

Divulgación sobre el empleo en los Estados Unidos de cementos especiales en la construcción de macizos de concreto

LA influencia que ejerce en un macizo de concreto el empleo de cementos especiales es menor que la que ejercen los demás ingredientes y menor también que la influencia que ejercen los métodos de trabajo empleados. La práctica indica que antes de iniciar la construcción de un macizo de concreto es indispensable un acuerdo previo entre el proyectista y el constructor de la obra.

Hasta esta fecha en los EE. UU., en la construcción de macizos de concretos se han empleado sólo 6 tipos de cemento. A saber:

- 1.º—Cemento portland standard corriente.
- 2.º—Modificación del anterior que consiste en disminuir el aluminato tricálcico y aumentando la fineza del cernido.
- 3.º—Cemento portland compuesto de manera de reducir el calor de hidratación. Su composición difiere del cemento portland corriente.
- 4.º—Cemento portland puzolána que es una combinación de cemento portland corriente con alguno de los tipos de materiales donominados puzolonas.
- 5.º—Cementos naturales y combinaciones de portland usados en grande escala hace algunos años en la construcción de macizos expuestos a la acción del agua de mar.
- 6.º—Combinaciones de cemento que difieren poco del cemento normal modificado y que se componen de materiales que pueden resistir la acción de aguas sulfatadas.

Para la fabricación de macizos de concreto no se pueden proporcionar ni establecer normas para poder determinar el tipo más conveniente de cemento que deberá emplearse.

Cada trabajo caracteriza la combinación de factores que deben controlar el proyecto, su construcción y economía de aquél.

EMPLEO DEL CEMENTO PORTLAND MODIFICADO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL EMBALSE NORRIS

(Notas de la exposición presentada por los ingenieros de la Dirección del valle de Tennessee, Srs. J. Freeman y P. L. Tyler, al 2.º Congreso de Grandes Presas)

El embalse Norris fué construído por la Dirección del valle del río Tennessee, como parte del proyecto que en la actualidad desarrolla en la cuenca de ese valle a fin de controlar las avenidas, asegurar la navegación y fomentar el empleo de energía eléctrica. Se encuentra ubicado en el río Clinch aproximadamente 25 millas al N. E. de Knosville, Ten., e inmediatamente aguas abajo de la boca del Cove Creek. Embalsará al rededor de 4,356 millones de m³. en un lago con dos brazos de 115 Km. de longitud.

El tranque consta de un macizo de concreto por gravedad de 487.50 m. de largo en el coronamiento y de 77.42 m. de altura máxima. El tranque de concreto termina en uno de sus extremos con una sección de tierra en cuyo centro se eleva una pantalla de concreto. Al pie del tranque se construyó una casa de fuerza provista de 2 unidades de 66.000 HP. c/u. La casa de fuerza se encuentra ubicada en el extremo Este del tranque.

La cantidad total de concreto empleada en el macizo, en la pantalla de concreto y en la casa de fuerza es un poco superior a 760.000 m³.

Cemento.—El cemento empleado en la construcción del tranque Norris lo mismo que el que se emplea en todos los tranques que construye la Dirección del valle del río Tennessee debe cumplir con las normas establecidas por la Dirección y consiste en un tipo de cemento que es una modificación del cemento portland corriente. Después de las experimentaciones hechas para la Dirección del valle por la oficina central de riego «Bureau of Reclamation» se recomendó para las obras del río Tennessee el empleo de un cemento similar al cemento de baja temperatura usado en el embalse Boulder, denominado tipo «A» y además un cemento que desarrollaba un calor moderado de hidratación designado tipo «B». Posteriormente se acordó el empleo de un cemento modificado que debería desarrollar un calor de hidratación aproximadamente intermedio entre el cemento de baja temperatura empleado en la construcción del embalse Boulder y el cemento portland corriente que se vende en el mercado.

Las investigaciones realizadas demostraron también que el concreto fabricado con el cemento tipo «B» era más resistente a la acción de las aguas sulfatadas y también que en razón del menor calor de hidratación las variaciones del volumen del macizo eran menores que en los concretos fabricados con las marcas standards de cemento.

Los requisitos generales para este cemento consisten en:

Composición química.—Su composición química no debe pasar los límites siguientes:

Pérdida por calcinación.....	3%
Residuos insolubles.....	0.85%
Anhídrido sulfúrico.....	2%
Magnesia	5%

La relación entre el porcentaje de óxido de fierro y el óxido de alúmina n debe exceder 1,5.

Composición.—Su composición debe encontrarse entre los siguientes límites:

Silicato tricálsico (3 Ca O Si O₂) no inferior a 35% y no mayor al 55%.

Aluminato tricálsico (3 Ca O Al₂ O₂) no superior a 8%.

Cernido. La superficie específica del cemento, determinada por el turbinímetr Wagner, debe encontrarse entre los siguientes límites:

No menor de 1.600 ni mayor de 2.200 cm². por gramo.

Solidez.—Una pastilla de cemento puro debe permanecer firme y dura sin de mostraciones de destrucción, grietas o deformaciones de cualquier especie.

Tiempo de fragua.—La fragua inicial no debe comenzar antes de 60 minuto usando la aguja Gillmore. El fraguado final debe alcanzarse dentro de 10 horas.

Fatigas a la compresión.—El promedio de la fatiga a la compresión de por menos 3 muestras de 2 pulgadas cúbicas c/u., compuestas de 1 parte en peso cemento por 2,77 partes en peso de arena graduada de Ottawa debe ser igual o superior a los límites siguientes:

Edad-días	Almacenaje de las muestras	Fatigas a la compresión Kg. por cm ²
3	1 día en lugar húmedo.....	53
	2 días en el agua.....	
7	1 día en lugar húmedo.....	106
	6 días en el agua.....	

El promedio de la fatiga a la compresion de los cubos guardados 1 día en l gar húmedo y 27 días en el agua no debe ser inferior a 175 Kg/cm².

Al aceptarse en las especificaciones los ensayos del cemento a los 3 y 7 dí sin esperar los resultados a los 28 días es porque, invariablemente, si aquéllos res tan satisfactorios, los últimos también lo son. Solamente en algunas ocasiones controlan los resultados a los 28 días después del fraguado para satisfacer algun exigencias de la T. V. A.

Se deja constancia que cualquier cemento que numpla con las normas establecidas para el cemento tipo «B», cumplirá también con las normas exigidas por la Sociedad de Ensayos de Materiales Americana. La fabricación del cemento tipo «B» se somete a un control severísimo, principalmente en cuanto a cernido se refiere. Existen en EE. UU. varias fábricas que disponen de materia prima tal que los cementos que fabrican coinciden exactamente con las cualidades del cemento tipo «B».

Las experiencias llevadas a acabo con concretos fabricados con estos elementos han resultado perfectamente satisfactorias y por esta razón se espera que los concretos fabricados con cementos tipo «B» tendrán mayor duración que los fabricados con cementos corrientes. Desde luego las experiencias han demostrado que el comportamiento del cemento tipo «B» contra los sulfatos en un plazo de tiempo apreciable es superior a los cementos portland corrientes, fabricados por la misma fábrica.

Para la fabricación del cemento tipo «B» se han otorgado contratos a 10 fábricas, en cantidades suficientes para satisfacer las necesidades de construcción de tranques a cargo de la T. V. A. Solamente tres fábricas suministraron para la construcción del embalse Norris 2.225,000 barriles de cemento tipo «B».

Para el muestreo de cemento y ensayos se han usado los métodos corrientes en cada 400 barriles.

Se ha establecido que las fábricas suministran, sin mayores dificultades un producto que cumple con las especificaciones del cemento tipo «B», dejando constancia que los fabricantes se han esforzado en suministrarlo con el promedio de las especificaciones requeridas. Los ensayos físicos y químicos de laboratorio realizados en más o menos un millón de barriles han establecido que todas las fábricas lo han suministrado sin divergencias apreciables en su composición.

Aparte del probable incremento de resistencia contra las aguas sulfatadas y de la reducción de la variación de volumen debido al menor desarrollo del calor de hidratación el aspecto superficial de los paramentos exteriores del embalse Norris es suficientemente satisfactorio para justificar las especificaciones exigidas en la fabricación del cemento tipo «B».

Resultados en el terreno.—Durante la construcción del embalse Norris, en ningún momento se han observado variaciones en el cemento en cuanto a cernido, apariencia u otra propiedad entre las tres marcas de cemento que fueron empleadas. Sin duda que este hecho fué debido al excesivo cuidado que se tuvo en los ensayos y en su inspección y, por supuesto, a la decidida cooperación que prestaron las compañías proveedoras, a fin de entregar un producto parejo. El cernido fino y uniforme (aproximadamente 1,800 cm². por gramo de turbinómetro de Wagner) resultó de capital importancia para obtener un concreto de fácil manipuleo con poca cantidad de agua y sin necesitar el empleo de porciones excesivas de cemento.

La alta calidad del cernido ayudó también, apreciablemente, a disipar el desarrollo excesivo del calor de hidratación, durante los 3 días de intervalo que se dejaban antes de colocar un nuevo piso de 1.50 m. de alto, de concreto en el tranque.

Fabricando concreto con esqueleto proveniente de las canteras de roca dolomítica vecinas al embalse Norris y con el cemento modificado tipo «B», se ha obtenido un material con resistencias apreciablemente superiores a las corrientes. Se creía que

las mayores resistencias registradas se debían al empleo del esqueleto de roca dolomítica, pero se comprobó que la mayor resistencia provino del empleo del cemento modificado tipo «B».

El desarrollo del calor de hidratación del cemento modificado es aproximadamente la mitad entre el cemento portland corriente y el portland de baja temperatura empleado en la construcción del embalse Boulder con un promedio de 80 calorías por gramo después de 28 días. No obstante, la tasa de generación de calor du-

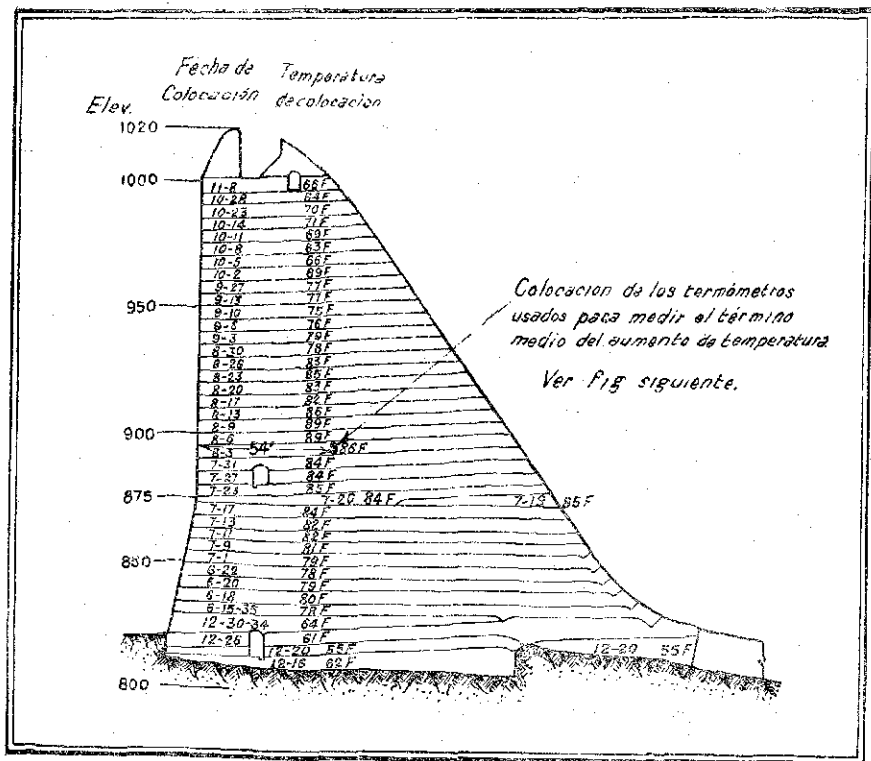


Fig. Datos sobre la colocación del concreto en el block N° 40 del Embalse "Norris"

rante el primer tiempo es más alta que la desarrollada por el concreto de baja temperatura y con el transcurso del tiempo el incremento de temperatura del concreto, durante los intervalos de 3 días que demora antes de proceder a elevar la concretadura, no es mayor que la temperatura desarrollada, empleando el cemento de baja temperatura, naturalmente que empleando concretos fabricados con igual dosis de cemento y colocados a intervalos iguales.

El alza de temperatura en los macizos de concreto del embalse Norris se estableció por medio de termómetros resistentes Carlson embutidos en los macizos. A fin de confrontar los cálculos se colocó, en uno de los moldes de 5 pies de alto en el block 40, un termómetro resistente que proporcionó términos medios máximos de

temperatura. Para evitar la influencia de factores ajenos a la transferencia del calor, el termómetro se colocó en el centro del block. Las figs. 1 y 2 muestran las condiciones de colocación del concreto y los incrementos de temperatura en el macizo. En las condiciones señaladas del relleno de concreto el aumento de temperatura a los 28 días fué de 35° F. Esta alza de temperatura fué registrada en todas las secciones centrales de los moldes gruesos.

Grietas.—En el tranque Norris se tomaron toda clase de precauciones para observar y registrar la formación de grietas. Las grietas debidas a las variaciones de temperatura han resultado hasta la fecha menores que si hubiera empleado cemento corriente, sin embargo, han predominado más que lo que el alza de temperatura parece indicar. Aproximadamente la mitad de todos los blocks se agrietaron con fisuras

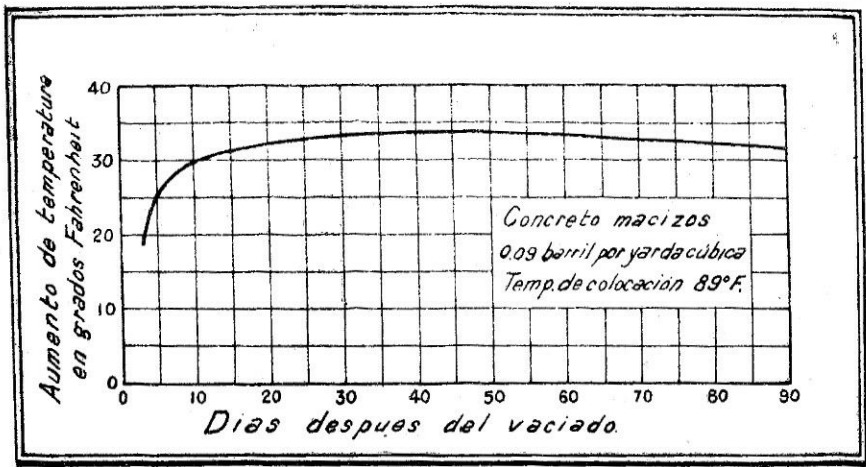


Fig. — La colocación de los termómetros se indican en la Fig. anterior.

verticales, tanto en el paramento de aguas arriba como en el de aguas abajo; sin embargo, esas grietas son finísimas, variando mucho en grueso. Durante el trabajo se presentaron también grietas horizontales, las que penetraban algunos pies a partir de las superficies expuestas.

En los blocks superiores de la parte oeste del tranque el relleno de concreto de los moldes de 1,50 m. de alto se realizó con intervalos de 7 días, a fin de reducir al mínimo las grietas diagonales que se esperaban debido a la gran diferencia de altura de los lados de estos blocks. En efecto, la concretadura lenta de estos blocks redujo el alza de temperatura en los macizos de concreto (aproximadamente desde 35° F a 24° F). En estos blocks no se observaron agrietaduras de ninguna especie. Más arriba, cuando los intervalos del relleno de concreto fueron disminuídos a 3 días aparecieron otra vez mayor cantidad de agrietaduras.

En el block a través del cual pasan las cañerías de descarga se empleó una alta dosis de cemento, continuando la concretadura con moldes de 1.50 m. de alto, pero

sobrecargándolos sólo con dos días de intervalos. El alza de temperatura resultante y la desviación del agua del río por la tubería, provocaron grietas de importancia en todas direcciones.

En la construcción de este tranque se constató una sola filtración que se escurría a través de una grieta. La filtración va desde el paramento de aguas arriba al paramento de aguas abajo. La grieta es horizontal y apareció aguas arriba a la cota 926' aproximadamente. Posiblemente alguna grieta horizontal en el paramento aguas arriba permite la filtración, la que circundando algún sello de cobre se cuela a una junta de contracción. Las inyecciones de cemento sellaron las juntas de contracción en el paramento de aguas abajo, impidiendo la salida del agua por ellas; en cambio, el agua buscó salida por una grieta horizontal del paramento de aguas abajo a la cota 920'. En ese block se procedió a «groutear» totalmente la junta de contracción, suprimiéndose de esta manera esa filtración.

Recientemente fueron «grouteadas» dos nuevas juntas horizontales por las cuales se habían iniciado filtraciones.

En el tranque Norris se registran en forma minuciosa todas las agrietaduras que aparecen, sin querer que este cuidado signifique que el tranque se encuentra agrietado en forma anormal.

RESULTADOS DE LA EXPERIENCIA OBTENIDA CON EL USO DEL CEMENTO MODIFICADO EN EL EMBALSE NORRIS

A las ventajas enumeradas que se han obtenido con el empleo del cemento modificado tipo «B» y que se refieren al espléndido cernido, composición química, alza moderada de temperatura durante el fraguado, hay que agregar las cualidades del material que debe considerarse libre de las menores desventajas que origina el empleo del cemento a baja temperatura, que consiste en la pequeña tasa de endurecimiento del concreto. La tasa de endurecimiento del concreto modificado tipo «B» es suficientemente rápida, aun en épocas frías para permitir el desencofrado de los moldes en un tiempo razonable y para permitir la continuidad de la concretadura sin pérdidas de tiempo.