

BREVES NOTAS HISTÓRICAS

C. Andrade¹

¹International Center for Numerical Methods in Engineering. CIMNE. UPC, Spain.

candrade@cimne.upc.edu

RESUMEN

Los aniversarios son una buena excusa para hacer algunos resúmenes de eventos históricos. Muy brevemente, se resumen algunos avances realizados a partir de la investigación inicial en la especialidad de la corrosión por armadura que comenzó en los años 60. El uso de técnicas electroquímicas fue un hito que permitió, desde la década de 1970, estudiar el efecto de cada variable con mucho más rigor. Los estudios sobre la vida útil comenzaron en la década de 1980, aunque no fueron de interés general hasta la próxima década. A partir de 1990 los Comités RILEM y el Programa Iberoamericano de Corrosión de CYTED ampliaron el conocimiento de manera tan amplia que en el siglo XXI el tema atrae mucho interés de investigación.

Palabras clave: técnicas electroquímicas; vida de servicio; corrosión; reforzamiento.

BRIEF HISTORICAL NOTES

ABSTRACT

Anniversaries are a good excuse to make some summaries of historical events. Very briefly, some advances made from the initial research in the speciality of reinforcement corrosion which started in the 60's are summarized. The use of electrochemical techniques was a milestone which enabled, from the decade of the 1970, to study the effect of each variable with much more rigour. The studies on service life started in the decade of 1980, although they were not of general interest until the next decade. From 1990 RILEM Committees and the Iberoamerican Program on Corrosion of CYTED extended the knowledge so widely that in the XXI century the subject attracts much research interest.

Keywords: electrochemical techniques; service life; corrosion; reinforcement.

BREVE NOTAS HISTÓRICAS

RESUMO

Aniversários são uma boa desculpa para fazer alguns resumos de eventos históricos. Muito brevemente, alguns avanços da pesquisa inicial na especialidade de corrosão de reforço que começou nos anos 60 estão resumidos. O uso de técnicas eletroquímicas foi um marco que permitiu, a partir da década de 1970, estudar o efeito de cada variável com muito mais rigor. Os estudos sobre vida de serviço começaram na década de 1980, embora não fossem de interesse geral até a década seguinte. A partir de 1990, os Comitês RILEM e o Programa Ibero-americano de Corrosão de CYTED ampliaram o conhecimento de forma tão ampla que, no século XXI, o assunto atraiu muito interesse de pesquisa.

Palavras-chave: técnicas eletroquímicas; vida de serviço; corrosão; reforço.

1. INTRODUCCIÓN

La corrosión de la armadura es en la actualidad uno de los temas en los que se invierte mayor número de recursos para investigar y también es reconocido como el principal problema para la durabilidad del hormigón. Dado que he vivido el desarrollo de su investigación desde los inicios, hare primero un muy breve recuento de algunos hitos de su investigación de forma secuencial histórica antes de desarrollar el tema con el que contribuyó a este número especial.

2. INVESTIGACIONES HASTA 1980

Cuando comencé mis investigaciones a sugerencia de José Calleja en el instituto “Eduardo Torroja” de la Construcción y del Cemento, no había más de unas 30 citas en toda la bibliografía que consulté (Gouda and Monfore, 1965; Stratfull, 1964; Cigna et al, 1966). Su sugerencia vino porque habían detectado corrosiones debido al uso del CaCl_2 para acelerar el fraguado. del hormigón. La corrosión de armaduras era una materia de interés completamente marginal en la década de 1960-70 ya que entonces todavía el parque construido era muy limitado. En mi Tesina y en mi tesis (Hausmann, 1964) estudié un total de 8 cementos con adiciones de CaCl_2 y de NaNO_2 , este último como posible inhibidor de la corrosión, fabricando viguetas pretensadas de 2m de longitud con 6 alambres embebidos. Los resultados mostraron claramente el efecto corrosivo del CaCl_2 y la capacidad inhibidora del Nitrito. Para medir la corrosión se aplicó por primera vez en hormigón la técnica no destructiva de medida llamada Resistencia de Polarización, lo que luego sería más tarde reconocido junto con otros resultados novedosos por la RILEM al conceder a la autora la Medalla Robert L’Hermite.

En la figura 1 se muestran las probetas y viguetas utilizadas en la tesis de la autora, como curiosidad, se muestran en la parte derecha los aparatos utilizados para las medidas durante la tesis, uno de los cuales ya se había utilizado en la tesina y otro, el galvanostato señalado con una G en la fotografía, fue fabricado por Jose M^a Tobio del IETcc con los planos cedidos por Sebastián Feliú del CENIM que es quien había sugerido utilizar la Rp que era una muy novedosa técnica de medida.

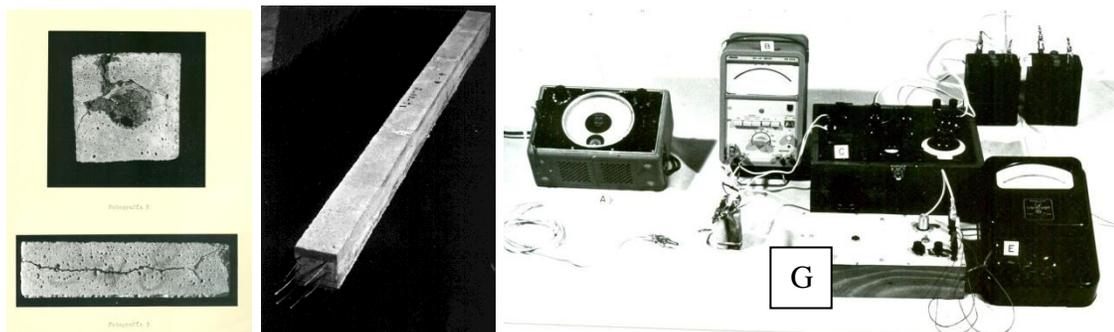


Figura 1. Probetas corroídas usadas durante la tesina de la autora y la vigueta fabricada en la tesis Doctoral (Hausmann, 1964) presentada el año 1973 en la Universidad Complutense de Madrid.

Aparatos utilizados en la tesis doctoral (Andrade, 1973)

Las técnicas que se habían aplicado hasta ese momento para estudiar la corrosión de la armadura eran de tipo acelerado, fundamentalmente curvas de polarización (Gouda and Monfore, 1965) que se plasmaron en un ensayo potencioestático propuesto por Kaesche y Baümel (Andrade, 1970; Andrade, 1978) posteriormente normalizado por DIN y por el CEN para la detección de sustancias corrosivas en los aditivos del hormigón.

Destacan en esos años también los trabajos de Hausmann (Andrade, 1978) que establece la relación crítica de cloruros con respecto al pH del hormigón en un valor de $\text{Cl}/\text{OH}=0.6$. Valor que se ha

mantenido como válido hasta nuestros días. También los trabajos de Gouda (Gouda and Monfore, 1965) y de Treadaway (Kaesche, 1959) todos sobre técnicas electroquímicas para detectar la corrosividad de los aditivos y la protección de los inhibidores.

3. DÉCADAS DE 1980-2000

El empleo de técnicas electroquímicas supuso un hito fundamental que permitió, (Baumel, 1959) a partir de 1970, abordar los estudios con mucho más rigor sobre el efecto de cada variable. Así se empezaron a estudiar los efectos de la carbonatación (González, Algaba and Andrade, 1980) y los posibles métodos para evitar la corrosión, fundamentalmente la galvanización en caliente, los inhibidores, los recubrimientos epoxi para las armaduras y la protección catódica.

Es sin embargo en la década de 1980 cuando se abordó el cálculo de vida útil, que no fue objeto de atención general hasta la de 1990. Así K. Tuutti publica su tesis doctoral (González, Algaba and Andrade, 1980) en 1982 con el diagrama que se muestra en la figura 3 y que ha articulado todos los estudios posteriores. La figura 3 también muestra a K. Tuutti durante una reunión del Comité de Rilem 60-CSC- “Corrosion of Steel in concrete” (Tuutti, 1982). Tanto este comité como otros posteriores, así como el Subprograma “Durar” de CYTED (Schiessl, 1988) y la publicación de Page y Treadaway en Nature (Page and Treadaway, 1982) supusieron una divulgación del problema en sus aspectos básicos que contribuyeron notablemente a la multiplicación de congresos y publicaciones.

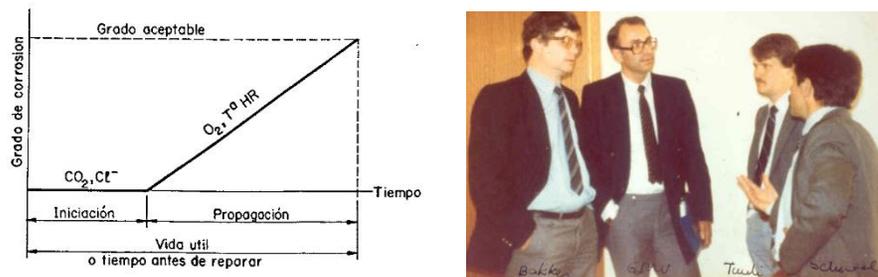


Figura 3. Izquierda: diagrama de vida útil de Tuutti. Derecha: de izquierda a derecha Rob Bakker (Holanda), O. Gjorv (Noruega), K. Tuutti (Suecia) y P. Schiessl (Alemania).

Durante la década de 1990 se producen enormes avances en el conocimiento básico, entre los que se puede mencionar la posibilidad de medida in situ (corrosímetro GECOR que permite medir en obra mediante el confinamiento de la corriente (Page and Treadaway, 1982) (figura 4), la práctica de protección catódica tanto en estructuras nuevas (Feliú et al, 1990) como ya deterioradas, y la detección de problemas con los recubrimientos epoxi (Lazzari and Pedferri, 2006).

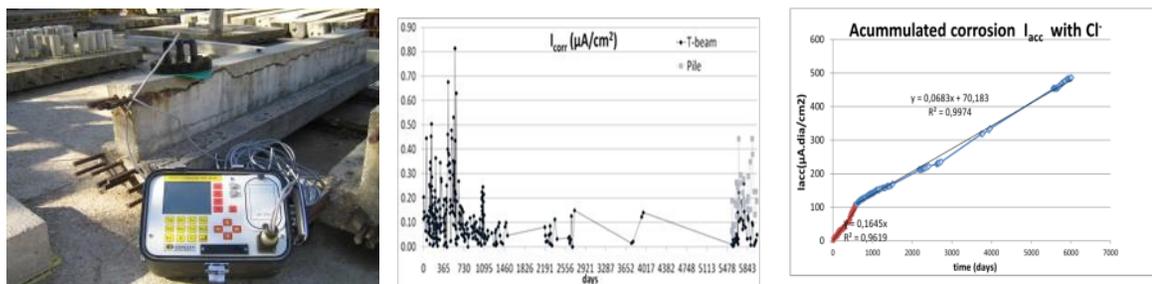


Figura 4. Aspecto del corrosímetro portátil Gecor 08 y medidas de velocidad instantánea de corrosión tomadas en la viga de la figura así como el cálculo de la penetración de la corrosión (corrosión acumulada) a partir de la integración en el tiempo de esas medidas.

En esos años RILEM establece varios comités, tanto sobre las técnicas de medida (TC-154), como sobre los modelos basados en la difusión de cloruros y carbonatación (TC-178 y TC-213). A este respecto hay que señalar la contribución de D. Whiting proponiendo en los años 80 reducir la duración del ensayo de resistencia a los cloruros (Sagüés et al, 2001) mediante la aplicación de una diferencia de potencial al hormigón. Esos trabajos dieron lugar a un intensísimo debate que desembocó en el trabajo (Whiting, 1981) que permitió sentar las bases teóricas de la difusión de los cloruros y de su migración mediante campos eléctricos, que luego han dado lugar a la profusión de modelos numéricos sobre vida útil del hormigón.

4. DESDE 2000 HASTA LA ACTUALIDAD

Lo más destacable en estos años se puede resumir en el trabajo realizado en el proyecto DURAR (Andrade, 1993) en cuanto a la divulgación de los principios básicos. El Manual CONTECVET (CONTECVET IN30902I, 2001) en el que se plantea como calcular la capacidad estructural residual cuando las estructuras están corroídas y el tratamiento probabilista de los modelos y cálculo de la vida útil, de los que se puede mencionar a modo de resumen todo el trabajo realizado en el proyecto DURACRETE (DURACRETE, 2000) que ha desembocado en la incorporación de la Model Code del fib del tratamiento probabilista de la durabilidad.

Un área en la que se ha desarrollado mucha tecnología es la relativa a los métodos de reparación, dado el creciente número de estructuras que han tenido que ser reparadas. Sin embargo, a pasar de que en este ya siglo XXI, la corrosión de la armadura es una de las áreas que atrae constantemente el interés investigador, quedan muchos aspectos que clarificar, sobre todo en la eficacia de las reparaciones y en la calibración de los modelos de vida útil.

5. REFERENCIAS

- Andrade, C. (1970), *Aportación al estudio de la corrosión de armaduras en el hormigón armado*. Tesina de licenciatura, Universidad Complutense. Facultad de Químicas, Madrid, Julio.
- Andrade, C. (1973), *Nueva técnica electroquímica de medida de la corrosión de armaduras en hormigones armados y pretensados. Empleo de aditivos inhibidores como método de protección*. Universidad Complutense, Facultad de Químicas – Junio.
- Andrade, C. and González, J. A. (1978), *Quantitative measurements of corrosion rate of reinforcing steels embedded in concrete using polarization resistance measurements*, Materials and Corrosion, 29 (8), pp. 515. <https://doi.org/10.1002/maco.19780290804>
- Andrade, C. (1993), *Calculation of chloride diffusion-coefficients in concrete from ionic migration measurements*. Cement and Concrete Research 23 (3), pp. 724-742. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(93\)90023-3](https://doi.org/10.1016/0008-8846(93)90023-3)
- Baumel, A. (1959), *The effect of additives on the corrosion behaviour of steel in concrete*, Zement-Kalk-Gips, July, no.7 pp 294.
- Cigna, R., Maraghini, M., Schippa, G. (1966), *Effeto del contenuto di Ca_2Cl sul comportamento dei ferri affogati in malte cementizie*. L'Industria italiana del Cemento Marzo, p 139.
- CONTECVET IN30902I (2001) “*A validated user’s manual for assessing the residual life of concrete structures*”, DG Enterprise, CEC, (The manual for assessing reinforced structures affected by reinforcement corrosion can be seen at the web sites of IETcc (www.ietcc.csic.es) and GEOCISA (www.geocisa.es))
- DURACRETE. (2000), *Probabilistic performance based on durability design of concrete structures. EU-Brite EuRam Project BE95-1347*. A number of reports available from CUR Centre for Civil Engineering Research and Codes, Gouda, The Netherlands.

- Feliú, S., González, J. A., Feliú Jr., S., Andrade, C. (1990), "*Confinement of the electrical signal or in-situ measurement of Polarization Resistance in Reinforced concrete*," ACI Materials Journal. 87(5), pp. 457-460.
- González, J. A., Algaba, S., Andrade, C. (1980), *Corrosion of reinforcing bars in carbonated concrete*, British Corrosion Journal, 3 135-139.
- Gouda, V. K., Monfore, G. E. (1965), *A rapid method for studying corrosion inhibition of steel in concrete*, Journal Portland Cement Association, Septiembre, n° 3, 24.
- Hausmann, D. A. (1964), "*Electrochemical behaviour of steel in concrete*", Journal A. C. I., 171.
- Kaesche, H. (1959) *Testing corrosion danger of steel reinforcement due to admixtures in concrete*, Zement-Kalk-Gips, July, no.7 pp 289.
- Lazzari, L., Pedferri, P. (2006), *Cathodic Protection*, Milano: Polipress.
- Page, C. L., Treadaway, K. W. J. (1982), *Aspects of the electrochemistry of steel in concrete*. Narute 297 No. 5862, 109-115. <https://doi.org/10.1038/297109a0>
- Sagüés, A. A., Powers, R. G., Kessler, R. (2001) "*Corrosion Performance of Epoxy-Coated Rebar in Florida Keys Bridges*," NACE International. CORROSION 2001, 11-16 March, Houston, Texas. ID: NACE-01642
- Schiess, P. (1988) *Corrosion of steel in concrete: report of the Technical Committee 60 CSC, RILEM (the International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures)*, London, New York, Chapman and Hall.
- Stratfull, R.F. (1964), *Effect of reinforced concrete in ClNa and SO₄Na₂ environments*. Materials Protection, Dic, p 75.
- Tuutti, K. (1982), "*Corrosion of steel in concrete*", Swedish Cement and Concrete Institute (CBI) n° 4-82. Stockholm.
- Whiting, D. 1981, "*Rapid determination of the chloride permeability of concrete*", Federal Highway Administration, Report FHWA/RD-81/119.