

RECONOCIMIENTOS.

La mayor parte de la información contenida en este trabajo se obtuvo de varios reportes del Laboratorio de Investigación en la Ingeniería de Construcción del Ejército de los Estados Unidos (CERL). El autor desea agradecer al CERL por la oportunidad de realizar la investigación y al Dr. Richard L. Berber, profesor de Ingeniería Civil de la Universidad de Illinois por su consulta informal. Las opiniones expresadas en este trabajo son las del autor y no necesariamente las del Cuerpo de Ingenieros o del Departamento de Defensa (Corps of Engineers or Department of Defense).

INTRODUCCION.

El objeto de este trabajo es la comparación de dos técnicas por medio de las cuales se puede determinar plenamente el contenido de agua y de cemento del concreto fresco. Las precisiones de ambas técnicas se evaluarán y se indicará su habilidad para calcular la resistencia potencial del concreto. Una de las técnicas es de naturaleza química y la otra de naturaleza nuclear. La técnica química depende de la titulación del ion cloruro para determinar el contenido de agua y de la fotometría por flama para determinar el contenido de cemento. La técnica química fue concebida originalmente por R.T. Kelly y J.W. Vail del Consejo Greater London y desde entonces se le refiere como la técnica Kelly/Vail, (1) en su honor. La técnica nuclear (neutrón/gamma) depende de la emisión de la energía característica de varios elementos (método de señal múltiple) para determinar el contenido de agua y de cemento.

Este trabajo resume los descubrimientos de otros reportes (2), (3), (4), (5) y (6), haciendo de éstos un artículo conciso y presenta nueva información que aún no se ha publicado.

LA TECNICA KELLY/VAIL PARA EL CONTENIDO DE AGUA Y DE CEMENTO.

La técnica Kelly/Vail para determinar el contenido de agua está basada en el entre-mezclado del agua disponible en el concreto fresco con una solución acuosa. Esta consiste en agregar de 500 ml de una solución 0.5 normal de cloruro de sodio a 1 kg. de muestra de cemento, mezclando los dos componentes, y determinar la concentración de cloruro en la solución mezclada, utilizando el método Volhard. Si el concreto contiene cloruros de otros orígenes, el proceso requiere la determinación de ambos, una muestra y un blanco (500 ml de agua destilada se agregan a una muestra de 1 kg de concreto separada).

La técnica Kelly/Vail para la determinación del contenido de cemento se basa en tres suposiciones:

- 1.- El cemento agitado puede dispersarse en agua y mantenerse uniformemente en suspensión de manera que se pueda obtener una muestra representativa;
- 2.- Agitando sin calor externo, podremos producir una solución cuantitativa de cemento en ácido nítrico y

TECNICAS QUIMICA Y NUCLEAR

- 3.- El contenido de calcio de la solución de cemento puede determinarse por medio de fotometría por flama sin antes extraer el sílice y sesquióxidos o por titulación con un punto final fácilmente perceptible.

La figura #1 muestra el equipo requerido para los ensayos de determinación de contenido de agua y de cemento Kelly/Vail. El equipo para ensaye de agua consiste de una revolovedora de recirculación total; dos botellas plásticas de cuello ancho; recipientes de volumen constante, 10 -ml, 5 -ml, 2.5 ml y 2 -ml; dos pipetas automáticas de 50 -ml y dos frascos cónicos de 500 ml. El equipo para el ensaye del cemento consiste de una agitadora lateral, que para el efecto, es una lavadora doméstica, un cedazo (del #4 y #5), tres pipetas automáticas, una licuadora doméstica de alta velocidad (del tipo utilizada para licuados) un fotómetro de flama y equipo de soportes. Se utiliza también una bureta de 100 -ml (que se muestra en la figura #1) que reemplaza al fotómetro de flama cuando el contenido de cemento se determina por titulación.

Para uso en el campo, el equipo Kelly/Vail (contenido de cemento por medio de titulación), con la excepción de la lavadora y el cedazo, está montado en un cajón de 122 x 76 x 38 cm (48 x 30 x 15 pulg), ver figura #2.

Para detalles sobre el procedimiento de operación, equipo y reactivos, consultar referencias 1, 2 ó 7.

TECNICA NEUTRON/GAMMA PARA EL CONTENIDO DE AGUA Y DE CEMENTO.

La técnica neutrón/gamma está basada en un concepto de señal múltiple para determinar las proporciones del material constituyente del concreto. El concepto utiliza una relación entre intensidad de señales y concentraciones de elemento químico para obtener un análisis cuantitativo de elementos seleccionados en una muestra de concreto. Suponiendo que la relación entre intensidad de señales y concentraciones de elemento químico son lineales, las proporciones del constituyente de la muestra puede entonces ser determinada por medio de ecuaciones simultáneas lineales. Para determinar proporciones del material constituyente, el número de señales deben equivaler (o exceder) al número de constituyentes químicos únicos, cada constituyente deberá contener al menos una señal, y las concentraciones de elementos señal en cada constituyente deberán ser razonablemente constantes. Por lo tanto, dado que el concreto normalmente contiene cuatro constituyentes químicamente únicos (agua, cemento, agregado fino y grueso), se requiere un mínimo de cuatro elementos señal.

Un estudio posible efectuado por la Columbia Scientific Industries indicó que se podían detectar cuatro señales de elementos comunes al concreto (H, Si, Ca, C) por medio de un sistema complejo de neutrón/gamma (8). El sistema requería para ambos, neutrones de temperatura constante (neutrones moderados de una fuente Cf-252) y neutrones rápidos (de fuente Pu - Be). El concepto depende de tres funciones básicas analíticas del neutrón/gamma. Estas funciones son:

- (1) Análisis del hidrógeno - Fuente de gammas de 2.22 MeV, Cf-252.
- (2) Análisis del calcio - 3.09 MeV gammas débiles de la reacción $^{48}\text{Ca}(n,\gamma)$ ^{49}Ca de la activación de los neutrones térmicos (se utilizó la fuente Cf-252).

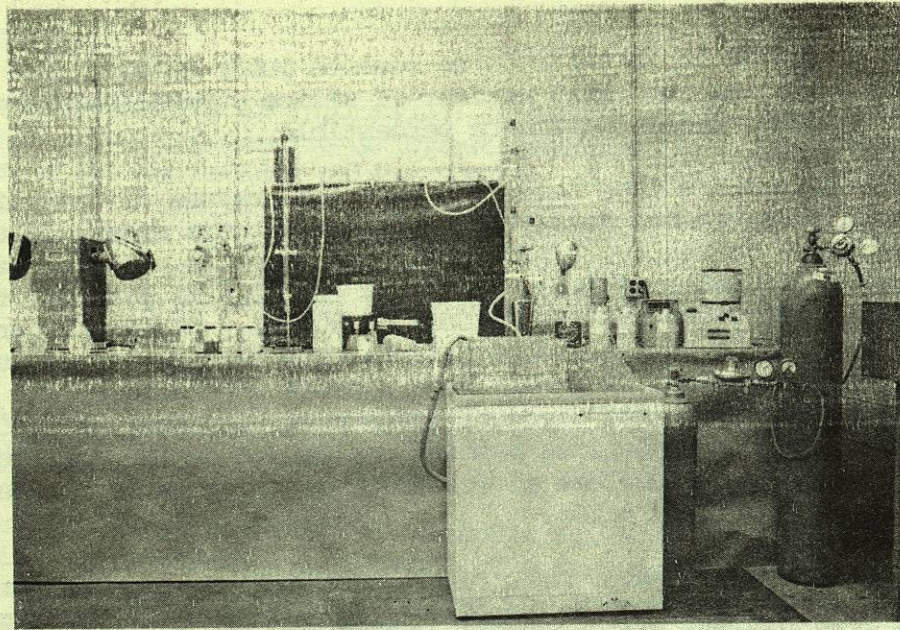


Fig. 2.- Equipo Kelly/Vail para ensayos de campo

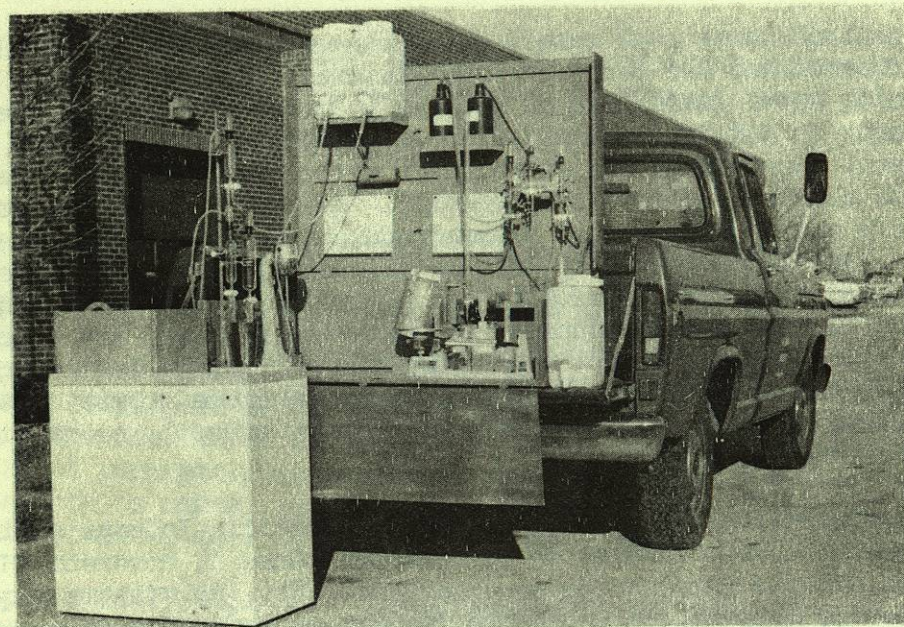


Fig. 1.- Equipo Kelly/Vail

- (3) Análisis de Sílice y Carbono - Gammas rápidos de 1.78 y 4.43 MeV (respectivamente) de la fuente de neutrones rápidos (Pu - Be).

En la figura #3 se ilustra el equipo neutrón/gamma. Consiste de cuatro aparatos: la celda térmica generadora del neutrón (TNC), la celda generadora de neutrones rápidos (FNC), la celda contadora de activación (ACC) y la unidad de control. La unidad TNC contiene una fuente moderada (150 a 250 ug) Cf-252 y un detector NaI (TI) de 12.7 x 12.6 cm (5 x 5 pulg). La unidad FNC contiene una fuente Pu - Be de 37 curies y un detector NaI (TI) de 12.7 x 12.7 cm (5 x 5 pulg). La unidad ACC contiene un detector NaI (TI) de 12.7 x 12.7 cm (5 x 5 pulg). La unidad de control consiste de un analizador de 1024 canales y del equipo de potencia y señales para controlar y grabar las operaciones de la TNC, FNC y ACC.

El equipo neutrón/gamma se opera por medio de transmisión de señales de cada uno de los sistemas de detección a uno de los tres amplificadores en la unidad de control. Las pulsaciones de salida son enviadas al módulo de canal mezclador, que dirige al analizador de multicanales. Cada entrada al canal mezclador tiene una correspondiente compuerta de entrada desde el módulo de control; por lo cual, el analizador acumula una señal particular únicamente durante el período de tiempo - en que su compuerta está abierta. Cada compuerta se abre por un período de tiempo especificado en el módulo de control.

El orden de sucesión normal utilizado para los ensayos:

- (1) Utilizando los recipientes para muestra de 20.3 cm de ϕ x 12.7 cm de alto (8 pulg. de ϕ x 5 pulg de alto) se coloca una muestra de concreto de volumen constante en la unidad TNC y otra en la unidad FNC.
- (2) Se inicia la irradiación y conteo (5 minutos para la celda TNC, y 20 minutos para la celda FNC).
- (3) Después de cumplir con los 5 minutos de irradiación y conteo se traslada la muestra de la celda TNC a la ACC. (Se permite 1 minuto para la transferencia).
- (4) Después del minuto invertido en la transferencia, se inicia la cuenta durante 5 min. en la celda ACC.
- (5) El ciclo se termina en 11 minutos.

Después de completarse el ciclo, se apaga la función colectora del analizador y el espectro gamma analizador también digitaliza los datos colectados en una base y por canal, por evento. La unidad puede sumar o integrar las intensidades de cualquier grupo consecutivo de canales.

DATOS DEL ENSAYE KELLY/VAIL.

Ensayes de Laboratorio.

Se comentará sobre tres series principales de ensayos de laboratorio. La serie inicial de ensayos Kelly/Vail evalúa la influencia del tipo de agregado, pro-