

APLICACION DE LA MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO AL ESTUDIO DEL CEMENTO

Patricio LYON*

Pablo KITTL*

RESUMEN

En el presente artículo se hace una breve comparación entre la microscopía electrónica de transmisión y la microscopía electrónica de barrido aplicadas al estudio de fases y al proceso de hidratación en el clínquer. Se muestran algunos resultados obtenidos con muestras anhidras y muestras hidratadas.

La técnica de la microscopía electrónica de barrido ha comenzado a ser ampliamente usada en el estudio del cemento y sus propiedades.

Con fines comparativos es interesante referirse al microscopio electrónico de transmisión haciendo una breve descripción de su funcionamiento antes de hacer un análisis de las aplicaciones del microscopio de barrido al cemento. La base del funcionamiento del microscopio electrónico de transmisión es la siguiente: a partir de un cátodo de tungsteno caliente se generan electrones. Estos electrones son acelerados a 100 kV a través del ánodo. Las lentes condensadoras dan al haz electrónico un diámetro dado que incide sobre la muestra. Las lentes objetivo enfocan y agrandan la imagen la que finalmente vuelve a ser agrandada por las lentes intermedias y proyectoras, para dar una imagen final sobre una pantalla fluorescente. La figura 1 muestra el esquema del funcionamiento del microscopio electrónico de transmisión¹.

Una aplicación de la técnica anterior al estudio del cemento es la figura 2. Se observa en ella gran cantidad de silicato dicálcico, presentando algunos de los granos inclusiones en su interior. Para la obtención de la imagen fue necesario emplear en la muestra técnicas de pulido, ataque con nital y réplica. Más detalles de esta técnica se pueden ver en la publicación de Kittl et al².

*Investigadores de IDIEM.

El fundamento del funcionamiento del microscopio de barrido es el siguiente: un haz de electrones se genera a partir de un filamento de tungsteno ubicado en el extremo superior de una columna de vacío. El haz es acelerado y dirigido por mecanismos de óptica electrónica sobre la muestra que se encuentra ubicada en la base de la columna. El haz barre la superficie de la muestra en las direcciones X e Y, emitiéndose electrones secundarios. Estos electrones secundarios son detectados mediante un cristal de centelleo y un tubo fotomultiplicador. A continuación son enviados a un monitor de televisión donde se puede observar la imagen.

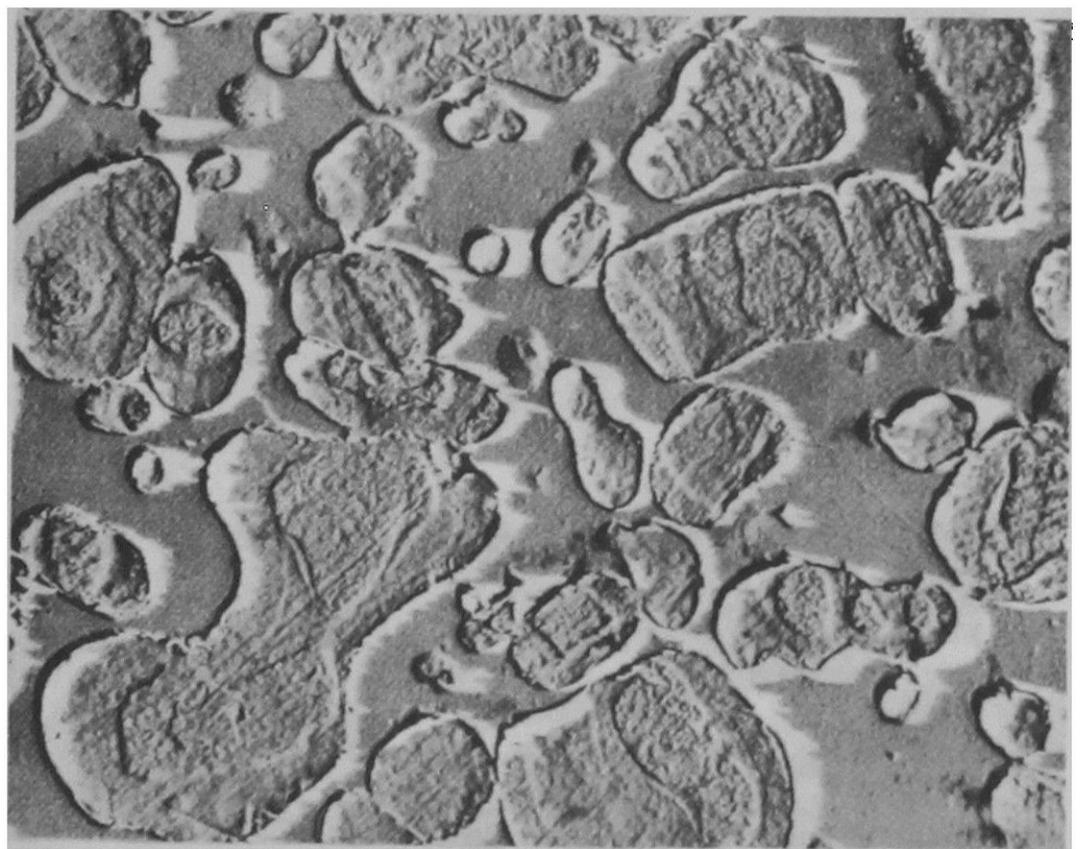
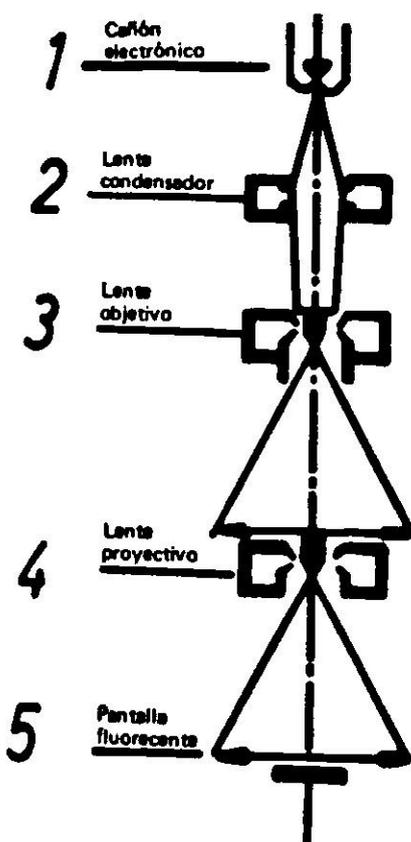


Fig. 1. Esquema del microscopio electrónico de transmisión¹.

Fig. 2. Silicato dicálcico en un clínquer pulido y atacado con nital. Microscopía de transmisión², 3000 x.

La figura 3 muestra un esquema del microscopio electrónico de barrido^{3,4}.

Mediante el microscopio electrónico de barrido se puede hacer un rápido estudio de fases en el clínquer sin que sea necesario, a diferencia de la microscopía de transmisión, recurrir a técnicas de pulido o réplicas. Basta solamente recubrir las superficies en estudio con una capa de carbón, para hacerlas eléctricamente conductoras. Otra de las ventajas que conviene destacar es la gran profundidad de campo del microscopio de barrido.

Una muestra de la aplicación al estudio de fases son las figuras 4 y 5⁵. La figura 4 presenta una colonia de silicato dicálcico de un clínquer fracturado sin ataque químico de ninguna naturaleza. Se observan además algunos granos de silicato tricálcico, entre los granos de silicato dicálcico.

En la figura 5, hay gran cantidad de silicato tricálcico típicamente alargado de un clínquer que ha sido enfriado lentamente, del mismo tipo que el de la figura 2. Sólo ha sido recubierto por una película de carbón.

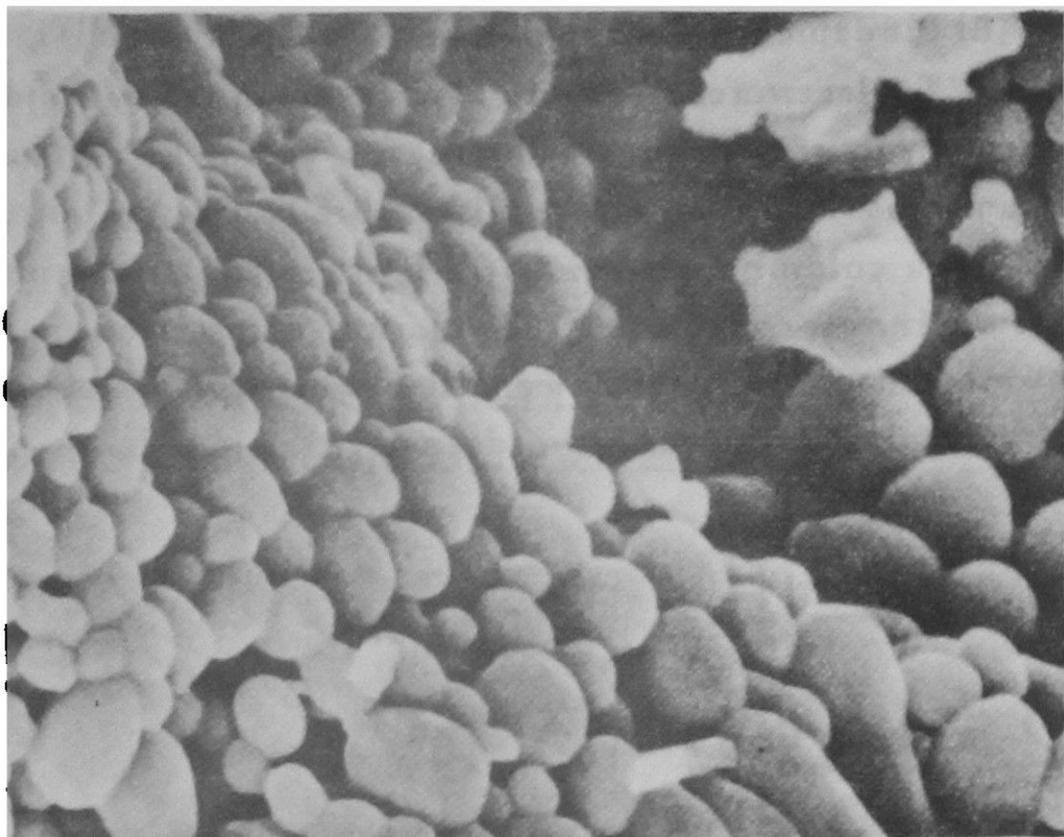
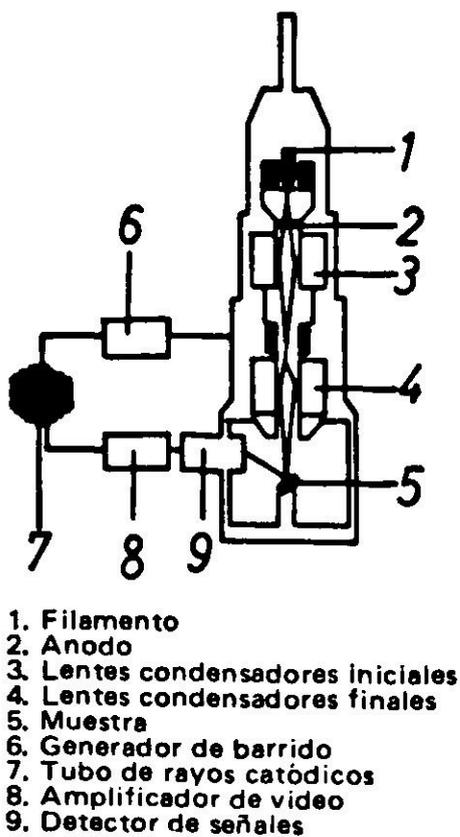


Fig. 3. Esquema del microscopio electrónico de barrido^{3,4}.

Fig. 4. Clínquer de cemento. Microscopía de barrido de una colonia de silicato dicálcico⁵, 7200 x.

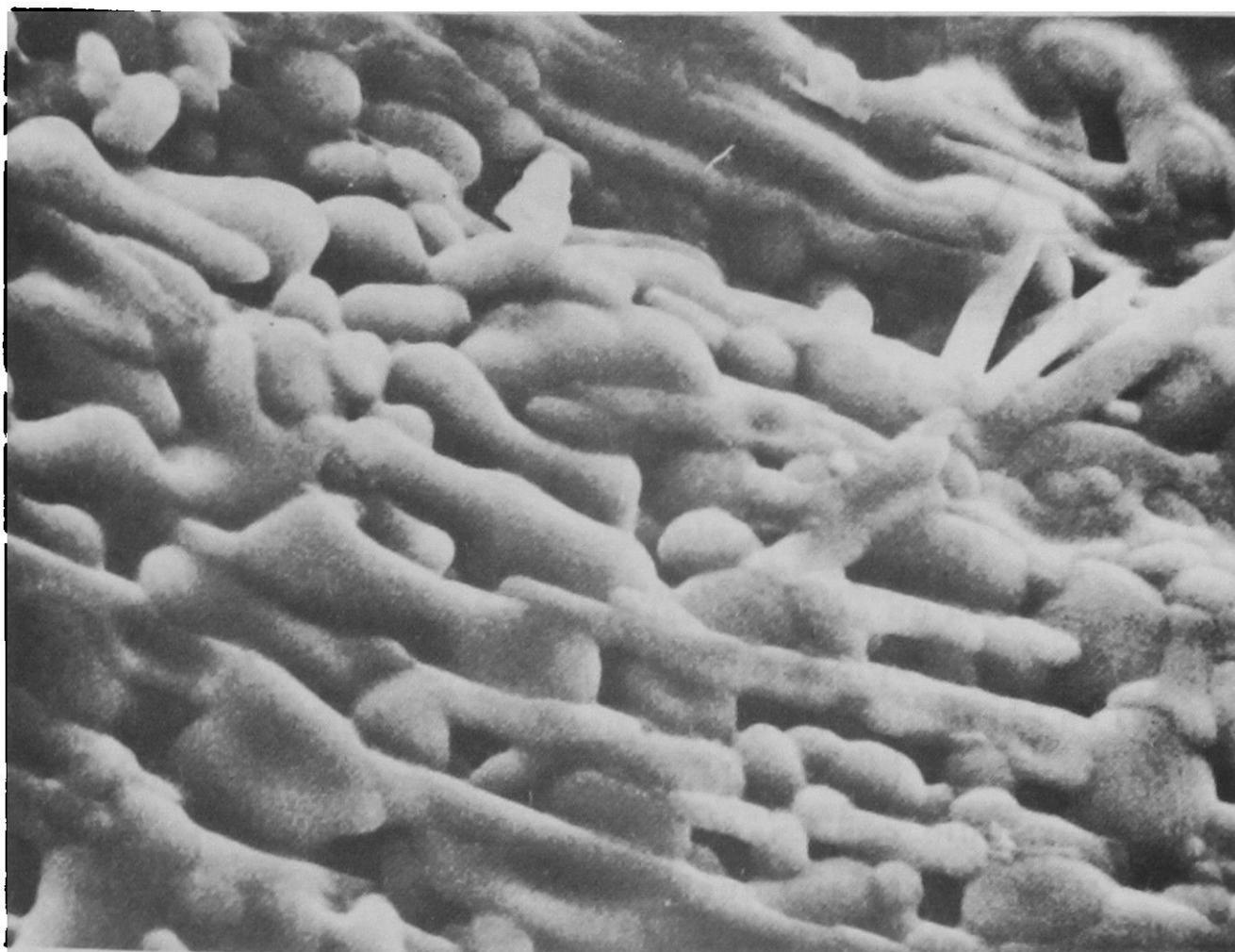


Fig. 5. Clínquer de cemento. Microscopía de barrido de una colonia de silicato tricálcico⁵, 7200 x.

También ha sido usada en el estudio de superficies pulidas y atacadas con reactivos químicos. La figura 6 muestra un clínquer pulido y atacado con nital al 1% durante un tiempo de 10 segundos en la cual se destacan nítidamente el silicato tricálcico y las fases vítreas⁷.

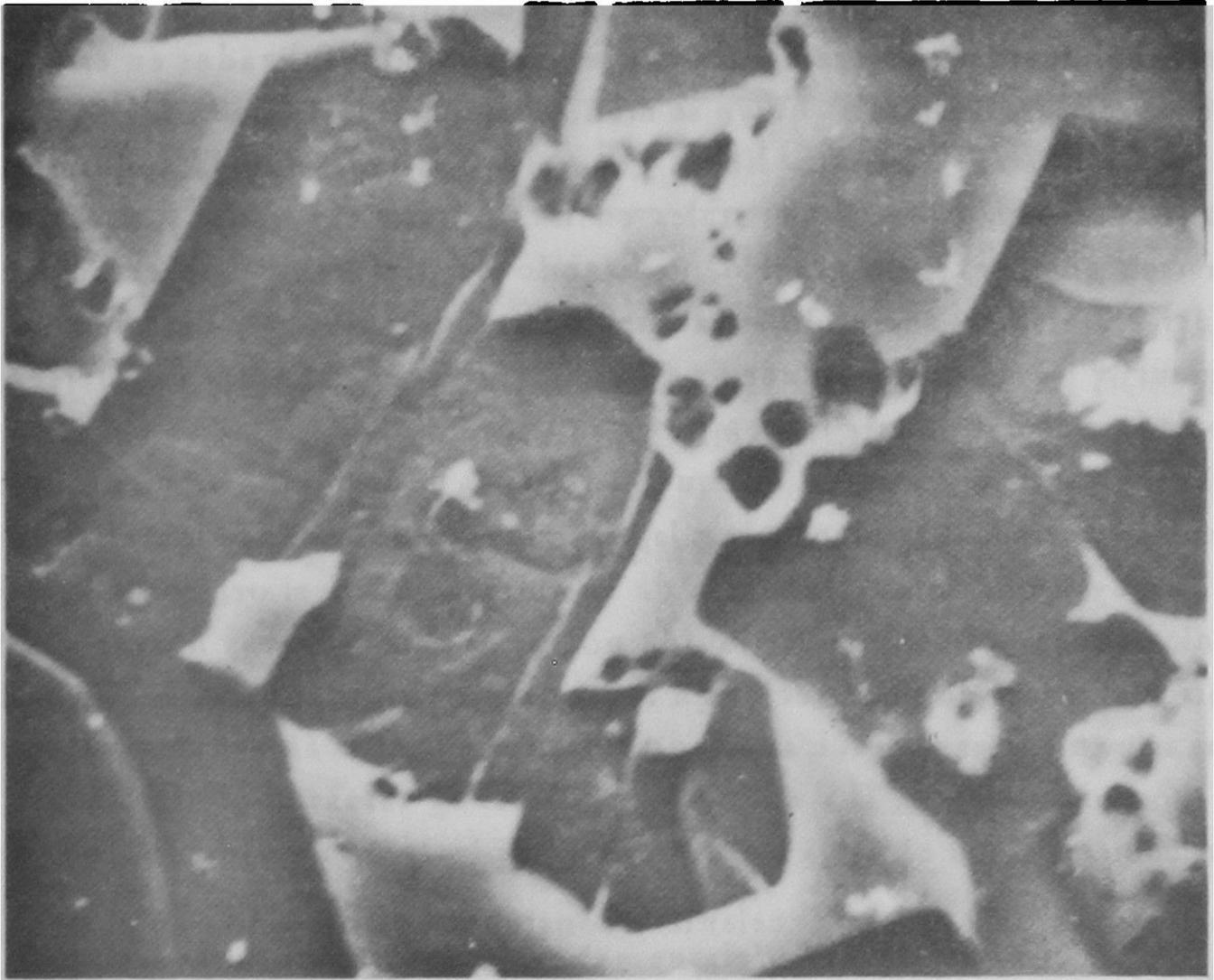


Fig. 6. Clínquer pulido y atacado con nital. Silicato tricálcico con núcleos de crecimiento. Microscopía de barrido⁷, 2500 x.

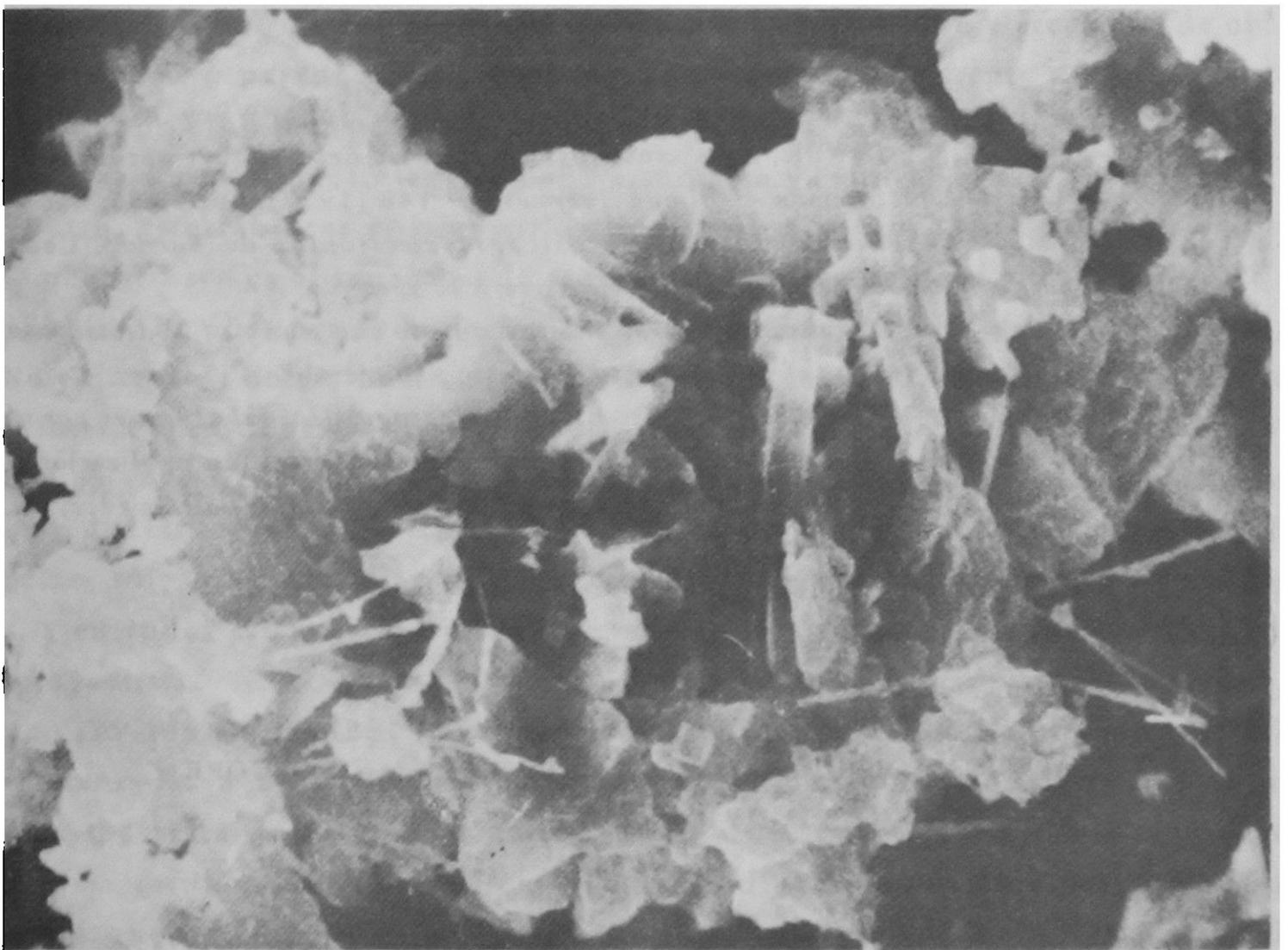


Fig. 7. Productos de hidratación de un clínquer atacado por la humedad ambiente. Microscopía de barrido⁵, 5200 x.

La microscopía de barrido además ha sido utilizada en el estudio del fenómeno de la hidratación en el cemento. Entre los trabajos realizados en esta dirección se destaca el de Williamson⁶ quien se manifiesta partidario de la teoría de hidratación de Le Chatelier, que en líneas generales sostiene que la tobermorita y la portlandita crecen como los cristales en un líquido saturado y sobre enfriado. Williamson en su extenso trabajo, utilizando de preferencia observaciones sobre clínquer hidratado y sometido a fractura a diferentes tiempos de fraguado, parece confirmar la teoría expuesta por Le Chatelier, aunque ésta merece fuertes reparos a uno de los autores de este trabajo.⁷

La figura 7⁵ muestra un clínquer en que la hidratación se ha producido por la humedad del medio ambiente, con la presencia de abundante material hidratado.

Es muy probable que la teoría de la hidratación y el origen de la resistencia mecánica de los hormigones, atribuída por unos a las fuerzas de van der Waals y por otros al efecto de fibra, reciba en los próximos años aportes decisivos de parte de esta nueva técnica.

Agradecimientos

A Mariana Ramos P. por su excelente y constante colaboración en el trabajo fotográfico.

BIBLIOGRAFIA

1. THOMAS, G. *Transmission electron microscopy of metals*. John Wiley & Sons, 1962.
2. KITTL, P.; LYON, P., y FUHRER, X. Microscopía electrónica del clínquer por la técnica de réplicas. *Materiales de Construcción - Ultimos Avances*, nº 148 (1972), pp. 51-56.
3. IPOHORSKY, M., y MARRAPODI, M.R. *Microscopía electrónica de barrido*. Comisión Nacional de Energía Atómica Argentina. Buenos Aires, 1973.
4. THAULOV, N. *Application of scanning electron microscopy to the study of hydrated cement*. Concrete Research Laboratory. Informe Interno. Karlstrup (diciembre 1973).
5. KITTL, P.; LYON, P., y MARRAPODI, M.R. *Estudio fractográfico del clínquer por medio del microscopio electrónico de barrido (SEM)*. Resultados preliminares (en publicación).
6. WILLIAMSON, R.B. Solidification of portland cement. *Progress in Materials Science*, vol. 15, nº 3 (1972), Pergamon Press.
7. KITTL, P., y CASTRO, H. En publicación.

APPLICATION OF SCANNING ELECTRON MICROSCOPE TO THE STUDY OF HYDRATED CEMENT

SUMMARY:

A brief comparison is made between transmission and scanning electron microscopy as applied to the study of phases and hydration processes in cement clinker. Some results obtained with both unhydrated and hydrated samples are presented.