

Si el agregado fino y los contenidos de aire están correctos cuando se utilizan cualquiera de estos materiales, no debe ocurrir mayor sangrado que el que resulta cuando se usa un concreto de cemento Portland puro. La clave está en obtener realmente los contenidos correctos de agregado fino y aire. La ceniza volante, especialmente cuando contiene un alto porcentaje de carbón, requiere una gran dosis de aditivo inductor de aire para obtener un buen contenido de aire (5 a 7%); por esta razón, el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos limita la pérdida por ignición de las puzolanas naturales a un 8% y de la ceniza volante a un 6%; estos valores son más bajos que los permitidos por el ASTM.

INCREMENTO EN TEMPERATURA

Cuando estos aditivos se utilizan para reemplazar una cantidad específica de cemento Portland, generalmente se acepta que el aumento de la temperatura sea menor; el gradiente de la temperatura resultante es más bajo y reduce la posibilidad del agrietamiento por deformación inducida en el concreto durante el enfriamiento.

DESARROLLO DE LA RESISTENCIA

En el proporcionamiento de los concretos conteniendo aditivos minerales, hay básicamente dos consideraciones importantes a tomarse en cuenta:

- (1) ¿ Necesito la misma resistencia inicial (3, 7, 28 días) que obtendría con -- mezclas conteniendo únicamente cemento Portland?, y
- (2) ¿ Puedo esperarme hasta después (90, 180 días) para obtener la resistencia equivalente a la de mezclas con cemento Portland únicamente?

Cuando se utilizan aditivos minerales para reemplazar parcialmente al cemento Portland, las resistencias iniciales son normalmente más bajas que las de mezclas de cemento Portland puro, pero las resistencias a más edad (90, 180 días) muy seguidas exceden a la de las mezclas que contienen cemento Portland puro. Esta no es una consideración cuando se utiliza un cemento pre-mezclado que llena los requisitos del ASTM C 595; los requisitos de la resistencia inicial de los cementos pre-mezclados son igual a/o exceden el requisito mínimo -- del cemento Portland (ASTM C 150).

Debido a que el Cuerpo de Ingenieros construye muchas estructuras de concreto masivo que no requieren alta resistencia inicial, y a las que deseamos controlar el gradiente de temperatura, generalmente utilizamos aditivos minerales como reemplazantes parciales del cemento Portland. Otras organizaciones (3) que desean igual resistencia inicial pueden utilizar el peso total de cemento Portland y agregado mineral que excede el peso del cemento Portland en una mezcla de resistencia equivalente.

PROPORCIONAMIENTO DE LAS MEZCLAS

En el proporcionamiento de las mezclas de concreto conteniendo aditivos minerales, hay tres técnicas (9) principales, identificadas como:

- a. reemplazo parcial del cemento Portland
- b. Adición de aditivos minerales como el agregado fino
- c. Reemplazo parcial tanto del cemento Portland como del agregado fino

Ya que los agregados minerales no saben su propósito real para estar en el concreto, vamos a considerar que su uso siempre contribuirá a la resistencia y otras propiedades del concreto. Por lo tanto, limitaremos nuestra discusión al reemplazo parcial del cemento Portland con el aditivo mineral o cemento de escoria. Cuando estamos proporcionando un concreto que será expuesto al agua de mar, debemos siempre procurar que el concreto este lo más impermeable posible; por esta causa, el autor consideraría únicamente un concreto con aire incluido y una combinación de agregados que dieran como resultado una densidad máxima.

El reemplazo del cemento Portland por un aditivo mineral deberá ser en base volumétrica únicamente; por lo tanto usaremos la misma relación agua/cemento en volumen que cuando se utilizó cemento Portland puro. Por usar el reemplazo parcial de cemento Portland de un volumen absoluto con un agregado mineral, probablemente será escasamente menos que la cantidad de cemento Portland en una mezcla de 100% de cemento Portland. Cuando se deben desarrollar proporciones de -- mezclas para algún proyecto en particular, es una necesidad absoluta que lo siguiente se efectúe:

- a) Todas las propiedades deseadas del concreto endurecido deberán establecerse.
- b) Todos los ingredientes del supuesto concreto deberán ser evaluados para verificar que éstos puedan sobre llevar las condiciones a las cuales estarán expuestos.
- c) Mezclas de prueba deberán ser preparadas y evaluadas bajo las condiciones de exposición y para las propiedades establecidas en (a).
- d) Una serie de mezclas aceptables deberán ser evaluadas económicamente para -- determinar la(s) mezcla(s) al inicio del trabajo.

Bajo ninguna circunstancia deberá iniciarse un proyecto con la mezcla desarrollada en la parte posterior de un sobre, sin la confirmación de las propiedades resultantes del concreto fresco y endurecido.

CANTIDADES DE PUZOLANAS Y CEMENTOS ESPECIALES

La proporción de cemento, aditivo mineral y cementos especiales a utilizarse en el proporcionamiento de mezclas depende de la resistencia deseada a una edad determinada, de las consideraciones de calor, de las características físicas y químicas de ambos -- el cemento y puzolana, y del costo de los materia-

les respectivos. En la Tabla 1 se muestran las cantidades típicas de varios tipos de puzolana y cementos especiales. La Tabla 1 lista solamente las revolturas de tanteo inicial en porcentaje recomendadas de puzolanas y cementos especiales cuando se elaboran las revolturas de tanteo, se recomienda que se evalúen los porcentajes mayores y menores para que la decisión se haga luego en base a la proporción a usar en el proyecto.

AGREGADOS

Bajo circunstancias normales y por razones económicas, se deberá tomar en cuenta el tamaño máximo de agregado si la cantidad de concreto es considerable; pero en exposición marítima, el tamaño máximo del agregado lo consideraremos normalmente de (1 1/2 plds.) 38 mm. La Tabla 2 establece los tamaños máximos nominales de agregados a usarse basados en el tamaño de la sección.

Los granulometrías típicas de agregado de hasta (2 pulgs.) 50 mm. de tamaño se muestran en la Tabla 3. Pero las granulometrías no tienen necesariamente que apearse a la Tabla 2, deberán estar uniformemente graduados y poder ser combinados en la granulometría total razonablemente próxima a la granulometría sugerida en la Tabla 4.

La granulometría mostrada en la Tabla 4 está basada en la ecuación — (Ecuación 1) desarrollada por Fuller y Thompson (10) sobre las características de compactación de algunos materiales granulares. Su uso debe resultar en obtener concretos con una densidad máxima, lo cual es deseado al estar el concreto expuesto al agua de mar.

$$P = \frac{d^x - 0.1875^x}{D^x - 0.1875^x} \quad (100) \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde:

- P = % acumulado que pasa la malla de tamaño D
- d = tamaño de la malla, en (mm)
- D = tamaño máximo nominal del agregado, en (mm)
- x = exponente (0.5 para agregado de canto rodado)

RELACION RESISTENCIA AGUA/CEMENTO

Para un concreto que van a estar expuestos al agua de mar, se recomienda que la máxima relación agua-cemento A/C sea limitada a 0.45. Bajo circunstancias normales una relación A/C de 0.45 en peso resulta en una resistencia a la compresión a (6) 28 días de edad de aprox. 280 k/cm² (4000 psi). Si se requiere una resistencia mayor, una disminución de la rel. A/C de 0.05 deberá incrementar la resistencia en un 10%; en esta forma, si se desea 350 k/cm² (5000 psi) la relación A/C necesitará reducirse aproximadamente a 0.35.

CONTENIDO DE AGUA

El contenido de agua recomendado inicialmente deberá ser según se muestra en la Tabla 5. Estos contenidos de agua son "Promedio" y si la mezcla resultante necesita ajustes debido a trabajabilidad, normalmente el primer ajuste se puede lograr en el contenido de agua inicial.

CANTIDADES DE AGREGADO FINO

La cantidad del agregado fino usado en el proporcionamiento es mejor un estimado de tanteo, pero el reglamento revisado ACI 211.1-77 sugiere que la cantidad se base sobre tamaños y tipo de agregado grueso y Módulos de Finura y tipo de agregado fino. La tabla 6 deberá ser usada como una guía para las cantidades de agregado fino.

5. EJEMPLO ILUSTRATIVO

Se requiere proporcionar una mezcla de concreto para un malecón; el diseño de la estructura requiere que el concreto tenga una resistencia a la compresión de 210 k/cm² (3000 psi) y el revenimiento se requiere que esté en el rango de 76 a 127 mm (3 a 5 pulg.).

Paso 1 - Evaluación de los Materiales. Todos los materiales utilizados para el concreto deberán ser evaluados y conocidas varias propiedades necesarias en el proporcionamiento; los materiales fueron evaluados con los siguientes resultados:

- a. El cemento Portland dió los requerimientos de ASTM C 150 y la gravedad específica se encontró ser 3.15.
- b. Se obtuvo ceniza volante que cumplió con los requerimientos del ASTM C 618, teniendo una gravedad específica de 2.45.
- c. Se utilizó como agregado una grava natural con tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4 pulg.) y tenía una gravedad específica saturada superficialmente seca de 2.80.
- d. El agregado fino fue también una arena natural que tenía un módulo de finura de 2.60 y gravedad específica saturada superficialmente seca de 2.85

Paso 2 - Selección de la relación A/C. Como el concreto será expuesto a agua de mar, la relación A/C máxima no debe exceder de 0.45 y como una relación A/C de 0.45 deberá resultar en una resistencia a la compresión que excede 210 K/cm² (3000 psi), deberemos utilizar 0.45 como la relación A/C de nuestra mezcla.

Paso 3 - Estimación del Agua Requerida. De la Tabla 5, el contenido de agua estimado es de 151 k/m³ (255 lib/yarda cúbica) basada en el uso de grava redonda de 38 mm (1 - 1/2 pulg.) y un revenimiento de 76 a 127 mm (3 a 5 pulg.).

Paso 4 - Selección del contenido de Aire. Como el concreto será expuesto a agua del mar, el contenido de aire deberá ser de 6 a 7%; así que trataremos de conseguir un 6 1/2%.

Paso 5 - Determinar el Peso (Masa) del Cemento Portland, el cual sería utilizado en una mezcla de cemento Portland puro totalidad.

$$\text{Del Paso 2, } A/C = 0.45$$

así, el peso del cemento Portland en una mezcla usando cemento Portland puro es igual a:

$$\frac{151}{0.45} = 544 \text{ lb/yarda cúbica ó } 323 \text{ Kg/m}^3$$

Paso 6 - Determinar Volumen Absoluto por Metro Cúbico (Yarda Cúbica) para el material cementante (Cemento y Ceniza Volante), Contenido de Agua y Contenido de Aire. Como se recomendó en la Tabla 1, se usará un 25% de puzolana (ceniza volante) en volumen, el volumen absoluto del material cementante se puede determinar como:

$$V_{c+p} = \frac{C_w}{G_c (1000)} = \frac{323}{3.15 (1000)} = 0.103 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

El volumen absoluto de puzolana es:

$$0.25 (0.103) = 0.026 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

y en el volumen absoluto de cemento portland será de:

$$0.103 - 0.026 = 0.077 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

y el volumen absoluto de agua será:

$$\frac{151}{1000} = 0.151 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

y el volumen absoluto de aire será:

$$1 \text{ m}^3/\text{m}^3 (0.065) = 0.065 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

Paso 7 - Determinar el volumen absoluto de la pasta (cemento, puzolana, agua y aire).

$$0.077 + 0.026 + 0.151 + 0.065 = 0.319 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

Paso 8 - Determinar el Contenido de Agregados.

$$1.000 - 0.319 = 0.681 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

De la Tabla 6 cuando se utiliza un agregado grueso de canto rodado de 19 mm (3/4 pulg.) y un agregado fino natural con MF de 2.60, el agregado grueso deberá ser el 63% del contenido total de agregado y así:

$$\text{El Volumen del Agregado Grueso} = 0.681 (0.63) = 0.429 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

y el Volumen del Agregado Fino será de:

$$0.681 - 0.429 = 0.252 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

Paso 9 - Conversión de los volúmenes absolutos en masa por unidad de volumen.

<u>MATERIAL</u>	<u>Volumen Absoluto x</u> <u>Gravedad Específica (62.4)</u>	<u>lbs/yd. cu.</u> <u>kg/m³</u>
Cemento Portland	2.08 (3.15) 62.4	409
Puzolana (Ceniza Volante)	0.69 (2.45) 62.4	105
Agua	4.09 (62.4)	255
Aire	1.76 (0)	--
Agregado Fino	6.64 (2.85) 62.4	1180
Agregado Grueso	11.74 (2.80) 62.4	2051
T o t a l e s	27.00 cu ft (1 m³)	4000

Cuando se están elaborando mezclas de prueba, será necesario mezclar únicamente una fracción del metro cúbico para verificar la trabajabilidad, contenido de aire, y preparar especímenes para ensayos. El proporcionamiento anterior deberá dar en 90 días la misma resistencia que una mezcla de cemento Portland puro a los 90 días, pero no deben esperarse resistencias equivalente a los 28 días. Si se requieren resistencias equivalentes a los 28 días, se sugiere - que en lugar de reemplazar con puzolana el 25% del cemento portland, un factor de 12.5 de reemplazo deberá usarse y un 12.5% adicional de puzolana utilizarse como sustituto para una cantidad equivalente de agregado fino, esto resultaría en una mezcla que contenga:

<u>MATERIALES</u>	<u>lbs/yd cu.</u> <u>Kg/m³</u>
Cemento Portland	476