

MÓDULO 10

MATERIALES PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS Y DE ADOQUINES

CONTENIDO

- Materiales para la construcción de pavimentos rígidos
- Materiales constitutivos del concreto
- Curado del concreto
- Ensayos sobre las mezclas de concreto
- Diseño de mezclas de concreto hidráulico para pavimentos
- Otros materiales
- Materiales para pavimentos articulados

**MATERIALES PARA PAVIMENTOS
RÍGIDOS Y DE ADOQUINES**

**MATERIALES PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE
PAVIMENTOS RÍGIDOS**

MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

Concreto

- Mezcla homogénea de cemento Portland, agua, agregados fino y grueso y aditivos, cuando se requieren
- La mezcla de concreto constituye la estructura del pavimento



MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

Acero

- Para pasadores y varillas de unión
- También para mallas electrosoldadas en pavimentos de concreto reforzado

Materiales para el curado

- Evitan que los agentes atmosféricos sequen prematuramente la superficie de la losa que se acaba de vaciar

Sellante para las juntas

- Asegura la estanqueidad de las juntas, minimiza la infiltración de agua superficial y evita la penetración de partículas sólidas entre las caras de las juntas

**MATERIALES PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS**

**MATERIALES
CONSTITUTIVOS DEL
CONCRETO**

Cemento Portland

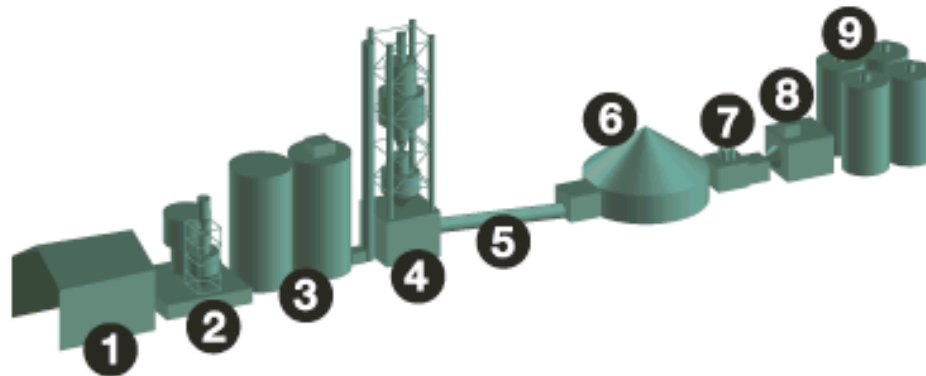
➤ Producto obtenido por pulverización del “clinker” Portland, con la adición de una o más formas de sulfato de calcio, admitiéndose la adición de otros productos que no afecten las propiedades del cemento resultante



MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

Cemento Portland

ESQUEMA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

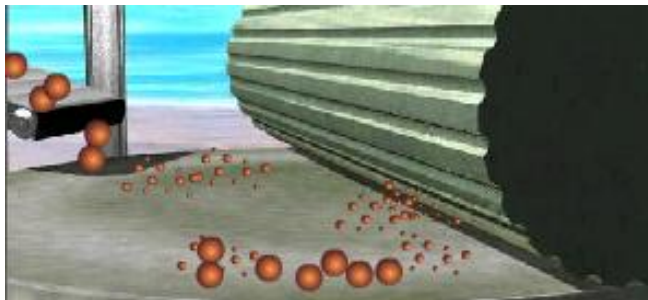


1. Almacenamiento de materias primas
2. Trituración
3. Mezcla
4. Precalentamiento
5. Horno rotatorio
6. Almacenamiento del klinker
7. Adiciones (yeso, ceniza volante, etc)
8. Trituración
9. Almacenamiento del cemento

Cemento Portland

FABRICACIÓN

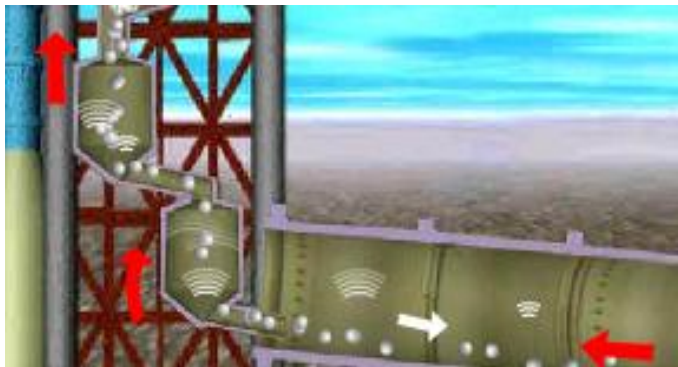
- La combinación más común de ingredientes está constituida por piedra caliza (fuente de calcio), con arcilla y arena (como fuentes de sílice, aluminio y hierro)
- La materia prima es triturada, dosificada y mezclada



Cemento Portland

FABRICACIÓN

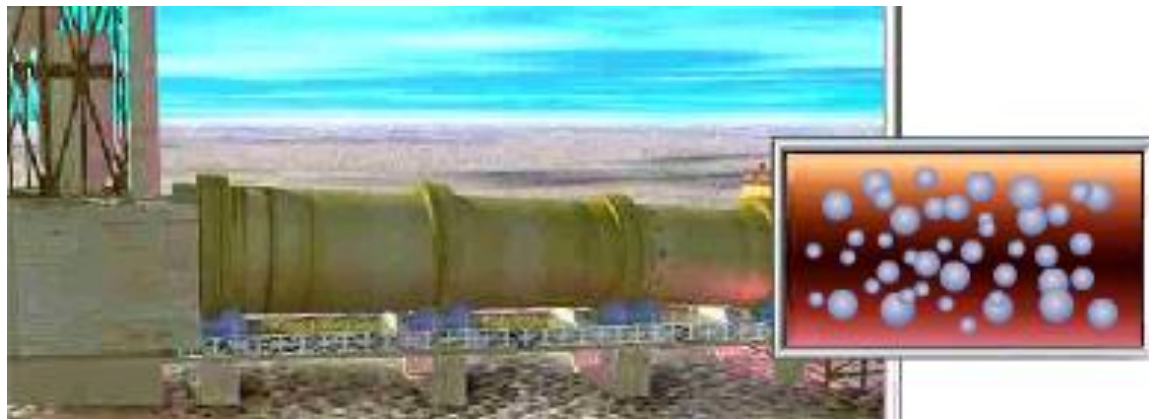
➤ La materia prima triturada pasa a través de una torre de precalentamiento y posteriormente a un horno rotatorio de grandes dimensiones donde es calcinada a alta temperatura ($1300^{\circ}\text{C} - 1400^{\circ}\text{C}$)



Cemento Portland

FABRICACIÓN

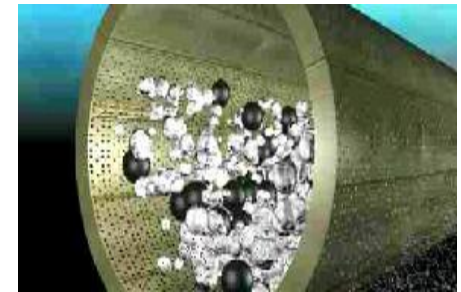
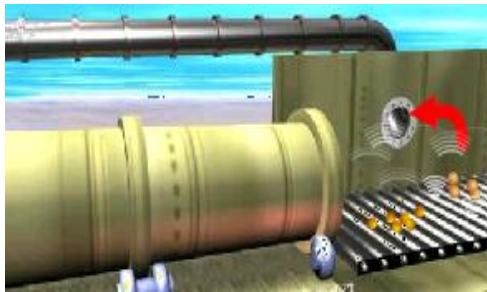
➤ La materia prima emerge por el extremo inferior del horno, como una nueva sustancia formada por partículas al rojo vivo, denominadas “clinker”



Cemento Portland

FABRICACIÓN

- El “clinker” es enfriado al caer sobre una reja sometida a una corriente de aire forzado
- Se añade yeso para evitar que el cemento resultante fragüe rápidamente y se tritura el “clinker” en un molino de bolas, dando como resultado el cemento Portland



Cemento Portland

COMPOSICIÓN

➤ La composición típica de un cemento Portland es la siguiente:

Óxido de calcio, CaO	62-67%
Óxido de silicio, SiO ₂	20-25%
Óxido de aluminio, Al ₂ O ₃	3-7%
Óxido de hierro, Fe ₂ O ₃	2-5%
Trióxido de azufre, SO ₃	1-3%

MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

Cemento Portland

➤ De acuerdo con sus cualidades y usos, existen los siguientes tipos de cemento Portland (NTC 30)

Tipo	Características
1	Normal, que es el empleado en las obras de hormigón en general y es el más utilizado en la construcción de pavimentos
1M	Destinado a obras de hormigón en general, pero que presenta resistencias superiores a las del tipo I
2	Uso en obras de hormigón expuestas a la acción moderada de sulfatos y donde se requiera moderado calor de hidratación
3	Cemento de alta resistencia inicial
4	Cemento que desarrolla bajo calor de hidratación
5	Cemento de alta resistencia a la acción de sulfatos
1A	Tipo 1 al cual se adiciona un incorporador de aire
1MA	Tipo 1 M al cual se adiciona un incorporador de aire
2A	Tipo 2 al cual se adiciona un incorporador de aire
3A	Tipo 3 al cual se adiciona un incorporador de aire

Los cementos 1M y 1MA no están especificados en la norma ASTM C150

Cemento Portland

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS

- Las características químicas y físicas del cemento Portland deben satisfacer los requisitos indicados en la norma ASTM C150
- En la construcción del pavimento rígido se empleará cemento Portland del Tipo 1 si los documentos del proyecto no presentan indicación en contrario

Cemento Portland

REQUISITOS QUÍMICOS NORMALES PARA CEMENTO PORTLAND TIPO 1 (ASTM C150)

REQUISITO	VALOR
Óxido de magnesio (MgO), máx. %	6.0
Trióxido de azufre (SO ₃), máx. %:	
Si 3CaO.Al ₂ O ₃ es 8% o menor	3.0
Si 3CaO.Al ₂ O ₃ es mayor de 8%	3.5
Pérdida por ignición, máx. %	3.0
Residuo insoluble, máx. %	0.75

Los ensayos se realizan de acuerdo con la norma ASTM C 114

MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

Cemento Portland

REQUISITOS FÍSICOS NORMALES PARA CEMENTO PORTLAND TIPO 1 (ASTM C150)

REQUISITO	NORMA	VALOR
Finura, superficie específica, m ² /kg: Turbidímetro de Wagner, mín.	C 115	160
Permeabilidad al aire de Blaine, mín.	C 204	280
Expansión al autoclave, % máximo	C 151	0.80
Tiempo de fraguado: Método Gillmore: Fraguado inicial, minutos, no menos de Fraguado final, minutos, no más de	C 266	60 600
Método Vicat: Fraguado inicial, minutos, no menos de Fraguado final, minutos, no más de	C 191	45 375
Resistencia a compresión mínima, MPa: 3 días 7 días	C 109	12 19
Contenido de aire del mortero, volumen, % máximo	C 185	12

ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

1. Finura

- La hidratación de las partículas de cemento es lenta y depende del diámetro de sus partículas
- Cuanto más fino sea el cemento, mayor será la cantidad de él que se hidrate, pues la superficie total expuesta será mayor
- Al hidratarse un porcentaje mayor de la masa del cemento se obtendrá una mayor resistencia

MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

1. Finura



Turbidímetro de Wagner



Permeámetro de Blaine

ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

1. Finura

1.1 Turbidímetro de Wagner (ASTM C115 – INV E-303)

- Usa una celda fotoeléctrica para medir la intensidad de un haz de luz que pasa a través de una suspensión de partículas de cemento en un líquido (kerosén)
- Mediante la ley de Stokes se puede determinar la distribución del tamaño de las partículas y, a partir de ella, la superficie específica del cemento

MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

1. Finura

1.2 Permeámetro de Blaine (ASTM C204 – INV E-302)

- Mide la permeabilidad al paso del aire de una capa de cemento compactada en el permeámetro
- El aire se hace pasar a través de la muestra mediante succión, determinándose el tiempo que un líquido normalizado demora en pasar entre dos marcas y, a partir de él, se puede determinar la superficie específica del cemento

ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

2. Expansión al autoclave (ASTM C151 – INV E-304)

- Ensayo que se realiza sobre la pasta (cemento+agua) para establecer si el contenido de óxido de magnesio puede ser peligroso para la estabilidad de las mezclas que se hagan con el cemento
- Una barra de pasta de cemento de $2.5 \times 2.5 \times 25$ cm se somete a vapor de agua a una presión de 20.7 kg/cm^2 durante 3 horas y luego se mide el porcentaje de aumento de longitud de la barra a causa de este proceso

MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

2. Expansión al autoclave (ASTM C151 – INV E-304)



ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

3. Tiempo de fraguado

- El fraguado se refiere al paso de la mezcla del estado fluido o plástico al estado sólido
- En la práctica se utilizan los términos de fraguado inicial y fraguado final para describir dos etapas del fraguado definidas arbitrariamente
- Para el control de calidad del cemento, los tiempos de fraguado se determinan sobre la pasta de cemento

MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

3. Tiempo de fraguado



Método Gillmore



Método Vicat

ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

3. Tiempo de fraguado

3.1 Método Gillmore (ASTM C266 – INV E-306)

- Una muestra de pasta de consistencia normal se somete periódicamente a la penetración de las agujas del aparato
- Cuando una aguja de diámetro 1/12” y peso de ¼ libra deja una pequeña huella en la pasta, pero no penetra en ella, se dice que se produce el “fraguado inicial”
- Cuando una aguja de diámetro 1/24” y peso de 1 libra no penetra en la pasta, se dice que se produce el “fraguado final”

ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

3. Tiempo de fraguado

3.2 Método Vicat (ASTM C191 – INV E-305)

- Una muestra de pasta de consistencia normal se somete periódicamente a la penetración de una aguja de 1 mm de diámetro y 300 gramos de peso, a diferentes tiempos
- Cuando la aguja penetra 25 mm en 30 segundos, se dice que ha transcurrido el tiempo de “fraguado inicial”
- Cuando la aguja sólo deja una ligera huella en la pasta, se dice que ha transcurrido el tiempo de “fraguado final”

ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

4. Resistencia a compresión (ASTM C109 – INV E-323)

- La resistencia mecánica del cemento endurecido es la propiedad que resulta más obvia en cuanto a los requisitos para usos estructurales
- La medida de resistencia no se realiza sobre la pasta de cemento puro, por cuanto se presentan dificultades de moldeo que darían lugar a resultados muy dispersos
- Por lo tanto, la medida se realiza sobre el mortero, es decir una mezcla de agua, cemento y un agregado fino específico, en proporciones normalizadas

ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

4. Resistencia a compresión (ASTM C109 – INV E-323)

- El mortero de prueba está compuesto por una parte de cemento y 2.75 partes de una arena silícea normalizada (arena de Ottawa) con una gradación específica
- La cantidad de agua en el mortero debe ser la necesaria para producir una relación agua/cemento = 0.485
- El mortero se coloca en moldes cúbicos de 50 mm de lado, los cuales se mantienen 24 horas en una cámara húmeda y el resto del tiempo los cubos se colocan sueltos en agua hasta el día del ensayo

MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

4. Resistencia a compresión (ASTM C109 – INV E-323)



MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

5. Contenido de aire del mortero (ASTM C185 – INV E-328)

- La prueba tiene por finalidad determinar si se cumplen los requisitos de aire incorporado, según el tipo de cemento que se esté ensayando
- El ensayo se realiza sobre un mortero elaborado con 1400 gramos de una arena estandarizada, 350 gramos de cemento y una cantidad de agua tal, que produzca una fluidez de $87.5\% \pm 7.5\%$ en la mesa de flujo

ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

5. Contenido de aire del mortero (ASTM C 185 – INV E-328)

- La prueba de fluidez se realiza colocando el molde de flujo sobre la mesa de flujo y vertiendo dentro de él y compactando, bajo condiciones normalizadas, una muestra del mortero con determinada cantidad de agua
- Después de compactado el mortero se retira el molde y se somete la mesa a 10 impactos, girando la manivela que acciona la excéntrica sobre la cual se apoya su plataforma, midiéndose el incremento del diámetro inferior del mortero
- Se hacen tanteos con diferentes contenidos de agua hasta encontrar el que incrementa el diámetro en $87.5\% \pm 7.5\%$

MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

5. Contenido de aire del mortero (ASTM C185 – INV E-328)



**Equipo para prueba
de fluidez**



**Molde para ensayo
de contenido de aire**

MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

5. Contenido de aire del mortero (ASTM C185 – INV E-328)

PRUEBA DE FLUIDEZ



Se llena el molde



Se retira el molde



Se mide el aumento de diámetro tras los golpes

MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND

5. Contenido de aire del mortero (ASTM C185 – INV E-328)

- El mortero dosificado se coloca en 3 capas dentro de un molde de 400 cm³, se enrasa y se pesa, determinándose el peso neto del mortero (W)
- Se calcula el contenido de aire:

$$\text{Contenido de aire, volumen \%} = 100 - W \frac{(182.7 + P)}{(2000 + 4P)}$$

P = porcentaje de agua en la mezcla, basado en la masa del cemento usado

MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

Agua

- Su función es permitir la hidratación del cemento y hacer manejable la mezcla
- Debe ser limpia y libre de cualquier sustancia perjudicial al pavimento terminado
- En general, se considera adecuada el agua que sea apta para el consumo humano

REQUISITOS DEL AGUA PARA EL CONCRETO

Características	Límite
pH	≥ 5
Sustancias disueltas	≤ 15 g/l
Contenido de sulfatos (SO ₄)	≤ 1 g/l
Sustancias orgánicas solubles en éter	≤ 15 g/l
Contenido de ion cloro	≤ 6 g/l
Hidratos de carbono (azúcares)	0

Agregado fino

- Fracción de agregado que pasa por el tamiz # 4
- Puede provenir de arenas naturales o de la trituración de gravas, rocas o escorias
- Requisitos de calidad:
 - Granulometría

Tamiz (mm)	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15
% PASA	100	95-100	80-100	50-85	25-60	10-30	2-10

Agregado fino

➤ Requisitos de calidad (cont.):

— Módulo de finura

→ Permite estimar qué tan fina o gruesa es la arena

→ Es la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices indicados en el cuadro de control granulométrico (9.5 mm hasta 0.15 mm)

→ Su valor se usa en el diseño de las mezclas de concreto

MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

Agregado fino

➤ Requisitos de calidad (cont.):

— Contenido de sustancias perjudiciales

Características	Límite
Terrones de arcilla y partículas deleznable	$\leq 1 \%$
Material que pasa por el tamiz No. 200	$\leq 5 \%$
Cantidad de partículas livianas	$\leq 0,5 \%$
Contenido de sulfatos (SO ₄)	$\leq 1,2 \%$

— Reactividad con los álcalis del cemento: No debe presentar

— Equivalente de arena: $\geq 60 \%$

— Pérdida en ensayo de solidez $\leq 10 \%$ (Na₂SO₄) ó $\leq 15 \%$ (MgSO₄)

Agregado fino

➤ Requisitos de calidad (cont.):

— No se permite el empleo de arena que en el ensayo colorimétrico para detección de materia orgánica (norma de ensayo INV E-212) produzca un color más oscuro que el de la muestra patrón



Agregado grueso

- Fracción de agregado retenida en el tamiz # 4
- Puede ser grava natural o proceder de la trituración de grava, roca u otro producto adecuado
- Requisitos de calidad:
 - Granulometría

Tamiz (mm)	57	50	37,5	25	19	12,5	9,5	4,75
% PASA AG 1	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5
% PASA AG 2	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5

- Partículas planas y alargadas (relación 5:1) $\leq 10 \%$
- Desgaste Los Ángeles $\leq 40 \%$
- Desgaste Micro Deval $\leq 30 \%$

MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

Agregado grueso

➤ Requisitos de calidad (cont.):

- Pérdidas en ensayos de solidez $\leq 12\%$ (Na_2SO_4)
ó $18\% \leq (\text{MgSO}_4)$
- Contenido de sustancias perjudiciales

Características	Límite
Terrones de arcilla y partículas deleznable	$\leq 0,25 \%$
Cantidad de partículas livianas	$\leq 0,50 \%$
Contenido de sulfatos (SO_4)	$\leq 1,00 \%$

- No debe presentar reactividad con los álcalis del cemento

Aditivos

- Sustancias que se agregan al concreto para modificar o mejorar una o más de sus características básicas
- Los aditivos se pueden clasificar (ASTM C 494) en :
 - Plastificantes, que permiten disminuir la cantidad de agua necesaria para obtener una determinada consistencia del hormigón.
 - Retardadores, los cuales retardan el fraguado del concreto

Aditivos (cont.)

- Acelerantes, que aceleran tanto el fraguado como la resistencia a temprana edad
 - Plastificantes retardadores
 - Plastificantes acelerantes
 - Inclusores de aire (ASTM C1017), incrementan la resistencia ante ciclos de congelamiento y deshielo y contribuyen en la trabajabilidad y la resistencia a los sulfatos y a la reacción sílice-álcalis
- Existen otros productos no incluidos en la anterior clasificación: impermeabilizantes, repelentes de agua, colorantes, superplastificantes, etc.

MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

Aditivos



Adiciones

➤ Las cenizas volantes (ASTM C618) se pueden incorporar en una mezcla de concreto con alguno de los siguientes propósitos:

—Como material inerte, para corregir la carencia de finos de la arena (adición)

—Como complemento del efecto ligante del cemento, que aporta resistencia al final del período, por el hecho de tener poder puzolánico en presencia de cal o de yeso (aditivo)

**FACTORES QUE DETERMINAN
LA CALIDAD DEL CONCRETO**

CURADO DEL CONCRETO

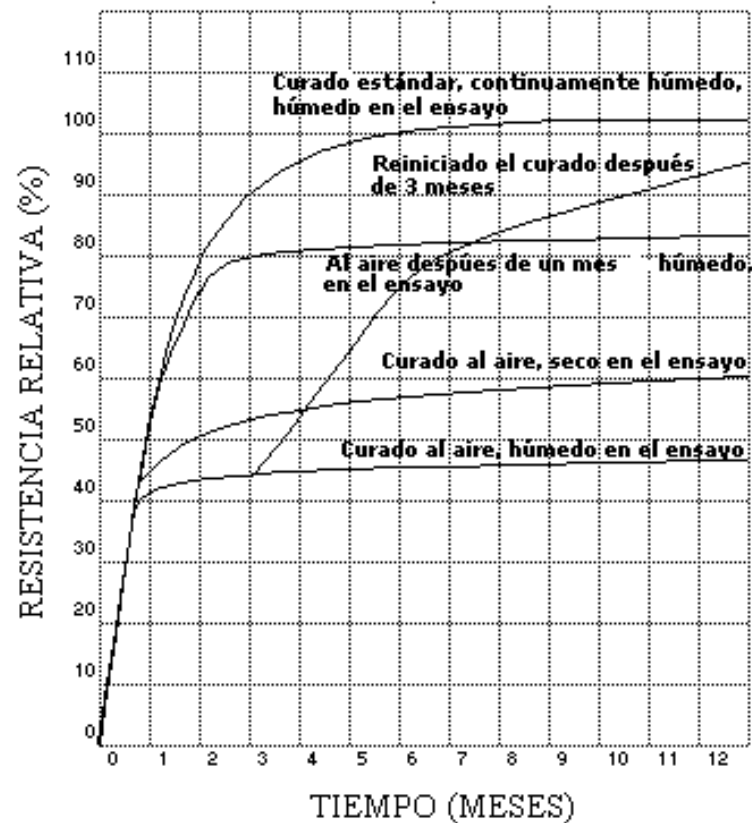
CURADO DEL CONCRETO

Definición

➤ Es el proceso de mantener un contenido de humedad satisfactorio y una temperatura favorable en el cemento durante un periodo de tiempo apropiado, de manera de evitar la pérdida acelerada de agua (reducir la fisuración) y garantizar la hidratación del cemento (asegurar la resistencia)

CURADO DEL CONCRETO

EFFECTO DE LAS CONDICIONES DE HUMEDAD DURANTE EL CURADO Y EN EL INSTANTE DE FALLA, SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



**MATERIALES PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS**

**ENSAYOS SOBRE LAS
MEZCLAS DE CONCRETO**

ENSAYOS SOBRE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD Y EL DISEÑO DE LA MEZCLA

1. Composición

1.1 Consistencia (ASTM C143 – INV E- 404)

- Sirve para determinar variaciones en la uniformidad entre las diferentes batchadas de una determinada mezcla
- También da una idea de la trabajabilidad y de la facilidad de puesta en obra del concreto
- La prueba no constituye una medida de resistencia, de durabilidad o de comportamiento futuro

ENSAYOS SOBRE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD Y EL DISEÑO DE LA MEZCLA

1. Composición

1.1 Consistencia (ASTM C143 – INV E-404)



Cono de consistencia de Abrams

ENSAYOS SOBRE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD Y EL DISEÑO DE LA MEZCLA

1. Composición

1.2 Contenido de aire (ASTM C 231 – ASTM C 173)

- El ensayo mide el contenido de aire total de una mezcla de concreto fresco
- No permite establecer el contenido de aire incluido, que incide en la durabilidad del concreto endurecido
- La prueba se realiza antes del vibrado y consolidación del concreto en obra, lo que limita la representatividad del resultado respecto de la durabilidad

ENSAYOS SOBRE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD Y EL DISEÑO DE LA MEZCLA

1. Composición

1.2 Contenido de aire



**Método de presión
(ASTM C-231 – INV E-406)**



**Método volumétrico
(ASTM C173 – INV E-408)**

ENSAYOS SOBRE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD Y EL DISEÑO DE LA MEZCLA

2. Resistencia a la compresión (f'_c) (ASTM C39 – INV E-410)

- Es una medida universal de la calidad del concreto
- No está muy relacionada con las condiciones de trabajo de un pavimento rígido, dado que la relación entre los esfuerzos de compresión del tránsito y la resistencia a la compresión del concreto es muy pequeña para influir sobre el espesor de diseño de las losas

ENSAYOS SOBRE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD Y EL DISEÑO DE LA MEZCLA

2. Resistencia a la compresión (f'_c) (ASTM C39)



ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD Y EL DISEÑO DE LA MEZCLA

3. Resistencia a la flexión σ_R (ASTM C78 – INV E-414)

- Es el esfuerzo en la fibra extrema bajo la carga de rotura
- Es el valor que se utiliza en el diseño de pavimentos rígidos, debido a que la relación entre los esfuerzos de flexión producidos por el tránsito y la resistencia a flexión del concreto es alta, a menudo mayor de 0.50
- El período de curado utilizado para determinar esta resistencia es de 28 días en diseños para calles y carreteras y de 90 días en diseños para pistas de aeropuertos

ENSAYOS SOBRE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD Y EL DISEÑO DE LA MEZCLA

3. Resistencia a la flexión σ_R (ASTM C78 - INV E-414)

➤ La resistencia a la flexión se determina mediante ensayos de módulo de rotura sobre probetas prismáticas apoyadas en sus extremos y aplicando dos cargas concentradas en los tercios de la luz



ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD Y EL DISEÑO DE LA MEZCLA

3. Resistencia a la flexión σ_R (ASTM C78 – INV E-414)

➤ La resistencia se determina mediante las expresiones:

$$\sigma_R = \frac{Pl}{bd^2} \quad (\text{Si la fractura se inicia en el tercio medio de la luz libre})$$

$$\sigma_R = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (\text{Si la fractura se inicia fuera del tercio medio de la luz libre, pero separada de él a una distancia } \leq 5\% \text{ de la luz libre})$$

P = máxima carga aplicada

l = longitud libre entre apoyos

b = ancho promedio de la probeta

d = altura promedio de la probeta

a = distancia entre la línea de fractura y el apoyo más cercano

ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD Y EL DISEÑO DE LA MEZCLA

4. Ensayo de tensión σ_T

- No se suele medir de manera directa
- El ensayo usual es el de tracción indirecta sobre cilindros normales de concreto (ASTM C496 – INV E-411)
- El ensayo tiene algunas ventajas de orden práctico respecto del método del módulo de rotura:
 - Emplea probetas cilíndricas iguales a las usadas en el ensayo a compresión
 - No requiere aditamentos especiales para la máquina de ensayo
 - El valor σ_T correlaciona bastante bien con el σ_R

ENSAYOS SOBRE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD Y EL DISEÑO DE LA MEZCLA

4. Ensayo de tracción indirecta σ_T (ASTM C496 – INV E-411)



$$\sigma_T = \frac{2P}{\pi DL}$$

P = carga máxima de ensayo

D = diámetro del cilindro

L = longitud del cilindro

ENSAYOS SOBRE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

CORRELACIONES ENTRE LAS DIFERENTES MEDIDAS DE RESISTENCIA

Resistencia a flexión σ_R - Resistencia a compresión (f'_c)

$$\sigma_R = 8.4 (f'_c)^{0.5}$$

σ_R, f'_c en psi

$$\sigma_R = K (f'_c)^{0.5}$$

K = coeficiente que varía de 2.00 a 2.70

σ_R, f'_c en kg/cm²

ENSAYOS SOBRE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

CORRELACIONES ENTRE LAS DIFERENTES MEDIDAS DE RESISTENCIA

Resistencia a tensión indirecta (σ_T) – Resistencia a
compresión (f'_c)

$$\sigma_T = 6.7 (f'_c)^{0.5}$$

σ_R, f'_c en psi

Resistencia a flexión (σ_R) – Resistencia a tensión
indirecta (σ_T)

$$\sigma_R = 1.02 \sigma_T + 200 \quad (\text{en psi})$$

ENSAYOS PARA ANÁLISIS MECANÍSTICO Y DISEÑO DE PAVIMENTOS

1. Módulo de elasticidad (E_c)

- Representa la rigidez de la losa y su capacidad para distribuir las cargas
- Incide sobre las deflexiones, curvatura, esfuerzos y deformaciones del pavimento rígido
- Es un parámetro de la mayor importancia en los programas de elementos finitos para el cálculo de esfuerzos y deformaciones

ENSAYOS PARA ANÁLISIS MECANÍSTICO Y DISEÑO DE PAVIMENTOS

1. Módulo de elasticidad (E_c)

$$E_c = 57000 (f'_c)^{0.5}$$

$$E_c = 33 (w)^{1.5} (f'_c)^{0.5}$$

Donde:

E_c = módulo de Young (libras/pg²)

w = peso unitario del concreto (libras/pie³)

f'_c = resistencia a la compresión (libras/pg²)

ENSAYOS PARA ANÁLISIS MECANÍSTICO Y DISEÑO DE PAVIMENTOS

2. Coeficiente de expansión térmica

➤ Los cambios de temperatura producen alabeos en las losas que generan esfuerzos adicionales a los de las cargas, los cuales se deben tener en cuenta para definir el espaciamiento entre juntas, la abertura de ellas y las necesidades de armadura

ENSAYOS PARA ANÁLISIS MECANÍSTICO Y DISEÑO DE PAVIMENTOS

2. Coeficiente de expansión térmica

➤ Valores propuestos por la FHWA:

— $11.7 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ para arenisca

— $10.8 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ para grava

— $16.8 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ para caliza

ENSAYOS PARA ANÁLISIS MECANÍSTICO Y DISEÑO DE PAVIMENTOS

3. Coeficiente de contracción por secado

➤ Se emplea para computar las aberturas de las juntas transversales

— 0.00080 cm/cm para concreto con σ_T menor de 300 psi

— 0.00045 cm/cm para concreto con σ_T de 500 psi

— 0.00020 cm/cm para concreto con σ_T mayor de 700 psi

ENSAYOS PARA ANÁLISIS MECANÍSTICO Y DISEÑO DE PAVIMENTOS

4. Ensayo de fatiga sobre vigas sometidas a flexión

➤ Se usan para determinar la vida a fatiga de las losas bajo carga repetida

$$N_f = K_1 \left(\frac{\sigma}{\sigma_R} \right)^n$$

N_f = número de repeticiones de carga hasta la falla

σ = esfuerzo aplicado

σ_R = módulo de rotura

K_1 , n = constantes de fatiga

ENSAYOS PARA ANÁLISIS MECANÍSTICO Y DISEÑO DE PAVIMENTOS

4. Ensayo de fatiga sobre vigas sometidas a flexión

➤ Ecuaciones de la Portland Cement Association (1985):

$$\text{Para } \frac{\sigma}{\sigma_R} \geq 0.55: \quad \log N_f = 11.737 - 12.077 \left(\frac{\sigma}{\sigma_R} \right)$$

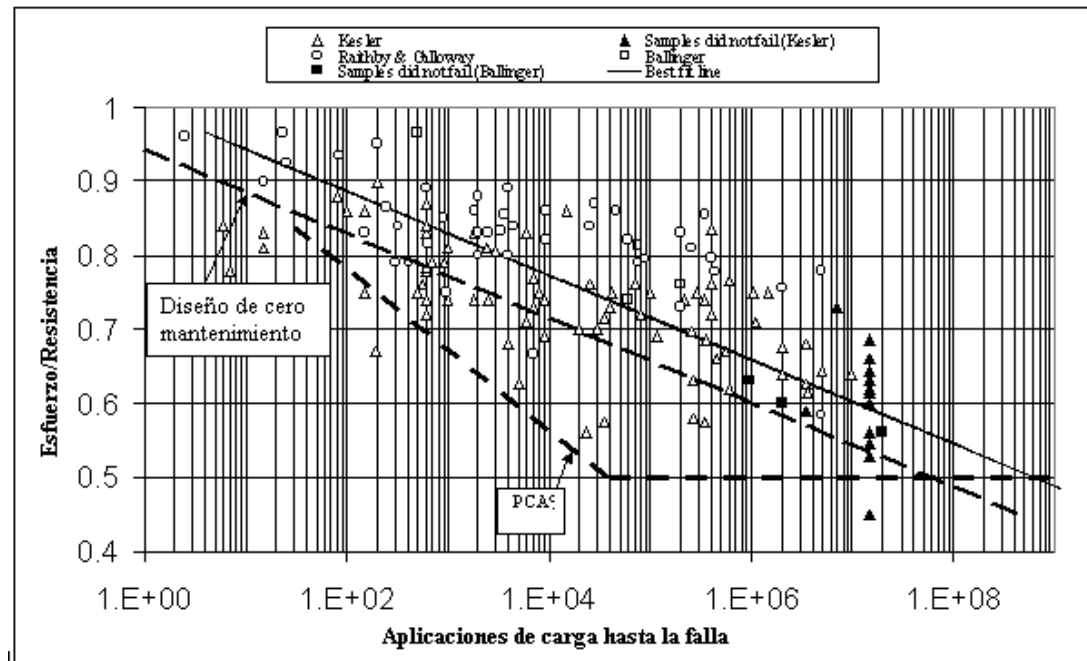
$$\text{Para } 0.45 < \frac{\sigma}{\sigma_R} < 0.55: \quad N_f = \left[\frac{4.2577}{\frac{\sigma}{\sigma_R} - 0.4325} \right]^{3.268}$$

$$\text{Para } \frac{\sigma}{\sigma_R} \leq 0.45: \quad N_f = \text{ilimitado}$$

ENSAYOS SOBRE LAS MEZCLAS DE CONCRETO

ENSAYOS PARA ANÁLISIS MECANÍSTICO Y DISEÑO DE PAVIMENTOS

4. Ensayo de fatiga sobre vigas sometidas a flexión



**DISEÑO DE MEZCLAS
DE CONCRETO
HIDRÁULICO PARA
PAVIMENTOS**

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Objetivo

- Determinar la combinación de agregados pétreos (grueso y fino), cemento Portland, agua y eventuales aditivos que den lugar a una mezcla económica que en estado fresco presente una manejabilidad apropiada y en estado endurecido presente la resistencia y la durabilidad requeridas
- Una mezcla típica de concreto para pavimento está compuesta por 60-75% de volumen de agregados y 25-40% de volumen de pasta (cemento, agua y aire)

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Datos requeridos para el diseño

1. Agregados pétreos

- Granulometría de los agregados grueso y fino
- Tamaño máximo nominal del agregado grueso
- Módulo de finura del agregado fino
- Peso específico aparente y absorción
- Peso unitario seco y apisonado
- Humedad antes de realizar la mezcla

2. Agua

- Peso específico (usualmente 1000 kg/m^3)

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Datos requeridos para el diseño (cont.)

3. Cemento Portland

—Peso específico

4. Aditivos

—Peso específico

5. Características de elemento por construir

—Tipo de elemento

—Dimensiones

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Datos requeridos para el diseño (cont.)

6. Resistencia de diseño

—Resistencia a flexión (normalmente a 28 días)

7. Calidad del control de ejecución de la mezcla

—Uniformidad de elaboración, medida por la desviación estándar (S) de la resistencia o por el coeficiente de variación (V)

8. Condiciones de exposición del elemento

—En contacto con el agua

—Bajo condiciones de congelamiento y deshielo

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

1. Selección del asentamiento (slump)
2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado
3. Estimación del contenido de agua de la mezcla
4. Determinación del volumen de aire atrapado en la mezcla
5. Determinación de la resistencia de dosificación
6. Selección de la relación agua/cemento (A/C)
7. Cálculo de la cantidad requerida de cemento
8. Calculo de la cantidad de cada agregado
9. Ajuste de cantidades por humedad de los agregados
10. Determinación de las proporciones iniciales
11. Elaboración de mezcla de prueba y verificación del slump
12. Verificación de la resistencia de la mezcla

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

1. Selección del asentamiento (slump)

—Se escoge de acuerdo con las características de la obra por construir

Tipo de construcción	Máximo Slump (mm)	Mínimo Slump (mm)
Fundaciones reforzadas	75	25
Fundaciones de concreto simple, caissons	75	25
Vigas y muros reforzados	100	25
Columnas	100	25
Pavimentos y losas	75	25
Construcciones voluminosas	75	25

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado

—Se recomienda que no sea mayor de $1/3$ del espesor del pavimento por construir

3. Estimación del contenido de agua de la mezcla

—La cantidad de agua requerida depende del asentamiento deseado y del tamaño máximo nominal del agregado y teniendo en cuenta si el concreto se elaborará con aire incluido o no

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

3. Estimación del contenido de agua de la mezcla

CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO*								
Agua aproximada en la mezcla (kg/m ³) según el tamaño máximo nominal del agregado								
Slump (mm)	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Más de 175	-	-	-	-	-	-	-	-

* Existe una tabla similar para el caso de una mezcla de concreto con aire incluido

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

4. Determinación del volumen de aire atrapado en la mezcla

CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO								
Cantidad aproximada de aire atrapado (%)								
Slump (mm)	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75	150
Todos	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

* Existe una tabla similar para el caso de una mezcla de concreto con aire incluido

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

5. Determinación de la resistencia de dosificación

—El diseño estructural del pavimento debe especificar, en la memoria de cálculo, una resistencia de diseño a la flexión o módulo de rotura (MR_d)

—Debido a las variaciones que se producen en la elaboración, transporte, colocación, compactación y curado de la mezcla en obra, ésta debe ser dosificada para alcanzar una resistencia promedio (\overline{MR}) superior a la resistencia del diseño estructural del pavimento

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

5. Determinación de la resistencia de dosificación (cont.)

—Si se dispone de suficientes datos estadísticos sobre las características de la mezcla y sobre los procedimientos de colocación y curado, el \overline{MR} se estima con la expresión:

$$\overline{MR} = MR_d + 0.842 * S_{MR} * C$$

Siendo:

S_{MR} = desviación estándar del módulo de rotura de la mezcla

C = coeficiente de modificación, que depende del número de resultados (n) con base en el cual se estableció S_{MR}

n	≥ 30	25	20	15
C	1.00	1.03	1.08	1.16

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

5. Determinación de la resistencia de dosificación (cont.)

—Cuando no hay datos estadísticos sobre la calidad de la mezcla o se reconoce que su uniformidad es deficiente:

$$\overline{MR} = 1.25 * MR_d$$

—Es recomendable hacer los cálculos con las dos expresiones y utilizar el menor valor obtenido de \overline{MR}

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

6. Determinación de la relación agua/cemento (A/C)

- Tanto la resistencia como la durabilidad del concreto dependen de esta relación
- Existen relaciones empíricas entre A/C y la resistencia a compresión del concreto a 28 días
- Debido a que las mezclas de concreto para pavimentos rígidos se diseñan a la flexión, es necesario emplear alguna correlación confiable entre estas dos resistencias

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

6. Determinación de la relación agua cemento (A/C)

Relación entre A/C y la resistencia a compresión del concreto	
Resistencia a compresión a 28 días (MPa)	Relación A/C por peso (Concreto sin aire incluido)
40	0.42
35	0.47
30	0.54
25	0.61
20	0.69
15	0.79

* Existe una tabla similar para el caso de una mezcla de concreto con aire incluido

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

6. Determinación de la relación agua cemento (A/C) (cont.)

—La relación A/C determinada por resistencia debe ser verificada por durabilidad si la obra va a estar sometida a condiciones ambientales severas, debiendo escogerse la menor de las dos relaciones A/C obtenidas

Máxima relación A/C permisible para concretos bajo condiciones severas de exposición		
Tipo de estructura	Estructura expuesta continuamente al agua dulce y/o a ciclos de congelamiento y deshielo	Estructura expuesta al agua del mar o a sulfatos
Secciones delgadas y otras secciones que presenten una cobertura de concreto de menos de 25 mm sobre el acero de refuerzo	0.45	0.40
Todas las demás estructuras	0.50	0.45

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

7. Cálculo de la cantidad requerida de cemento

—Se determina a partir de la cantidad de agua (paso 3) y de la relación A/C (paso 6)

$$\text{Cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Agua (kg/m}^3\text{)}}{\text{A/C}}$$

$$\text{Cemento (m}^3\text{/m}^3\text{)} = \frac{\text{Cemento (kg/m}^3\text{)}}{3,150 \text{ (kg/m}^3\text{)}}$$

—Si se van a emplear adiciones puzolánicas o aditivos, se indica su cantidad, como porcentaje del peso del cemento, según las recomendaciones del proveedor

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

8. Cálculo de la cantidad de cada agregado

—Una tabla permite determinar el volumen de agregado grueso seco y apisonado (V_{agp}) por unidad de volumen de concreto, en función del tamaño máximo nominal y el módulo de finura del agregado fino

—Se entiende que los agregados grueso y fino cumplen las granulometrías indicadas en la norma ASTM C 33

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

8. Cálculo de la cantidad de cada agregado

Volumen de agregado grueso seco y apisonado por unidad de volumen de concreto (V_{agp})				
Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

8. Cálculo de la cantidad de cada agregado

—A partir del valor obtenido en la tabla se determina el volumen necesario de agregado grueso en la mezcla (V_{ag}):

$$V_{ag} = V_{agp} * \frac{\text{Peso unitario apisonado (kg/m}^3\text{)}}{\text{Peso específico aparente agregado grueso} * 1,000}$$

—Se calcula el peso del agregado grueso por unidad de volumen de mezcla (W_{ag}):

$$W_{ag} = V_{ag} * \text{peso específico aparente agregado grueso} * 1,000$$

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

8. Cálculo de la cantidad de cada agregado

—Se calcula el volumen de agregado fino por unidad de volumen de mezcla (V_{af}):

$$V_{af} = 1 - V_{ag} - V_{cemento} - V_{agua} - V_{aire}$$

—Se calcula el peso del agregado fino por unidad de volumen de mezcla (W_{agf}):

$$W_{af} = V_{af} * \text{peso específico agregado fino} * 1,000$$

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

9. Ajuste de cantidades por humedad de los agregados

—Debido a que los cálculos se realizan suponiendo agregados secos y no absorbentes, la cantidad neta de agua y de agregados por incluir en la mezcla se debe ajustar en función de la humedad de éstos en el momento de la mezcla y de sus características de absorción

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

9. Ajuste de cantidades por humedad de los agregados

$$W_{ag} \text{ ajustado} = W_{ag} \times \left[1 + \frac{(\text{absorción}_{ag} - \text{humedad natural}_{ag})}{100} \right]$$

$$W_{af} \text{ ajustado} = W_{af} \times \left[1 + \frac{(\text{absorción}_{af} - \text{humedad natural}_{af})}{100} \right]$$

$$W_{agua} \text{ ajustado} = W_{agua} + (W_{ag} \text{ ajustado} - W_{ag}) + (W_{af} \text{ ajustado} - W_{af})$$

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

10. Determinación de las proporciones iniciales

—Se expresan las cantidades iniciales de cemento, agregado fino y agregado grueso de manera proporcional, tomando como referencia el peso del cemento:

$$(A/C) : 1 \text{ (cemento)} : AF : AG$$

Siendo:

$$AF = \frac{W_{af} (kg/m^3)}{W_{cemento} (kg/m^3)}$$

$$AG = \frac{W_{ag} (kg/m^3)}{W_{cemento} (kg/m^3)}$$

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

11. Elaboración de mezcla de prueba y verificación del slump

—Con las proporciones iniciales calculadas se elabora una mezcla de prueba y se verifica si ella cumple el requisito de asentamiento

—En caso de no cumplirlo, se deben efectuar ajustes a las proporciones de ingredientes hasta lograr su cumplimiento

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Pasos del diseño de la mezcla

12. Verificación de la resistencia de la mezcla

—Hecho el ajuste por asentamiento (si hubo lugar a él) se elaboran vigas de prueba que se curan por el procedimiento normalizado y se rompen por flexión a 28 días

—Si la resistencia obtenida difiere sustancialmente de la de dosificación (\overline{MR}), se deben ajustar los contenidos de agua, cemento y agregados, sin afectar la durabilidad

—El ajuste se debe hacer variando las cantidades de cemento y agregado fino para obtener una nueva relación A/C, pero dejando constantes las cantidades de agua y agregado grueso para mantener el asentamiento (slump)

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Ejemplo de diseño

Datos agregados pétreos

- Tamaño máximo nominal del agregado grueso = 50 mm
- Módulo de finura del agregado fino = 2.80
- Peso específico aparente agregado grueso = 2.60
- Absorción agregado grueso = 2.0 %
- Humedad natural agregado grueso = 1.0 %
- Peso específico aparente agregado fino = 2.66
- Absorción agregado fino = 4.0 %
- Humedad natural agregado fino = 1.0 %

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Ejemplo de diseño (cont.)

Datos cemento

—Peso específico = 3.15

Datos del concreto

—Asentamiento (slump) = 50 mm

—MRd = 3.7 MPa

—Desviación estándar en MR en obra = 0.5 MPa

—Coeficiente de modificación = 1.08 (20 datos)

—Concreto sin aire incluido

—El pavimento estará sometido a condiciones ambientales normales

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Ejemplo de diseño (Solución)

1. Selección del asentamiento (slump)

—El valor elegido, 50 mm, se encuentra en el promedio del rango admisible para mezclas de pavimentos rígidos

2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado

—El tamaño máximo elegido, 25 mm, es inferior a la tercera parte del espesor de diseño de las losas

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Ejemplo de diseño (Solución)

3. Estimación del contenido de agua de la mezcla

CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO*								
Agua aproximada en la mezcla (kg/m ³) según el tamaño máximo nominal del agregado								
Slump (mm)	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Más de 175	-	-	-	-	-	-	-	-

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Ejemplo de diseño (Solución)

4. Determinación del volumen de aire atrapado en la mezcla

CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO								
Cantidad aproximada de aire atrapado (%)								
Slump (mm)	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75	150
Todos	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Ejemplo de diseño (Solución)

5. Determinación de la resistencia de dosificación

Opción 1:

$$\overline{MR} = MR_d + 0.842 * S_{MR} * C$$

$$\overline{MR} = 3.7 + 0.842 * 0.5 * 1.08 = 4.15 \text{ MPa (590 psi aprox.)}$$

Opción 2:

$$\overline{MR} = 1.25 * MR_d$$

$$\overline{MR} = 1.25 * 3.7 = 4.6 \text{ MPa (660 psi aprox.)}$$

Se adopta el menor de los dos (590 psi)

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Ejemplo de diseño (Solución)

6. Determinación de la relación agua cemento (A/C)

—Para establecer la relación A/C se debe conocer la resistencia a compresión de diseño a 28 días

—Como las mezclas de concreto para pavimentos rígidos se diseñan a la flexión, es necesario estimar la resistencia a compresión con alguna correlación confiable:

$$MR = 8.4 (f'_c)^{0.5} \quad (\text{valores en psi})$$

$$f'_c = (MR/8.4)^2 = (590/8.4)^2 = 4,930 \text{ psi} \quad (35 \text{ MPa aprox.})$$

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Ejemplo de diseño (Solución)

6. Determinación de la relación agua cemento (A/C)

Relación entre A/C y la resistencia a compresión del concreto	
Resistencia a compresión a 28 días (MPa)	Relación A/C por peso (Concreto sin aire incluido)
40	0.42
35	0.47
30	0.54
25	0.61
20	0.69
15	0.79

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Ejemplo de diseño (Solución)

7. Cálculo de la cantidad requerida de cemento

$$\text{Cemento (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Agua (kg/m}^3\text{)}}{A/C} = \frac{179}{0.47} = 380.85 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cemento (m}^3\text{/m}^3\text{)} = \frac{\text{Cemento (kg/m}^3\text{)}}{3150 \text{ (kg/m}^3\text{)}} = \frac{380.85}{3150} = 0.121 \text{ m}^3\text{/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Ejemplo de diseño (Solución)

8. Cálculo de la cantidad de cada agregado

Volumen de agregado grueso seco y apisonado por unidad de volumen de concreto (V_{agp})				
Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Ejemplo de diseño (Solución)

8. Cálculo de la cantidad de agregado grueso

$$V_{ag} = V_{agp} \times \frac{\text{Peso unitario apisonado (kg/m}^3\text{)}}{\text{Peso específico aparente agregado grueso} * 1,000}$$

$$V_{ag} = 0.67 \times \frac{1800}{2.60 * 1,000} = 0.464 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$W_{ag} = 0.464 * 2.60 * 1,000 = 1,206 \text{ kg/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Ejemplo de diseño (Solución)

8. Cálculo de la cantidad de agregado fino

$$V_{af} = 1 - V_{ag} - V_{cemento} - V_{agua} - V_{aire}$$

$$V_{af} = 1 - 0.464 - 0.121 - 0.179 - 0.005 = 0.231 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$W_{af} = 0.231 * 2.66 * 1,000 = 614.46 \text{ kg}/\text{m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Ejemplo de diseño (Solución)

9. Ajuste de cantidades por humedad de los agregados

$$W_{ag} \text{ ajustado} = W_{ag} \times \left[1 + \frac{(\text{absorción}_{ag} - \text{humedad natural}_{ag})}{100} \right]$$

$$W_{ag} \text{ ajustado} = 1,206 \times \left[1 + \frac{(2-1)}{100} \right] = 1,218 \text{ kg/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Ejemplo de diseño (Solución)

9. Ajuste de cantidades por humedad de los agregados

$$W_{af} \text{ ajustado} = W_{af} \times \left[1 + \frac{(\text{absorción}_{af} - \text{humedad natural}_{af})}{100} \right]$$

$$W_{af} \text{ ajustado} = 614.46 \times \left[1 + \frac{(4-1)}{100} \right] = 633 \text{ kg/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Ejemplo de diseño (Solución)

9. Ajuste de cantidades por humedad de los agregados

$$W_{\text{agua}} \text{ ajustado} = W_{\text{agua}} + (W_{\text{ag}} \text{ ajustado} - W_{\text{ag}}) + (W_{\text{af}} \text{ ajustado} - W_{\text{af}})$$

$$W_{\text{agua}} \text{ ajustado} = 179 + (1,218 - 1,206) + (633 - 614.46) = 209.5 \text{ kg/m}^3$$

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Ejemplo de diseño (Solución)

10. Determinación de las proporciones iniciales

—De acuerdo con los cálculos, se requieren las siguientes cantidades de ingredientes por metro cúbico de concreto:

—Cemento = 380.85 kg

—Agregado fino = 633 kg

—Agregado grueso = 1218 kg

—Expresando los resultados proporcionalmente al peso del cemento, se tiene:

(A/C) : 1 (cemento) : AF : AG

(0.47) : 1 : 1.66 : 3.20

MATERIALES REQUERIDOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

OTROS MATERIALES

Pasadores (varillas de transferencia de carga)

- Constituidos por barras lisas de acero redondo y liso, grado 40, que cumplan las exigencias de la norma ASTM A 615 (AASHTO M 31)
- Se colocan en las juntas transversales y deben ser revestidas en $2/3$ de su longitud con una película fina de un producto adecuado, para evitar su adherencia al concreto y no coartar su deslizamiento dentro de la losa

Varillas de unión

- Se colocan en las juntas longitudinales para evitar el desplazamiento relativo de losas de carriles vecinos
- Deben ser corrugadas, de grado 60 y cumplir las exigencias de la norma ASTM A 615 (AASHTO M31)

Refuerzo en las losas

- Se emplea para armar los pavimentos de concreto reforzado
- Puede consistir en malla de alambre de acero de refuerzo soldado (AASHTO M 55) o emparrillado de varillas de acero (AASHTO M 54)

ACERO



Pasadores



Varillas de unión



Refuerzo

MATERIALES PARA CURADO

PRODUCTOS QUE MANTIENEN UN MEDIO HÚMEDO MEDIANTE LA APLICACIÓN CONTINUA O FRECUENTE DE AGUA

- | | |
|------------------------|--------------|
| ➤ Esteras de algodón | AASHTO M 73 |
| ➤ Brin de yute o kenaf | AASHTO M 182 |

PRODUCTOS SELLANTES QUE EVITAN LA PÉRDIDA DE AGUA

- | | |
|---------------------------------|--------------|
| ➤ Papel impermeable | AASHTO M 171 |
| ➤ Polietileno blanco | ASTM C 171 |
| ➤ Compuestos líquidos de curado | AASHTO M 148 |

SELLANTE PARA LAS JUNTAS

MATERIALES MÁS COMUNES PARA EL SELLADO DE JUNTAS

1. Para vertido en caliente

- Elástico a base de asfalto polimérico ASTM D1190
- Polimérico de bajo módulo ASTM D3405
- Elastómero PVC alquitrán de hulla ASTM D3406

2. De un solo componente para aplicación en frío

- Silicona ASTM D5893

SELLANTE PARA LAS JUNTAS

MATERIALES MÁS COMUNES PARA EL SELLADO DE JUNTAS

3. De dos componentes para aplicación en frío

➤ Polímeros elastoméricos SS - S 200

4. Sellantes premoldeados

➤ Policloropreno elastomérico ASTM D2628

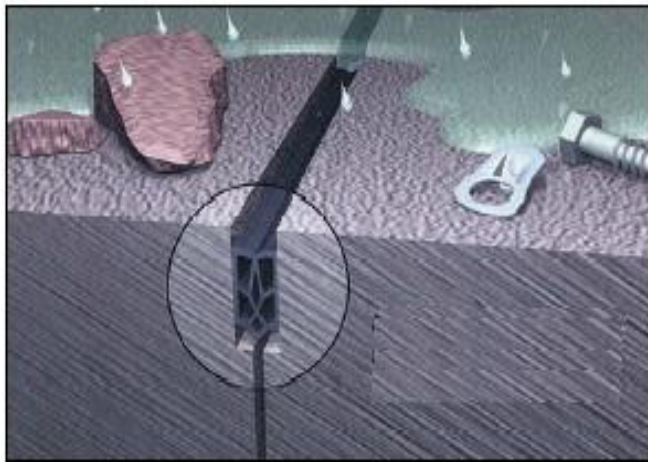
➤ Premoldeado asfáltico ASTM D994

➤ Premoldeado no bituminoso, elástico, no extruído
ASTM D1752

5. Lubricantes

Lubricante para sellante premoldeado ASTM D2835

SELLANTE PARA LAS JUNTAS



**SELLANTE PREMOLDEADO
(ASTM D 2628)**



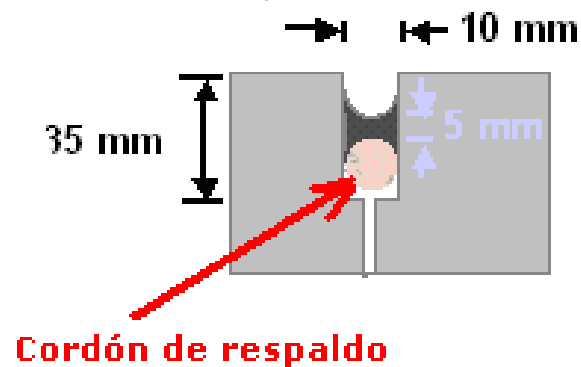
SELLANTE DE SILICONA

CORDÓN DE RESPALDO

- Se emplea cuando la junta se sella con silicona
- Debe ser antiadherente con la silicona e impedir la adhesión de ella a la superficie inferior de la junta
- Debe cumplir los requisitos del Tipo 3 de la norma ASTM D 5249



Cordón



**MATERIALES PARA PAVIMENTOS
ARTICULADOS**

**MATERIALES PARA
PAVIMENTOS
ARTICULADOS**

MATERIALES PARA PAVIMENTOS ARTICULADOS

Arena para capa de soporte

- Preferentemente de origen aluvial, de partículas duras, no plástica y libre de sustancias objetables
- Equivalente de arena $\geq 60\%$
- Granulometría, según requerimientos de ASTM C 33:

TAMIZ	PORCENTAJE PASA
3/8 in. (9.5 mm)	100
No. 4 (4.75 mm)	95 – 100
No. 8 (2.36 mm)	85 – 100
No. 16 (1.18 mm)	50 – 85
No. 30 (0.600 mm)	25 – 60
No. 50 (0.300 mm)	20 – 30
No. 100 (0.150 mm)	2 - 10

MATERIALES PARA PAVIMENTOS ARTICULADOS

Adoquines de concreto

- Resistencia a compresión promedio por muestra ≥ 55 MPa (8,000 psi), sin valores individuales menores de 50 MPa (7,200 psi) (ASTM C 936)
- ICONTEC exige un módulo de rotura promedio por muestra ≥ 4.5 MPa , sin valores individuales menores de 3.6 MPa (NTC 2017)
- Absorción de agua < 5.0 % (ASTM C 140)
- Si se emplean pigmentos, deberán satisfacer los requisitos de la norma ASTM C 979

MATERIALES PARA PAVIMENTOS ARTICULADOS

Adoquines de ladrillo (ASTM C 1272)

- Resistencia a compresión promedio por muestra de 5 ladrillos ≥ 69 MPa (10,000 psi), sin valores individuales menores de 61 MPa (8,800 psi) (ASTM C 936)
- Carga de rotura promedio por muestra de 5 ladrillos ≥ 83 kN/mm (475 lb/pg) , sin valores individuales menores de 58 kN/mm (333 lb/pg)
- Absorción de agua promedio por muestra ≤ 5.0 % sin valores individuales mayores de 7 % (ASTM C 140)

MATERIALES PARA PAVIMENTOS ARTICULADOS

Arena para sello de juntas

- Puede ser natural o manufacturada, libre de sustancias objetables
- Granulometría, según requerimientos de ASTM C 144:

TAMIZ	PORCENTAJE PASA	
	ARENA NATURAL	ARENA MANUFACTURADA
No. 4 (4.75 mm)	100	100
No. 8 (2.36 mm)	95 – 100	95 – 100
No. 16 (1.18 mm)	70 – 100	70 – 100
No. 30 (0.600 mm)	40 – 55	40 – 100
No. 50 (0.300 mm)	10 – 35	10 – 35
No. 100 (0.150 mm)	2 – 15	10 – 25
No 200 (0.075 mm)	0	0 - 10