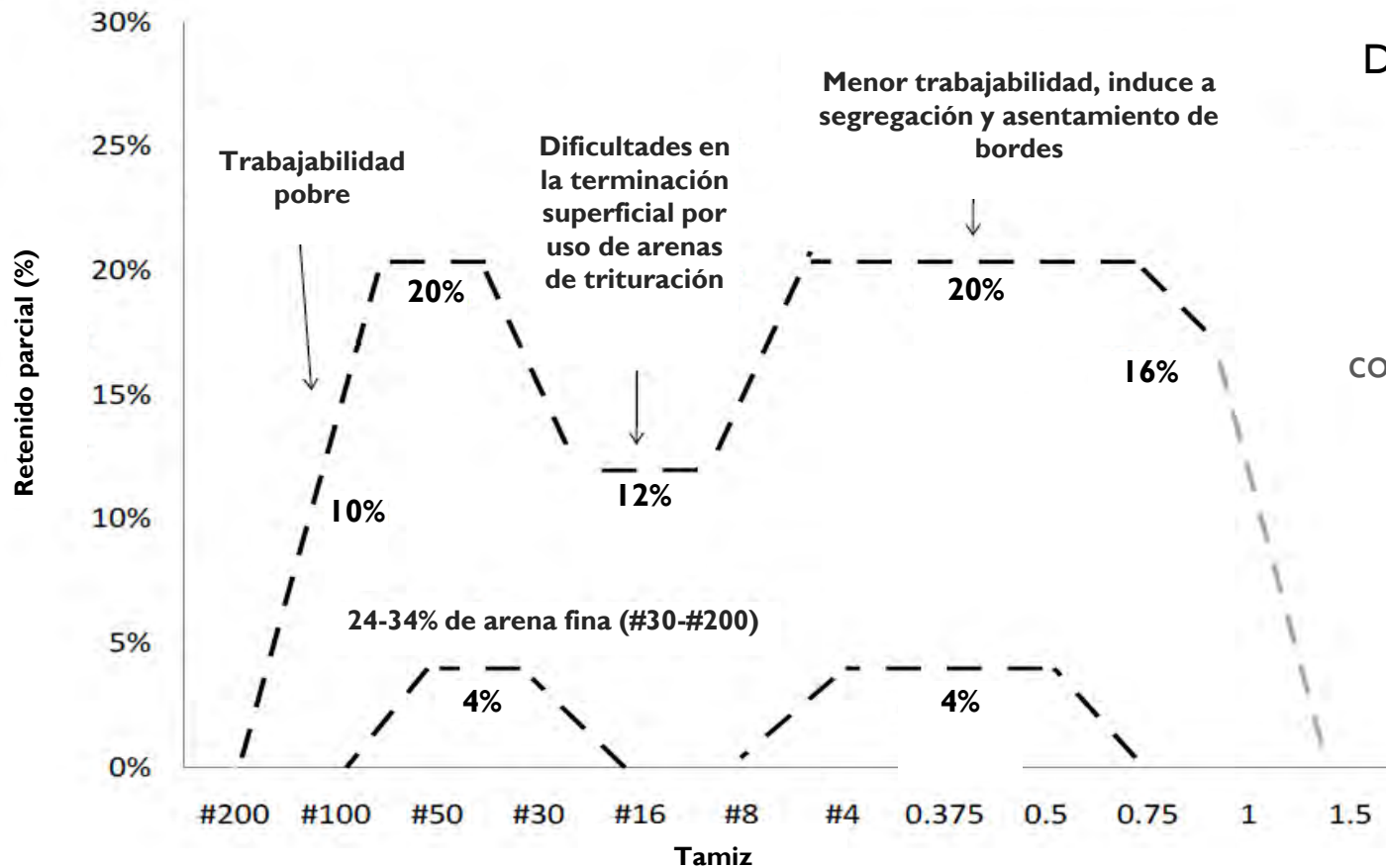
Properties	w/cm	air	F fly ash	C fly ash	slag
Workability↑	↑	↑	↑	↑	↑
Ultimate strength ↑	↓	↓	↑	↑	↑
Permeability ↓	↓	↓	↓	↓	↓
Chloride ingress ↓	↓	↓	↓	↓	↓
Sulfate resistance ↑	↓	↓	↑	↕	↑
Freeze-thaw resistance ↑	↓	↑	↔	↔	↔
Durability ↑	↓	↓	↑	↑	↑

Taylor

*The effects of chemical admixtures are not provided due to their effect depends on the type and dosage of the admixture being used.

4. Cuantificar volumen de pasta necesaria con el volumen de vacíos

Mezcla de agregados Para hormigones TAR



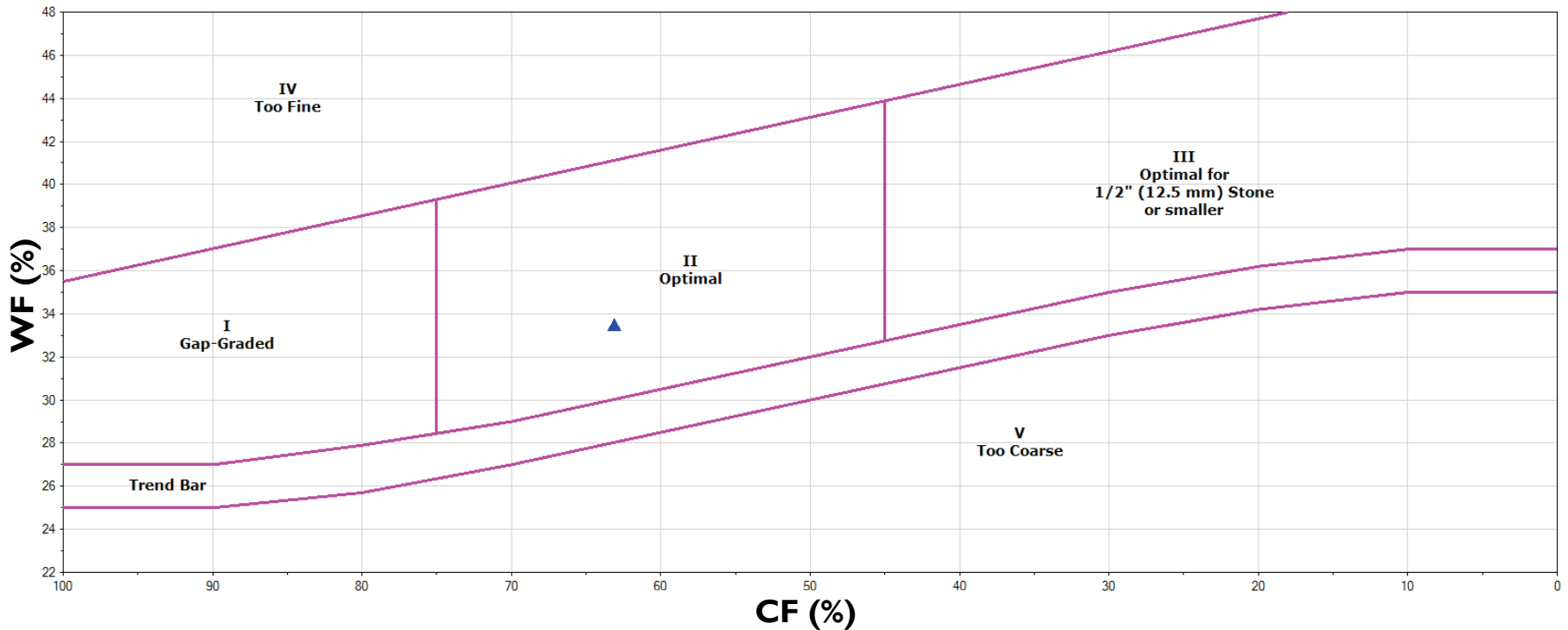
“Tarántula”
 Densidad óptima para la trabajabilidad adecuada y necesaria (Máxima compacidad puede afectar la trabajabilidad)

Cook et al.
2013

Ajuste granulométrico $V_{vacíos} \approx 20\%$

Mezcla de agregados Para hormigones TAR

Otra alternativa para diseño de la mezcla de agregados



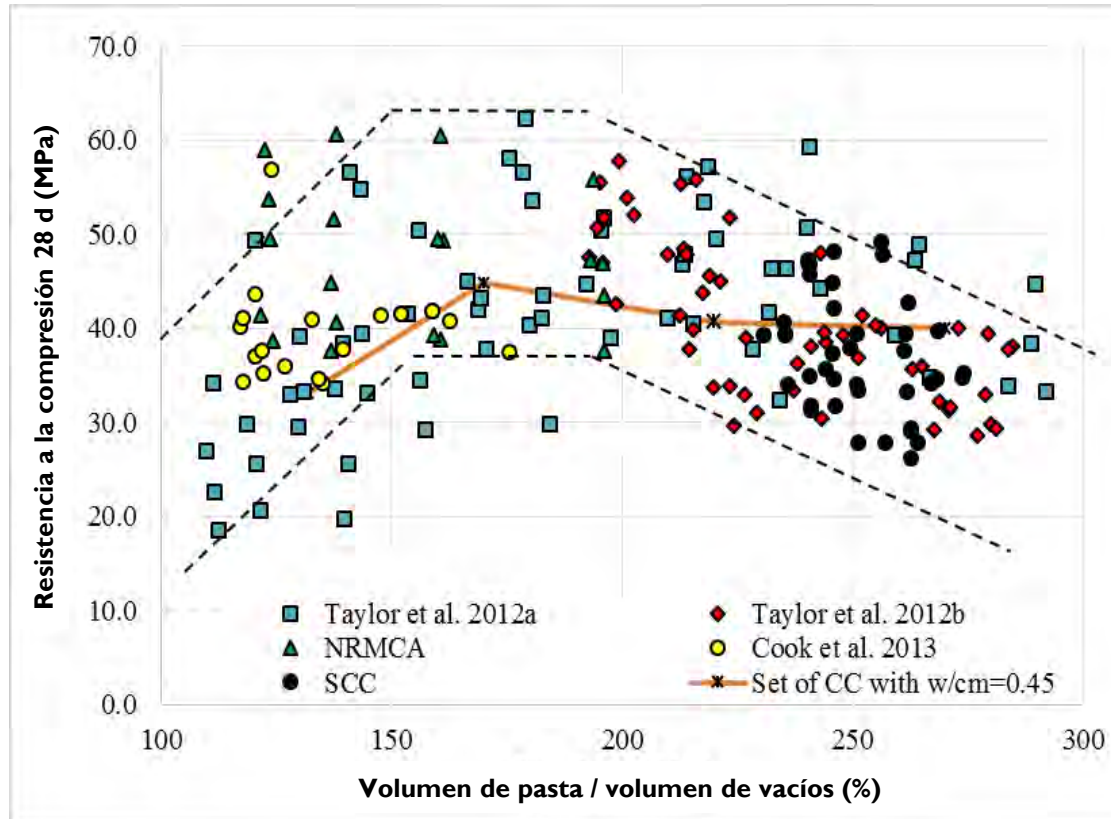
ACI 302

$$CF (\%) = (\% \text{ Retenido acumulado } 3/8'' / \text{ Retenido acumulado } \#8) * 100$$

$$WF (\%) = \% \text{ Pasa tamiz } \#8$$

Hormigones TAR

Contenido de pasta



Taylor

AJUSTE PASTA CEMENTICIA
 $V_{pasta} \approx 175\% \cdot V_{vacíos}$

Si $V_{pasta} < 175\% \cdot V_{vacíos}$, reductores de agua no ofrecen mejoras en la consistencia

Diseño de mezclas

Resistencia de diseño

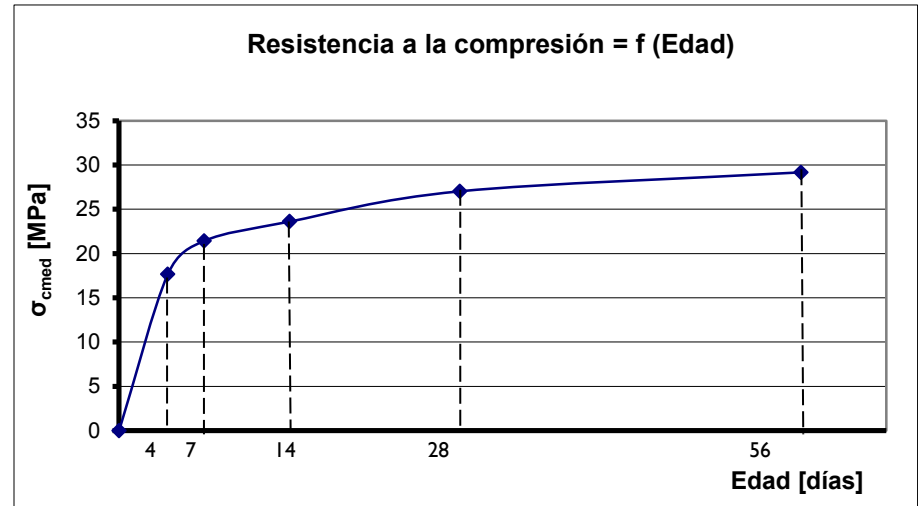
Diseño para edades distintas a 28 d

Edad \neq 28 días



Usar relación de resistencias entre 28 d y la edad de diseño

Ejemplo: Diseño a 7 días



Si $f'_{cm} = 35$ MPa a 7 d y

$f'_{cr.7\text{días}} / f'_{cr.28\text{días}} = 80\%$, entonces



Resistencia de diseño a 28 d: $f'_{cm} = 35 \text{ MPa} / 0,80 = 44 \text{ MPa}$

Diseño de mezclas

Bases para el diseño

Consistencia (asentamiento) objetivo

- Para colocación con **molde fijo**: 7 a 10 cm (Caso pavimentos urbanos)
- Para colocación **con encofrado deslizante**: 2 a 4 cm (Caso TAR)

Influencia del tipo de agregado

**Bordes
angulosos y
caras rugosas**



Incremento de la resistencia mecánica
(Trabazón, adherencia)

**Textura
rugosa**



Mayor demanda de pasta

**Combinación
de fracciones**



Minimizar vacíos → minimizar pasta

Diseño de mezclas

Bases para el diseño

Incorporación intencional de aire

- **Por durabilidad:**
Ver CIRSOC 201 - Durabilidad

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Total de aire natural e intencionalmente incorporado al hormigón, de acuerdo con el tipo de exposición o para hormigones especiales (Capítulo 2, Tablas 2.5. y 2.7.)	
	Exposición tipo C1 y hormigón a colocar bajo agua	Exposición tipo C2
mm	% en volumen	% en volumen
13,2	5,5 ± 1,5	7,0 ± 1,5
19,0	5,0 ± 1,5	6,0 ± 1,5
26,5	4,5 ± 1,5	6,0 ± 1,5
37,5	4,5 ± 1,5	5,5 ± 1,5
53,0	4,0 ± 1,5	5,0 ± 1,5

- **Por trabajabilidad:**

En TAR, si fuere necesario: ~ 4-6 % (Total hormigón)

Hormigones TAR

Lineamientos base

- CUC moderado, preferentemente $< 350 \text{ kg/m}^3$
- $a/c \sim 0,40$
- MF AgTotal $\sim 5,5$ a $6,0$ (AF $\sim 36-40 \%$)
- Asentamiento: 2-4 cm
- Resistencia a la compresión: $\sim H30$
- Resistencia tracción por flexión: $\sim 4,5 \text{ MPa}$
- Capacidad de exudación: 1-3 % -tip-
- CET Hormigón $\leq 10,5 \cdot 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$
- Resistencia a corta edad para acotar riesgo de fisuración
- Moderado Módulo E

Hormigones Fast-Track

Lineamientos base

- CUC elevado
- a/c ~ 0,37 - 0,40
- Asentamiento: 7-10 cm (molde y regla)
- Resistencia a la compresión: ~ H30
- Resistencia tracción por flexión: ~ 4,0 – 4,5 MPa

Hormigones HCR para pavimentos

Lineamientos base

- Ajustar cuidadosamente la mezcla de agregados, y mantener uniformidad
- La resistencia conserva fuerte vínculo con la densidad lograda
- TM no mayores a 19,0 mm son preferibles; % pasa #200 entre 2 al 8 %
- CUC: 80 a 160 kg/m³ (10-16 % de “masa agregados (s) + mat cementicio”)
- Humedad de la mezcla: ~ 7 - 8 %
- Consistencia muy seca: $T_{VEBE} = \sim 30 \text{ s}$
- El curado es clave! (rociado, membranas plásticas o capa asfáltica)

Diseño de mezclas

Verificación y ajuste

- Todo **método racional** entrega una **dosificación teórica**. **Verificarla y ajustarla en escala de laboratorio y producción**
- Generalmente, la dosificación debe ser sometida a consideración por la Inspección con la debida anticipación.
- Verificar la dosis de aditivos y la oportunidad de incorporación
- Trazar la curva de evolución de resistencia para el conjunto de materiales utilizados

Diseño de mezclas para pavimentos de hormigón

Ing. Matías Polzinetti

matias.polzinetti@icpa.org.ar

San Martín 1137 | 1° Piso

Ciudad Autónoma de Buenos Aires | Argentina

Teléfono: (+54 11) 4576 7695 / 7690 | www.icpa.org.ar

