

# Estudio del contenido de humedad en un material en base cemento midiendo su impedancia y su gamma-densitometría

## *Study of the moisture content gradient in a cementitious material by measuring its impedance and gamma-densitometry*

J. P. GUILBAUD, H. CARVALHO, V. BAROGHEL-BOUNY y A. RAHARINAIVO  
Laboratorio Central des Ponts et Chaussées, París

FRANCIA

Fecha de recepción: 15-III-99

Fecha de aceptación: 21-VI-99

### RESUMEN

*El agua contenida en los materiales en base cemento depende del equilibrio entre la atmósfera que le rodea y las propiedades de la matriz sólida. Por lo tanto el perfil de humedad en los materiales puede variar con el tiempo. La finalidad de este estudio es seguir los cambios en dicho perfil, a través de la medición de la impedancia eléctrica del material con varios pares de pequeños conductores situados a diferentes profundidades.*

*Este sistema se aplicó a diversas muestras de pasta de cemento jóvenes. Los resultados obtenidos nos hacen ver que el método es satisfactorio, debiendo aplicarse a una frecuencia de 50 a 100 Hz. Dichos resultados se compararon con los obtenidos a través de la gamma-densitometría.*

### SUMMARY

*The local water content in cementitious material depends on the equilibrium between its atmospheric environment and its bulk properties. So, the moisture profile in material can vary with time. The object of this study is to follow the change of this profile by measuring the electrical impedance of the material with pairs of small wires embedded at different depths.*

*This method was applied to young cement paste specimens. The results obtained show that this method is quite satisfactory. The best frequency to be applied, is about 50 or 100 Hz. These results were compared with those obtained with gamma-densitometry.*

### INTRODUCCIÓN

El agua contenida en los materiales en base cemento depende del equilibrio entre su entorno atmosférico y las propiedades de la masa. De esta forma, el perfil de contenido de humedad puede variar con la climatología. En un entorno con una humedad relativa moderada, el material cementicio tiende a perder el agua que se

### INTRODUCTION

*The local water content in cementitious material depends on the equilibrium between its atmospheric environment and its bulk properties. So, the moisture profile in this material can vary with time. In an environment with a moderate relative humidity, a cementitious material tends to loose its pore water.*

almacena en sus poros. Este proceso puede ser importante cuando el cemento está fraguando y es muy joven. Todo esto significa que al cabo de unos pocos días el contenido en agua disminuye drásticamente cerca de la superficie, mientras que el núcleo contiene, sin embargo, un alto porcentaje de agua en sus poros. En hormigones o morteros más antiguos, el proceso de secado es más lento, cambiando sin embargo el contenido de humedad en el interior, según esté o no en contacto con un ambiente de mayor o menor humedad relativa.

Una gran parte de los materiales en base cemento poseen un determinado perfil de humedad cerca de su superficie, perfil éste que está en conexión con otros parámetros, como densidad o resistividad eléctrica.

Varios dispositivos se han desarrollado con el fin de facilitar la medida de los perfiles de resistividad en el hormigón. Los sensores se han instalado en un orificio practicado previamente en el hormigón que luego se rellenó con un material en base cemento (1). Esto significa que el hormigón que está en contacto con el sensor, no es el igual que el de la probeta. Por tanto esta forma de proceder es mejor aplicarla a materiales de reparación utilizados para sanear el hormigón viejo (2), y no debe aplicarse al hormigón fresco.

El objetivo de este estudio es mostrar que el perfil de humedad en materiales en base cemento, puede ser evaluado a través de la medición de su resistencia eléctrica o impedancia. Este material puede ser tanto nuevo como antiguo.

## ENSAYOS

### Medida de la impedancia

Para medir la resistencia o impedancia de una muestra de mortero endurecido, se colocan conductores de cobre dentro del material. Estos conductores son de escaso diámetro y están cubiertos por un aislante, excepto en una longitud de aproximadamente un milímetro. Se colocan paralelamente a uno de los lados de la muestra y en dos planos paralelos entre sí y perpendiculares a una cara. En uno de dichos planos, la distancia entre dos conductores adyacentes es constante. De esta forma dos conductores se hallan a la misma y preestablecida profundidad de la superficie de la muestra.

La finalidad de este sistema es medir la resistencia eléctrica o impedancia entre dos conductores colocados a la misma profundidad. La resistencia eléctrica se mide a través de corriente continua. De esta forma pudo constatarse que, cuando los

*This process has a high rate, when the material is setting and is very young. It means that within few days, its water content drastically decreases near its surface, while its core remains full of pore water. In older concrete or mortar, the rate of this drying process is slower. However moisture content changes versus depth, as long as this material is contacting an environment with a lower relative humidity.*

*So, for most of cementitious materials, a moisture profile exists near its surface. This profile is to be linked with other parameters such as density or electrical resistivity.*

*Some devices have been developed for measuring resistivity profiles in concrete. These sensors are installed in a hole which is previously drilled in concrete and then filled with a cementitious material (1). It means that the concrete which is in contact with the sensor, is not the same as the bulk material. So, this technique is preferably applicable to new repair material patched on old concrete (2). It is not applicable to young concrete.*

*The object of this study is to show that moisture profile change in cementitious material, can be monitored with measuring its electrical resistance or impedance. This material can be either old or young.*

## EXPERIMENTAL

### Impedance measurement

*For measuring resistance or impedance of a hardened mortar specimen, copper wires are placed in this material, at its casting. These wires are of thin diameter and their are coated with an insulator, except on a length of about one millimeter. They are parallel to a side of the specimen and they are in two planes which are parallel to each other and perpendicular to this face. In one of these planes, the distance between two adjacent wires is constant. So, in these planes, two wires are at the same depth, as measured against the specimen surface.*

*The principle of the method is to measure electrical resistance or impedance between two wires at the same depth. Electrical resistance is measured with direct current. It appears that when copper wires are so polarized, the value of this electrical resistance*

conductores de cobre se polarizan, el valor de su resistencia eléctrica cambia con el tiempo. Por lo tanto es preferible aplicar corriente alterna y así el parámetro medido será el de impedancia eléctrica. Además, con el fin de tener en cuenta la heterogeneidad del material, la distancia entre los planos que contienen los conductores de cobre es suficientemente amplia.

La impedancia eléctrica de un material en base cemento endurecido depende de la frecuencia de la corriente aplicada y, por lo tanto, puede tener relación con diferentes propiedades del material, dependiendo de la frecuencia utilizada. Para una alta frecuencia (normalmente más de 1 kHz), la impedancia eléctrica se relaciona principalmente con la presencia de agua en los poros (3), a pesar de no haberse publicado aún resultado alguno sobre el valor de la impedancia del hormigón medida a más bajas frecuencias. Uno de los objetivos de este estudio es determinar el efecto de la frecuencia en el valor de la impedancia.

Con el fin de validar los resultados obtenidos con las medidas de impedancia, éstos se compararon con el sistema habitual de medida relativo a la determinación semi-cuantitativa del contenido de agua en los materiales en base cemento, es decir la gamma-densitometría.

La impedancia  $Z$  se midió utilizando un puente con una frecuencia de corriente ajustable, entre 50 Hz y 150 kHz. La exactitud de la medida fue del 0,01%.

### **Gamma-densitometría**

El principio de la gamma-densitometría es el siguiente. Una fuente radioactiva (aquí, conteniendo Cesio 137) se coloca a una distancia dada de la superficie lateral de la muestra. Los rayos gamma son emitidos por esta fuente, mediante un haz de aproximadamente 4 mm, que se corresponde con la del diámetro de la muestra. Un sensor de rayos gamma se coloca al otro lado de la muestra, frente a la fuente radiactiva.

La intensidad de la radiación depende de la densidad del material entre la fuente y el sensor, y así se establece el contenido de humedad en el material en base cemento.

El equipo utilizado fue descrito en los trabajos (4) (5). Dado que la fuente puede moverse paralelamente al eje del cilindro, de esta forma se puede establecer el perfil de la densidad (humedad) de la muestra.

### **Tipo de muestras**

Fueron utilizados dos tipos de muestras de materiales en base cemento. El primer tipo sirvió para estudiar el

*changes with time. So, an alternate current is preferably applied and the parameter which is measured, is electrical impedance. Moreover, for taking into account the material heterogeneity, the distance between planes containing copper wires is long enough.*

*The electrical impedance of a hardened cementitious material depends on the frequency of the applied current. It can be related with various material properties, depending on the current frequency which is applied. For high frequency (typically, more than 1 kHz), electrical impedance is mainly related with the presence of pore water (3). But no result has yet been published on the value of concrete impedance measured at lower frequency. One object of this study was to determine the effect of frequency on impedance value.*

*For validating the results obtained with impedance measurements, they were compared with those of a more common method dealing with the semi-quantitative determination of water content in cementitious materials. This method was gamma-densitometry.*

*Impedance  $Z$  was measured by using a bridge with an adjustable current frequency, ranging between 50 Hz and 150 kHz. The measurement accuracy was 0.01%.*

### **Gamma-densitometry**

*The principle of gamma-densitometry is as follows. A radioactive source (here, containing cesium 137) is placed at a given distance of the specimen lateral surface. Gamma rays are emitted from this source, in a beam which is about 4 mm wide. This beam is along a specimen diameter. A gamma ray sensor is placed on the other side of the specimen, in front of the source.*

*The radiation intensity depends on the density of the material between source and sensor. So, it is related with moisture content in the cementitious material.*

*The equipment used was described in previous papers (4) (5). As the source can be moved parallel to the cylinder axis, a density (moisture) profile can be plotted for the specimen.*

### **Test specimens**

*Two types of cementitious material specimens were used. The first type concerned the effect of the applied*

efecto de la frecuencia de la corriente aplicada y la influencia del secado. Posteriormente se realizaron ensayos con prismas de mortero 34x35x140 mm (Figura 1 A). La distancia entre los grupos de conductores de cobre fue de 100 mm. En cada grupo, los conductores se colocaron a una profundidad de entre 100 mm, siendo 1 mm la distancia entre dos conductores adyacentes.

El mortero estaba compuesto por: 450 g de cemento Portland CEM I), 1.350 g de arena (tipo RILEM), 0,225 kg de agua (relación agua/cemento: 0,5).

Con el fin de evaluar el efecto de la frecuencia aplicada sobre la impedancia, se utilizó una muestra entre 15 y 100 días de edad en el momento del ensayo. Las mediciones empezaron a realizarse lo antes posible, con el fin de estudiar el efecto del secado mientras fraguaba el cemento, es decir aproximadamente una hora después. Se siguieron realizando mediciones hasta los 30 días.

El segundo tipo de muestra se utilizó para la gamma-densitometría. Se trataba de un cilindro de 68 mm de diámetro, 100 mm de altura, fabricado con pasta de cemento Portland (CEM I) (Figura 1 B), y un porcentaje de agua igual al 0,45. Fue curado al aire con una humedad relativa (RH) que, inicialmente, era igual al 53,5%. El valor de la RH no fue controlado durante el ensayo.

Para estas muestras los conductores de cobre se embebieron a una profundidad de 5 a 60 mm de promedio (en la parte plana de la muestra).

*current frequency and the influence of material drying during setting. Then, tests were carried with mortar 34x35x140 mm prisms (Figure 1 A). The distance between the planes of copper wires was equal to 100 mm. In each plane, wire depth was ranging between 1 and 10 mm, the distance between two adjacent wires was 1 mm.*

*The mortar was designed as follows: Portland cement (CEM I): 450 g, sand (RILEM type): 1.350 g, water: 0.225 kg (water to cement ratio: 0.5).*

*To evaluate the effect of applied frequency on impedance, the specimen was between 15 and 100 days old, at the date of testing. For studying the effect of drying during cement setting, measurements began as soon as possible. This delay was typically one hour after the cement setting. Then, the measurements were carried out until the age of 30 days.*

*The second type of specimen concerned gamma-densitometry. It was a cylinder, 68 mm in diameter, 100 mm high, which was made of cement paste (Figure 1 B), with a Portland cement (CEM I), and a water to cement ratio equal to 0.45. It was cured in air with relative humidity (RH) which was initially equal to 53.5%. Then, this RH value was not controlled during the testing.*

*For these specimens, the embedded copper wires were placed every 5 mm, with a depth ranging between 5 and 60 mm (against a plane face of the specimen).*

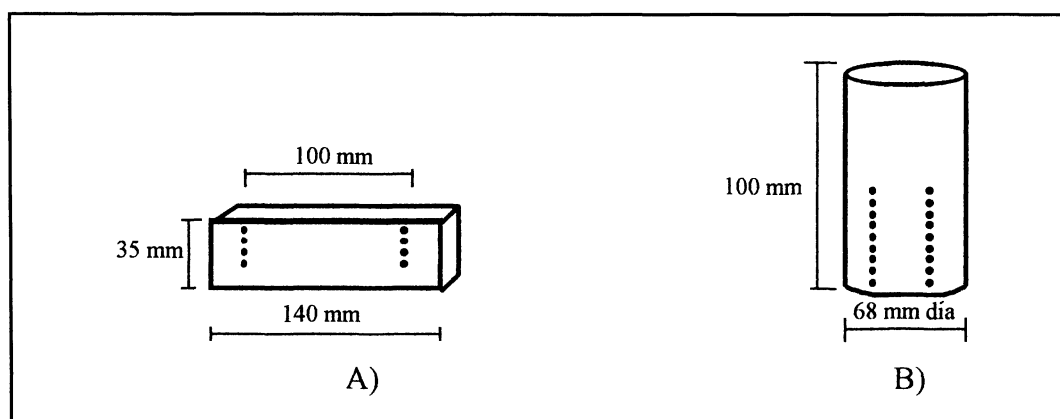


Figura 1.- Muestra para medir el perfil de impedancia. A) Prisma, B) Cilindro.  
Figure 1.- Specimens for measuring impedance profile. A) Prism, B) Cylinder.

## RESULTADOS

### Resultados relativos a la frecuencia de la corriente

Las Figuras 2 y 3 son curvas típicas de BODE, en las cuales el módulo de impedancia  $Z$  viene dado a través de la frecuencia de polarización  $f$ . La Figura 2 corresponde a una profundidad  $x = 3$  mm, en una muestra de mortero en proceso de secado. La Figura 3 corresponde a diversas profundidades en una muestra de 7 días. En estas figuras se puede apreciar un rellano en las curvas para la región de baja frecuencia y, por lo tanto, la impedancia  $Z$  disminuye con  $f$ . En la región de altas frecuencias, mayores de 1 kHz, ocurre que prácticamente coinciden la curva de los diversos tiempos de fraguado como la de las diferentes profundidades. De esta forma, con el fin de ver el efecto del gradiente de humedad de la muestra, es conveniente considerar la región de bajas frecuencias. Esta es la razón por la que se conservó la frecuencia de 50 Hz para el resto del estudio. Los valores de dicha frecuencia corresponden a la normal del fluido eléctrico en Francia.

En la Figura 4 se pueden apreciar los perfiles típicos de impedancia. En uno de los perfiles, el módulo de impedancia se muestra en función de la profundidad de colocación de los conductores. Las medidas fueron realizadas a 50 Hz. Estos resultados nos conducen a apreciar que el perfil de impedancia de las curvas hace viable seguir el proceso de secado de una muestra de mortero.

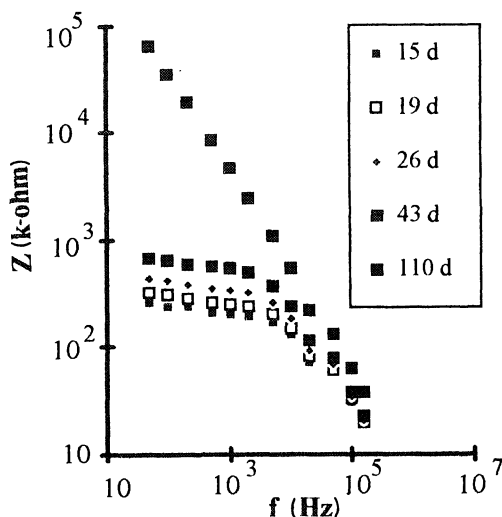


Figura 2.- Curvas típicas de BODE de módulo de la impedancia  $Z$  (en k-ohm) en función de la frecuencia  $f$  (en Hz), para una profundidad ( $x = 3$  mm) en muestras de distintas edades (en días).

Figure 2.- Typical BODE plots giving impedance modulus  $Z$  (in k $\Omega$ ) versus frequency  $f$  (in Hz), for one depth ( $x = 3$  mm) in a specimen, at various ages (in days).

## RESULTS

### Results concerning current frequency

Figures 2 and 3 are typical BODE plots, in which impedance modulus  $Z$  is given versus the polarization frequency  $f$ . Figure 2 corresponds to a depth  $x = 3$  mm, in a mortar specimen under drying process. Figure 3 corresponds to various depths in a specimen which is 7 days old. In these figures, every plot has a plateau for lower frequency  $f$ , then impedance  $Z$  decreases with  $f$ . It appears that when  $f$  is higher than about 1 kHz, the plots corresponding to either to several setting times or to various depths, almost coincide. So, for pointing out the effect of moisture gradient in material, it is convenient to consider the (lower frequency) plateau. This is the reason why a frequency of 50 Hz was retained for the rest of the study. This frequency value corresponds to usual currents, in France.

Figure 4 gives typical impedance profiles. In a profile, impedance modulus  $Z$  is plotted against wire depth in specimen. These measurements were made at 50 Hz. These results showed that plotting impedance profile made it possible to follow the drying process of a mortar specimen.

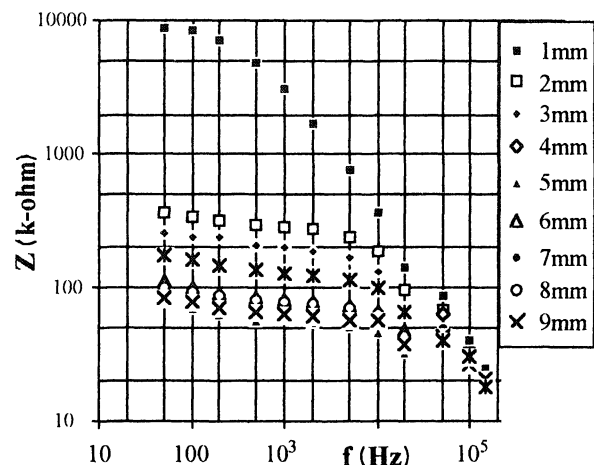


Figura 3.- Curvas típicas de BODE de módulo de la impedancia  $Z$  (en k-ohm) en función de la frecuencia  $f$  (en Hz) (con una edad de 7 días), para diversas profundidades.

Figure 3.- Typical BODE plots giving impedance modulus  $Z$  (in k $\Omega$ ) versus frequency  $f$  (in Hz) (at the age of 7 days), for several depths.

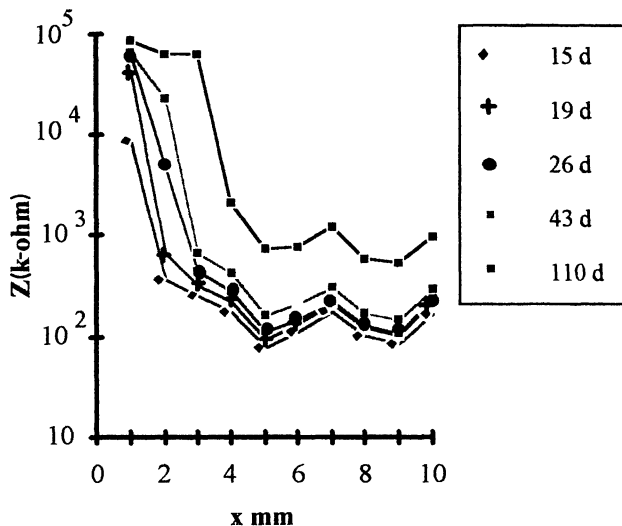


Figura 4.- Típicos perfiles de módulo de impedancia, dando una impedancia  $Z$  (en k-ohm) versus profundidad  $x$  (en mm), medida con una frecuencia ( $f = 50$  Hz), con diversas edades de la muestra (en días).

Figure 4.- Typical impedance profiles, giving impedance  $Z$  (in k $\Omega$ ) versus depth  $x$  (in mm), measured with one frequency ( $f = 50$  Hz), at various ages (in days) of the specimen.

Todos estos resultados señalan que la impedancia medida a baja frecuencia, alrededor de 100 Hz, puede proporcionar información sobre el contenido de agua en materiales en base cemento. Otros autores han publicado similares resultados (6).

### Resultados de gamma-densitometría

Para esta parte del estudio, se midió la impedancia  $Z$  a una frecuencia igual a 50 Hz. Las mediciones se realizaron nada más amasada la muestra. Fueron impuestas dos condiciones. En primer lugar, se supone que la hidratación del cemento habría seguido un proceso normal si la muestra no hubiera sido eficazmente protegida contra el intercambio de humedad con el ambiente. En segundo lugar, la hidratación se produjo durante el secado, ya que la muestra fue colocada en un ambiente de humedad relativa, inferior a la del propio material. En ambos casos, el grado de humedad del material pudo ser medido mediante el registro de la impedancia desde edades tempranas.

La Figura 5 A muestra el perfil de impedancia durante el proceso de hidratación. Las curvas muestran un área no homogénea de aproximadamente 5 cm a partir de la superficie de la muestra. La figura 5 B nos ofrece el perfil de impedancia durante el secado de la muestra, a HR = 53,5%. Estos resultados se compararon con los obtenidos utilizando la gamma-densitometría.

Las Figuras 6 A y 6 B nos muestran los perfiles de densidad (contenido en humedad) de la muestra, como resultado tanto de un proceso de hidratación puro o de hidratación bajo secado, respectivamente. Se detectó también un área no homogénea durante el fraguado de la muestra, desde una profundidad de, aproximadamente, 5 cm.

*So, these results show that impedance measured at low frequency, about 100 Hz, can give information on the water content in cementitious materials. Other authors have published similar results (6).*

### Results including gamma-densitometry

*For this part of the study, impedance  $Z$  was measured at a frequency equal to 50 Hz. Measurements started as soon as the specimen was cast. Two types of conditions were applied to the specimen. First, cement hydration was a pure process if the specimen was tightly protected against moisture exchange with its environment. Then, hydration was combined with external drying when specimen was exposed to an environment with a relative humidity which was lower than that of the material. In both cases, moisture gradient in the material could be followed, by measuring impedance at early age.*

*Figure 5 A gives the impedance profile related to the hydration process. It shows an inhomogeneous area at about 5 cm from the specimen face. Figure 5 B gives the impedance profile during the drying of the specimen, at RH = 53.5%. These results were compared with those obtained by using gamma-densitometry.*

*Figures 6 A and 6 B give the density (moisture content) profiles of the specimen, as a result either of a pure hydration process or of hydration under drying, respectively. An inhomogeneous area is detected in the setting specimen, at a depth of about 5 cm.*

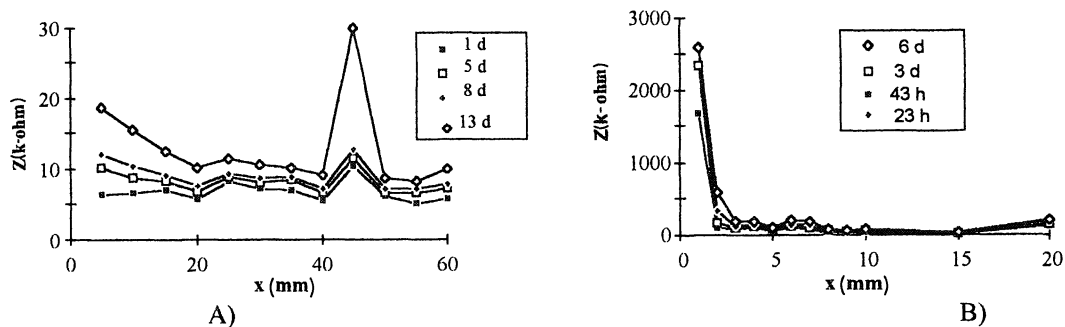


Figura 5.- Perfil de impedancia para una muestra cilíndrica. A) Muestra protegida contra los cambios de humedad. B) Muestra en proceso de secado en un entorno con HR = 53,5%, tras amasado.

Figure 5.- Impedance profile for a cylindrical specimen. A) Specimen protected from moisture exchange. B) Specimen drying in an environment with RH = 53.5%, after casting.

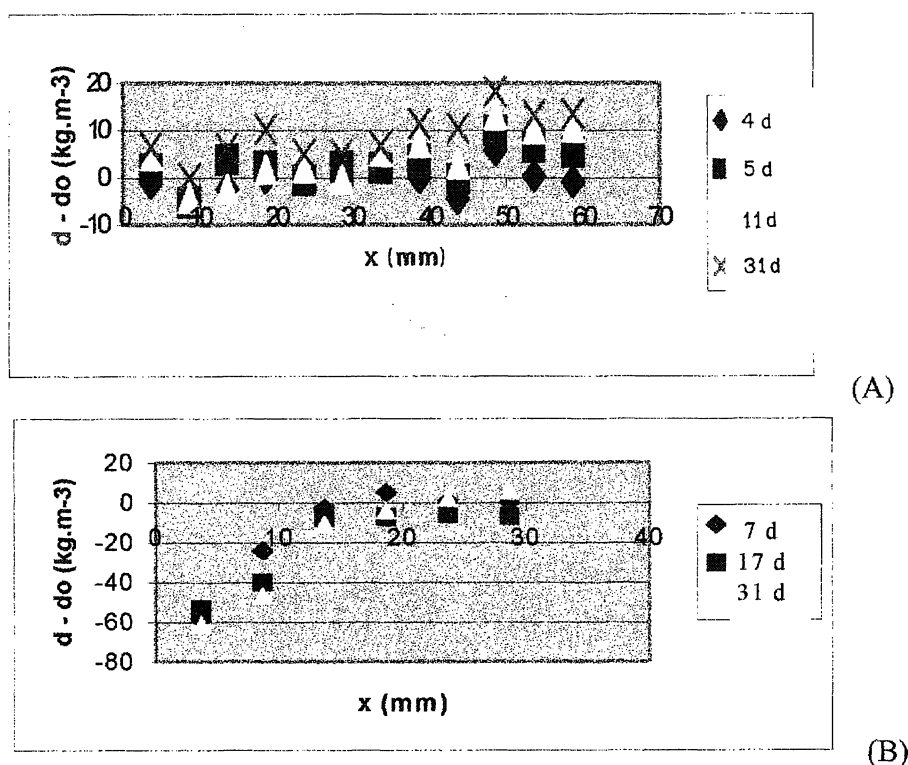


Figura 6.- Perfil de "cambios de densidad" ( $d-d_0$ ) obtenido a través de gamma-densitometría. A) Muestra protegida contra los cambios de humedad. B) Muestra secándose en un ambiente con HR = 53,5%. Los valores de referencia corresponden a las condiciones iniciales (saturación). La densidad es menor que  $d_0$ , por lo tanto ( $d-d_0$  es negativo) en caso de haberse secado la muestra.

Figure 6.- Profile of "density change" ( $d-d_0$ ) obtained with gamma-densitometry. A) Specimen protected from moisture exchange. B) Specimen drying in an environment with RH = 53.5%, after casting. Reference value  $d_0$  corresponds to initial (saturated) condition. Density is lower than  $d_0$ , then ( $d-d_0$  is negative) if the specimen dries.

## DISCUSIÓN

La primera parte de este estudio indica que las medidas de impedancia, a una frecuencia aproximada de 100 Hz, ofrece resultados que permiten apreciar el grado de

## DISCUSSION

The first part of this study showed that impedance measurement, at a frequency of about 100 Hz, gives valuable results concerning moisture content

humedad contenida en materiales en base cemento. Sin embargo, es preciso comparar estos resultados, obtenidos utilizando medidas de impedancia, con los resultados de la gamma-densitometría, bajo similares condiciones.

Dichas comparaciones muestran que:

-La impedancia y la gamma-densitometría proporcionan perfiles semicuantitativos en contenido de humedad.

-Los perfiles obtenidos con medidas de impedancia y gamma-densitometría son muy semejantes, cuando ya no existe proceso alguno de hidratación en la muestra.

-La precisión en los resultados depende de la distancia entre dos conductores adyacentes en el caso de la impedancia y el tamaño del haz en el de los rayos gamma. Estos valores resultan ser de 1 mm para la impedancia y unos 5 mm para la gamma-densitometría.

-Las medidas de la impedancia pueden llevarse a cabo desde el momento del amasado. Por el contrario, la gamma-densitometría necesita que la muestra esté ya fraguada. Tan sólo se puede aplicar sobre material endurecido.

-La gamma-densitometría no es capaz de distinguir entre el agua libre de los poros y la que se combina con el cemento. La razón es que, en ambos casos, el agua tiene prácticamente el mismo valor de densidad.

También es digno de destacarse que el ensayo de la impedancia es bastante más largo que el realizado con la gamma-densitometría.

## CONCLUSIÓN

Desde la superficie de un material en base cemento en proceso de secado, se establece un perfil de humedad que puede evaluarse mediante la medida de la impedancia eléctrica, tal y como se ha mostrado en el trabajo. Para ello se embeben parejas de conductores a diversas profundidades. La impedancia se mide entre los dos conductores de una pareja dada, a una profundidad previamente determinada.

Cuando el proceso de hidratación está todavía en desarrollo, la medida de la impedancia puede proporcionar el grado de humedad cerca de la superficie de la muestra. En tales circunstancias, la gamma-densitometría no se puede aplicar.

Sin embargo ambos métodos pueden aplicarse con buenos resultados cuando el cemento ya ha fraguado, lo

*gradient in cementitious material. However, it is necessary to compare these results obtained by using impedance measurement with the results of gamma-densitometry, under similar conditions.*

*This comparison shows that:*

*-Impedance and gamma-densitometry give moisture content profiles which are semi-quantitative,*

*-Profiles obtained with impedance measurements and gamma-densitometry are in a very good agreement, when no hydration process occurs anymore in the specimen,*

*-The accuracy of the results depends on the distance between two adjacent wires for impedance measurement and on the width of the gamma-ray beam. It is about 1 mm for impedance and about 5 mm for gamma-densitometry,*

*-Impedance measurements can be made as soon as the cementitious material is in its mould. On the contrary, gamma-densitometry needs specimen to be out of its mould. It concerns only hardened material,*

*-Gamma-densitometry is not able to distinguish free water in cement from bound water after reaction with cement. The reason is that in these two cases, water has practically the same value of density.*

*It is also to be noticed that testing with impedance measurement takes far less time than gamma-densitometry.*

## CONCLUSION

*In a cementitious material, which is drying, a moisture profile exists near its surface. This profile can be followed by measuring electrical impedance according to the method which was developed. Couples of thin copper wires are placed in the material, at various depths. Impedance is measured between the two wires of a given couple, at a given depth.*

*When hydration process is still occurring in the material, impedance measurement is able to assess the moisture gradient near the specimen surface. Under such a condition, gamma-densitometry is inefficient.*

*These two methods are efficiently applicable to specimens where cement is fully hydrated. It means*



que significa que los resultados obtenidos utilizando estos dos métodos se complementan entre sí. Sin embargo, la medida de la impedancia proporciona resultados más fidedignos.

*that the results obtained with these two methods are in good agreement. But impedance measurement gives results which are more accurate.*

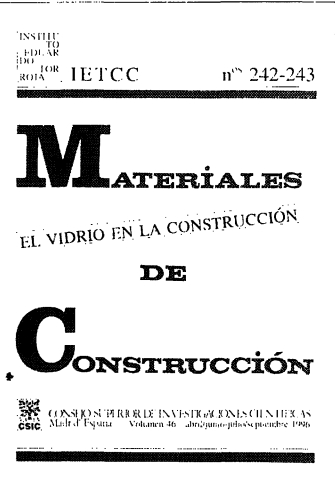
## BIBLIOGRAFÍA

- (1) P. Schiessl: Neue Sensortechnik zur Überwachung von Bauwerken. International Journal of Restoration for Buildings. VI. 2, Nº 3 (199), pp. 189-209.
- (2) F. Hunkeler: Monitoring of repaired reinforced concrete structures by means of resistivity measurements. International Conference "Repair of Concrete Structures: from Theory to Practice in a Marine Environment. Svolveaer (N.), 28-30 mayo 1997, pp. 223-232.
- (3) P. Lay, P.F. Lawrence, N.J.M. Wilkins, D.W. Williams: An A.C. impedance study of steel in concrete. Journal Applied Electrochemistry, Vol. 15 (1985), pp. 755-766.
- (4) R. Mensi, P. Acker, A. Attolou: Séchage du béton: analyse et modélisation. Materials and Structures Nº 21 (1988), pp. 3-12.
- (5) B. Miao: Effets mécaniques dus au rétrait de dessiccation du béton. Thèse Doctorat ENPC, Paris, 1989, 142 p.
- (6) O. Francy, R. Fraçois: Use of impedance spectroscopy to characterize ionic diffusion in saturated mortars. Conf. Science des matériaux et propriétés des bétons. Premières Rencontres Internationales, Toulouse, 5 - 6, marzo 1998.

\*\*\*

## Publicaciones del Instituto Eduardo Torroja - CSIC

### Número monográfico de MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

|   |  |
|---|--|
|  <p>ISSN 1134-2433<br/>REVISTA DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS<br/>CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS<br/>Madrid-España - Volumen 46 - abrigano-primavera 1996</p>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Procesos de alteración de las vidrieras medievales. Estudio y tratamientos de protección. (<i>Alteration processes of medieval stained glass windows. Study and protection treatments</i>). J. M<sup>o</sup> Fernández Navarro.</li> <li>- El efecto de la corrosión en vidrieras coloreadas. (<i>The effect of corrosion of stained glass windows</i>). J. Leissner.</li> <li>- Formulación de vidrios absorbentes del calor. (<i>Formulation of heat absorbing glasses</i>). P. Álvarez-Casariago y P. Mazón.</li> <li>- Dimensionamiento de placas de acristalamiento para edificios mediante un modelo probabilístico de rotura. (<i>A probabilistic model for failure design of glass plates in building</i>). A. Fernández Canteli, I. Viña y A. Bernardo Sánchez.</li> <li>- Caracterización de fibras en forma de lana de roca para aislamiento obtenidas a partir de basaltos canarios. (<i>Characterization of fibers as rockwool for insulation obtained from canary islands basalts</i>). J. M. Cáceres, J. E. García Hernández y J. M<sup>o</sup> Rincón.</li> <li>- El GRC: Material compuesto de matriz inorgánica reforzado con fibras de vidrio AR. (<i>GRC: Composite material from an inorganic matrix reinforced with ar glass fibres</i>). P. I. Comino.</li> <li>- Los materiales vitrocerámicos en la construcción. (<i>Glass-ceramic as building materials</i>). J. M<sup>o</sup> Rincón y M. Romero.</li> <li>- Gres porcelánico: Aplicaciones arquitectónicas, procesado y propiedades físico-mecánicas. (<i>Porcelainized stoneware: Architectural, processing and physico-mechanical properties</i>). T. Manfredini, M. Romagnoli y J. M<sup>o</sup> Rincón.</li> </ul> |
| <p><b>EL VIDRIO EN LA CONSTRUCCIÓN</b><br/>(n<sup>os</sup> 242-243)</p> <p><b>Venta de ejemplares:</b> distribución de Publicaciones<br/>Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja<br/>c/Serrano Galvache, s/n - 28033 Madrid<br/>Tfno. (91)302.04.40 - Fax: (91)302.07.00</p> |  |