

MATERIALES UTILIZADOSCEMENTOS:

Los cementos utilizados fueron además del cemento Portland normal (CPN) NOM C-1 Tipo I, dos cementos puzolánicos mezclados y molidos en la fábrica, uno de clinker de cemento Portland mezclado con un 40% de escoria de alto horno ---- (CPEAH) y el otro de clinker de cemento Portland mezclado con un 30% de puzolana natural (CPPN).

Las propiedades físicas y análisis químico de éstos, aparecen en la Tabla No. 1.

AGREGADOS:

Los agregados utilizados fueron de caliza triturada. Para la fabricación de los concretos el tamaño máximo fue de 20 mm. Los pesos específicos secos fueron de 2.66 y 2.64 gr/cm³ para los agregados grueso y fino respectivamente, los correspondientes valores de absorción fueron de 0.7 y 1.4 por ciento. El módulo de finura del agregado fino fue de 2.8. En este trabajo, en donde la determinación de la consistencia del mortero y del concreto es el factor más importante, es indispensable que los valores medidos no estén influenciados por variaciones en la granulometría; para evitar este problema y mantener la graduación uniforme en cada revoltura, los agregados se cribaron (ver Figura 1), se separaron por tamaños y se colocaron en depósitos. Al preparar los ingredientes para cada revoltura, se pesaron independientemente cada uno de los tamaños correspondientes, para dar la granulometría pre-establecida.

Las gráficas granulométricas de ambos agregados, aparecen en la Figura No. 2.

ADITIVO:

Se utilizó un SP de origen Japonés Mighty 150 del tipo de condensado - basado en naftalina-formaldehído sulfonatado. Viene en solución acuosa al 42% - con una densidad de 1,200 kg/m³ y es de color café oscuro. El contenido de cloro es despreciable.

ENSAYES EN MORTEROS

Serie No. 1 Se fabricaron los morteros de la Serie No. 1 con la finalidad de conocer la dosificación óptima de aditivo para una misma fluidez, determinando resistencias a la compresión a los 3, 7 y 28 días.

Los morteros se fabricaron con arena Ottawa estándar para una fluidez de 110% con una variación máxima de $\pm 3.5\%$ y se seleccionó una relación A/C de 0.6 (en peso) para los ensayos de control sin SP.

Para lograr en los ensayos de control una fluidez de $110\% \pm 3.5\%$ con una relación A/C de 0.6, la relación agregado/cemento (AG/C) en peso, fue de 3.18 utilizando el CPN, de 3.29 para el CPEAH -- (3.5% más que para los morteros con CPN) y para los morteros con CPPN la relación AG/C fue de 3.07 (3.5% de menos con respecto a aquéllos en los que se utilizó CPN).

El mortero con CPEAH permitió más agregado (3.5%) para la misma relación A/C y fluidez que el mortero con CPN no obstante que este cemento tenía una fineza Blaine mayor (14.3%).

En cambio los morteros con CPPN para las mismas condiciones, admitieron menos agregado (3.5%) que para los morteros con CPN. Aunque este cemento tenía una fineza Blaine mucho mayor (85.2%).

Las gráficas de resistencia a la compresión para los tres tipos de cemento, bajo las condiciones anteriores, aparecen en la Figura No. 3.

Se fabricaron especímenes con distintas dosificaciones de aditivo SP - para la misma fluidez y relación agregado/cemento AG/C del mortero de control correspondiente, esto originó que se utilizaran menores cantidades de agua conforme se aumentaba la cantidad de aditivo SP, viéndose disminuida la relación A/C y por lo tanto, como era de esperarse, se logró un incremento en la resistencia.

Los especímenes fueron cubos de 51 mm de arista y se fabricaron, curaron y ensayaron de acuerdo a las normas ASTM C-109, C-305 y C-230. En los morteros con aditivo SP, éste se agregó una vez concluida la revoltura normal batiéndose durante un minuto más. Los valores de la fluidez se mantuvieron en todos los ensayos entre $110\% \pm 3.5\%$, la temperatura y la humedad relativa del laboratorio en $23^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ y de 60% mínima respectivamente.

En la Tabla No. 2 se pueden apreciar las reducciones de agua y las correspondientes disminuciones en la relación A/C para distintas dosificaciones de aditivo y para los morteros fabricados con los tres tipos de cemento.

Las gráficas de las resistencias a la compresión a las edades de 3, 7 y 28 días para las distintas dosificaciones de aditivo SP y para los 3 tipos de cemento utilizado, aparecen en las figuras 4 a), b), c). Cada valor que se aprecia en las gráficas es el resultado del promedio del ensayo de tres especímenes.

En la figura No. 4 se pueden apreciar los incrementos de resistencia a la compresión en los morteros fabricados con los tres tipos de cemento al aumentar la dosificación del aditivo. Para dosificaciones de SP hasta 0.7% en peso -

del cemento, los incrementos de resistencia son importantes, después de este valor los incrementos son pequeños; por lo cual bajo las condiciones de este ensaye, se considera como valor óptimo de dosificación el 0.7%. En la figura 4 a), - que corresponde el CPEAH el incremento a los 28 días fue de 14%, en la figura -- No. 4 b) se aprecian los incrementos de resistencia para el mortero con CPPN que a los 28 días fue de 18%, y en la figura No. 4 c), para morteros con CPN se detectó un importante incremento de la resistencia que llega a alcanzar un 37%.

Serie No. 2 Los morteros de la Serie No. 2 se fabricaron con el fin de conocer la velocidad de fraguado, en función de su resistencia a la penetración, para los dos tipos de cementos puzolánicos CPEAH y CPPN con y sin aditivo SP, a distintas temperaturas y para comparar su comportamiento bajo los mismos parámetros con los morteros fabricados con CPN.

Los morteros se fabricaron y ensayaron de acuerdo con la norma ASTM -- C-403 con las siguientes variantes:

- a).- El mortero no se obtuvo del cribado de un concreto fresco, sino que fue preparado expresamente.
- b).- Para no tener variaciones en la granulometría, se pesó separadamente cada tamaño de acuerdo a la granulometría pre-establecida y al peso total de agregado fino para cada batida.
- c).- El batido del mortero se hizo de acuerdo a la norma ASTM C-305.
- d).- La determinación de la fluidez se hizo de acuerdo a la norma -- ASTM C-230.

Los morteros se fabricaron con arena caliza triturada y módulo de finza de 2.8 con la composición granulométrica que aparece en la Figura No. 2.

Todos los morteros se prepararon para dar una fluidez de $110\% \pm 3.6\%$, para los morteros de control de los 3 tipos de cemento, sin aditivo y fabricados a 22°C. Se utilizó una relación A/C igual a 0.6 y para dar esta fluidez, la relación agregado/cemento (AG/C) fue de 4.19 utilizando CPEAH, 3.47 para el CPPN y de 4.0 para el CPN.

Para los morteros con aditivo SP, éste se agregó una vez concluida la revoltura normal y luego se batió un minuto más. Se hicieron revolturas de tanteo disminuyendo únicamente la cantidad de agua hasta lograr la fluidez de 110%, en todos los ensayos de esta serie, la variación fue de $\pm 3.6\%$.

En esta serie de ensayos se trabajó a dos temperaturas, a 22°C para la fabricación y 25°C la de reposo; y a 38°C tanto de fabricación como de reposo.

Para lograr la temperatura de 38°C en los morteros recién fabricados - se precalentaron, tanto los agregados como el agua y para mantener la temperatu-

ra de reposo, se utilizó un horno húmedo con una H. R. de 90 a 95% y con temperatura controlable.

Los resultados de los tiempos de fraguado inicial y final para todos los morteros (ASTM C-403, 35 kg/cm² y 281 kg/cm²) e información adicional, aparece en la Tabla No. 3 y las gráficas de resistencia a la penetración en kg/cm² -- contra tiempo, aparecen en las Figuras No. 5, 6 y 7.

ENSAYES EN CONCRETOS

Serie No. 3 Para hacer todas las revolturas de concreto, se utilizó una revolvedora de laboratorio* de contra-corriente, girando el tambor exterior en el sentido de las manecillas del reloj con una velocidad de 46 rpm y las aspás interiores en contra de las manecillas del reloj a una velocidad baja de 425 rpm. La revolvedora aparece en la Fig. No. 8.

Las revolturas se hicieron en la forma siguiente: Una vez introducidos todos los ingredientes en la revolvedora, se ponían en movimiento simultáneamente, tanto el tambor exterior como -- las aspás interiores durante 1/2 minuto, se dejaba reposar el -- concreto durante 2 minutos y luego se hacía otro batido igual -- al inicial durante 1/2 minuto más. Cuando había necesidad de -- agregar aditivo, éste se hacía al finalizar el período anterior y se batía en la forma descrita anteriormente durante 1/2 minuto.

Los agregados utilizados fueron aquéllos cuyas características aparecen en la Pág. . Para evitar las variaciones en las granulometrías y mantenerlas uniformes en todas las revolturas, los agregados fueron separados en los distintos tamaños, los cuales fueron combinados después a la graduación específica que aparece en la Figura No. 2. Los proporcionamientos se hicieron para -- una relación agregado fino/total de agregados (AF/TA) de 44.1 y para los proporcionamientos de control una relación A/C = 0.5 en peso, el resto de datos aparece en la Tabla No. 4.

Pérdida de REV. sin aditivo SP.- Se fabricaron concretos de control -- con los tres tipos de cementos con el fin de determinar el tiempo en que un concreto fluido de 150 mm de REV. llega a alcanzar el estado rígido plástico de 50 mm; es decir, el tiempo para la --érdida de REV. normal en que todavía puede ser manejable el concreto. El ensaye anterior se hizo a 18°C y a 35°C (Figs. No. 9, No. 10 y No. 11).

* Revolvedora Marca EIRICH

Tomando como base los proporcionamientos de control, se fabricaron concretos con agua reducida para un REV. rígido plástico de 50 mm, las reducciones correspondientes aparecen en la Tabla No. 4, a estos concretos se les agregó 0.7% de aditivo SP con respecto al peso del cemento, alcanzándose un REV. fluido de 150 mm. Se hicieron mediciones progresivas del REV., determinándose el tiempo requerido para llegar de nuevo al valor de 50 mm; es decir, el tiempo necesario para mantener el concreto manejable. Estos ensayos se hicieron a 18°C y 35°C, para ver además el efecto con el cambio de temperatura. (Figs. No. 9, No. 10 y No. 11).

De los concretos anteriores se fabricaron especímenes cilíndricos de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura para ensayos de compresión, de tensión por compresión diametral, de módulo de elasticidad de Young y de razón de Poisson. Además se fabricaron vigas de 15 x 15 x 50 cm para determinar el módulo de ruptura. Los resultados de los ensayos anteriores aparecen en la Tabla No. 5.

En los concretos de control, la pérdida de REV. normal de 150 a 50 mm y con relación al concreto con CPN, que a 18°C es de 120 min. la pérdida es más rápida para el concreto con CPPN (72 min) y más lenta para el concreto con CPEAH (190 min).

El aumento de temperatura acelera la pérdida de REV. para los concretos con los tres tipos de cementos al pasar de 18°C a 35°C.

Al utilizar el SP en los concretos de control reducidos en agua hasta dar un REV. de 50 mm, éstos se fluidifican pero la pérdida de REV. es más rápida, incrementándose esta pérdida con el aumento de temperatura y en todos los casos como se puede apreciar en las Figuras 5, 6 y 7, la pérdida mayor la tiene el concreto con CPPN, luego el que contiene CPN y en menor grado el CPEAH.

Serie No. 4 Con el fin de mantener mayor tiempo el concreto en estado de manejabilidad, es posible redosificarlo una vez para mantenerlo dentro de un grado de manejabilidad, por ejemplo: Con un revenimiento mayor de 5 cm, puede redosificarse varias veces con dosificaciones sucesivas de pequeñas dosis para mantenerlo fluido durante el tiempo necesario para el colado.

a).- Una redosificación a temperaturas baja y alta.

Los concretos utilizados como control en la Serie No. 3 se dosificaron con 1.0% de SP a partir del concreto con agua reducida que daba un REV. de 50 mm, con la primera aplicación del aditivo, el REV. alcanzó algo más de 200 mm y al llegar al valor de aproximadamente 50 mm se redosificó. Se determinó el lapso de tiempo desde la primera aplicación del aditivo, hasta que el REV. llegó al valor de 50 mm después de la segunda dosificación. Los ensayos anteriores se realizaron para los concretos con los tres tipos de cementos y a las temperaturas del concreto de 15°C y 34°C. Las gráficas correspondientes aparecen en las Figs. 12 y 13. En las

gráficas anteriores la manejabilidad del concreto con REV. min de 50 mm y a 15°C, es para el CPEAH de 280 min, para el CPPN 105 min y para el CPN 220 min. Si la temperatura del concreto se ve aumentada a 34°C los tiempos anteriores se ven disminuidos a 152, 50 y 108 min respectivamente para los tres tipos de cemento.

b).- Varias redosificaciones a temperaturas baja y alta.

Los concretos utilizados como control en la serie No. 3 se les dosificó a partir del concreto con agua reducida para un REV. de 50 mm, con una primera aplicación del 1.2% de SP en peso del cemento, para 18°C el concreto alcanzó un REV de algo más de 200 mm. Se hicieron después redosificaciones sucesivas de 0.2% en peso del cemento restante en la revolvedora, tan pronto como el REV disminuía aproximadamente 25 mm. Cada vez que se redosificaba, se retiraba de la Revolvedora un 20% del volumen total, de tal suerte que a la quinta dosificación se concluyó con el volumen de concreto. Esto se hizo con el fin de simular el efecto de un camión que está descargando concreto. En la forma anterior el consumo total de aditivo fue de 1.6% manteniendo el concreto fluido todo el tiempo.

El concreto con CPN utilizado como de control en la serie No. 3, se le dosificó a partir del concreto con agua reducida para dar un REV. de 50 mm. Con una primera aplicación de 1.0% de SP, el REV medido alcanzó un valor de algo más de 200 mm. Se hicieron después redosificaciones sucesivas del 0.2% en peso del cemento tan pronto como el REV. disminuía aproximadamente 25 mm. Cada vez que se redosificaba se retiraba de la Revolvedora un 20% del volumen total, de tal suerte que a la quinta redosificación se concluyó con el volumen de concreto. Esto se hizo con el fin de simular el efecto de un camión que está descargando concreto. En la forma anterior el consumo total de aditivo fue de 1.4%, manteniéndose el concreto fluido todo el tiempo. El ensayo anterior a la temperatura de 20°C se concluyó en 128 min y la temperatura de 35°C en 92 min (Fig. 14).

Un ensayo similar al anterior se hizo para el concreto con CPPN pero fue necesario aplicar en la primera dosificación 1.2% de SP para que el REV alcanzara el valor de 200 mm. Las redosificaciones sucesivas se hicieron con el 0.2% de SP para mantener el concreto fluido a 18°C, con un consumo total de aditivo de 1.6% y concluyendo el ensayo en 123 min, pero a la temperatura de 35°C las redosificaciones se aumentaron a 0.3% para mantener la fluidez, con un consumo total de 1.8% y concluyéndose el ensayo en 72 min (Fig. 15).

CONCLUSIONES

1.- Los morteros con CPN y CPEAH superplastificados a temperaturas moderadas (22°C a 25°C) sufren un retardo en los tiempos de fraguado inicial y final en relación con los de control, siendo más importante en el que contiene CPEAH. En tanto que en el mortero con CPPN se apreció un adelanto.