

Corrosión acelerada por inmersión modificada de estructuras concreto armado que contienen ceniza de cáscara de arroz y agua extraída de yuca amarga

Eduarda Carlesso Trindade¹, Silvia M. Tamborim², Luis E. G. Armas¹

¹ Universidade Federal do Pampa-Campus Alegrete, Av. Tiarajú 810 Bairro Ibirapuitã, Alegrete- RS, Brazil ²

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul- UFRGS, CP 15051, Porto Alegre, RS, Brazil

Recibido el 26 de mayo del 2025. Aceptado el 15 de junio del 2025. Publicado el 3 de julio del 2025

<https://doi.org/10.33017/RevECIPeru2025.0005/>

Resumen

El uso de concreto de cemento como material estructural ha ido acorde a la evolución de la sociedad, que demanda materiales de mayor calidad, especialmente en cuanto a durabilidad frente a ataques químicos. En este sentido, el uso de sílicio procedente de la quema de cáscara de arroz (CCA) ha resultado interesante. Mejora la calidad del concreto debido a los siguientes efectos: físicos – las partículas rellenan los huecos entre los granos de cemento, aumentando la cohesión de la zona de transición, y químicos (reacción pozolánica) – debido a la alta reactividad de este material, que se combina con el hidróxido de calcio para formar silicato de calcio hidratado (CSH). De la misma forma, el residuo líquido resultante del prensado de la pulpa amarga de la yuca durante el proceso de producción de harina, produce un efluente muy dañino para el medio ambiente, causando gran impacto si se vierte en cuerpos receptores o directamente en el suelo. Lo que puede provocar contaminación de personas y animales debido al gran volumen de cianuro. Por lo que es necesario darle un destino ambientalmente, correcto. De acuerdo a lo expuesto en este trabajo se propone usar la ceniza de CA (CCA) y agua de yuca amarga (AYA) como refuerzo para mejorar las propiedades anticorrosivas de concreto armado. Para cumplir con este objetivo fueron fabricados cuerpos de prueba (CPs) prismáticos, los cuales fueron sometidos al ensayo de corrosión acelerada por inmersión modificada (CAIM). Los CPs fueron colocados dentro de acuarios de vidrio templado que contenían una solución de NaCl 30g/L (que simula agua de mar) para la aplicación continua de voltajes de 15, 30 y 70 V durante un tiempo de 8 y 24 h. De acuerdo con las variantes de análisis (relación agua/cemento, voltaje aplicado, tiempo de inmersión y tipo de aditivo), se registraron bajas corrientes y baja pérdida de masa en los CPs que contenían CCA y AYA. En este sentido, la CCA es una buena alternativa de ser incluida en el sector de la construcción civil debido a su alto valor de resistencia mecánica (25Mpa) y también a su resistencia a la corrosión.

Descriptor: Corrosión, hormigón, ceniza de cáscara de arroz, yuca amarga

Abstract

The use of cement concrete as a structural material has kept pace with the evolution of society, which demands higher-quality materials, especially in terms of durability against chemical attacks. In this regard, the use of silica from rice husk burning (CCA) has proven interesting. It improves concrete quality due to the following effects: physical—the particles fill the gaps between the cement grains, increasing the cohesion of the transition zone; and chemical (pozzolanic reaction)—due to the high reactivity of this material, which combines with calcium hydroxide to form hydrated calcium silicate (CSH). Similarly, the liquid residue resulting from the pressing of wild cassava pulp during the flour production process produces an effluent that is highly harmful to the environment, causing significant impact if dumped into receiving bodies or directly into the ground. This can lead to contamination of people and animals due to the large volume of cyanide. Therefore, it is necessary to give it an environmentally appropriate destination. Based on the information presented in this work, it is proposed to use rice husk burning (CCA) and wild cassava (AYA) as reinforcement to improve the anticorrosive properties of

reinforced concrete. To meet this objective, prismatic test bodies (CPs) were manufactured and subjected to modified immersion accelerated corrosion testing (CAIM). The CPs were placed inside tempered glass aquaria containing a 30 g/L NaCl solution (simulating seawater) for continuous application of voltages of 15, 30, and 70 V for 8 and 24 h. According to the analysis variants (water/cement ratio, applied voltage, immersion time, and additive type), low currents and low mass loss were recorded in the PTs containing CCA and AYA. In this sense, CCA is a good alternative to be included in the civil construction sector due to its high mechanical resistance value (25MPa) and also its resistance to corrosion.

Keywords: *Corrosion, concrete, rice husk ash, wild cassava*

1. Introducción

Varios estudios demuestran que la corrosión de las armaduras de hormigón es una incidencia elevada en las construcciones y, en la mayoría de los casos, causa los mayores problemas, tanto a nivel de costo como de seguridad. El hormigón y el acero son materiales muy compatibles, presentando coeficientes de expansión térmica y valores de afinidad química cercanos. Además, el hormigón, por su característica de alcalinidad, protege el acero de procesos corrosivos. La mayor o menor relación agua/cemento, al producir hormigones más o menos porosos, genera mayor o menor susceptibilidad a la corrosión, respectivamente [4]. Un buen proceso de cura también mejora la capacidad anticorrosión del sistema de hormigón/refuerzo. Además de estos factores, el hormigón que presenta grietas o tiene alcalinidad reducida también presenta mayor susceptibilidad a la corrosión [4]. Considerando que las agroindustrias, producen grandes cantidades de cascara de arroz (CCA), las cuales muchas veces contaminan el ambiente al ser quemadas. Estos residuos de la quema de CA producen una grande cantidad de sílica (SiO_2), la cual puede ser utilizada satisfactoriamente en la producción de materiales para la construcción civil debido a sus propiedades pozolánicas [2]. El residuo líquido resultante del prensado de la pulpa amarga de la yuca en el proceso de producción de harina produce un efluente muy dañino para el medio ambiente, causado gran impacto si se vierte en cuerpos receptores o directamente en el suelo, lo que puede provocar contaminación de personas y animales debido al gran volumen de cianuro. Los destinos indicados, generalmente se trata de fertirrigación directa en cultivos y pastos, o acondicionamiento total en laguna para decantación y evaporación, sin embargo muchos molinos harineros desechan este efluente directamente en el suelo sin ningún tratamiento. Con la creciente búsqueda de reutilización de materiales en la industria de la construcción, como cenizas de cáscara de arroz, desechos de demolición en construcción civil,

tereftalato de polietileno (PET). En este trabajo se muestra una comparación del proceso de corrosión acelerada, por resistencia a la corrosión por inmersión, de concreto en presencia de ceniza de cáscara de arroz (CCA) y agua extraída de yuca silvestre. En este contexto, la CCA y el agua extraída de yuca amarga (AYA) resultan ser buenas alternativas para disminuir la corrosión acelerada por inmersión, mejorando desta manera la resistencia mecánica a la corrosión.

2. Metodología

Los materiales utilizados en este trabajo y sus respectivas cantidades se muestran en la Tabla 1 a continuación. Las probetas de ensayo (CP) se hormigonaron en cajas de madera de 10 x 10 x 20 cm que contenían una barra de acero de 15 cm, la cual tenía un alambre de cobre de aproximadamente 20 cm de largo enrollado alrededor de la CP. Se utilizó una relación a/c (relación agua/cemento) de 0,5 para obtener una resistencia de 25 MPa después de 28 días de curado para todos los cps. El agua de amasado utilizada en CP/referencia, CP/plastificante y CP/ceniza de cáscara de arroz proviene del suministro local, el agua de amasado utilizada en CP/agua de yuca amarga y CP/agua de yuca amarga y ceniza de arroz proviene del prensado de la yuca amarga y la sílice de la ceniza de cáscara de arroz utilizada proviene de un proceso de quema de la cáscara de arroz en un horno de mufla a 600°C durante 6 horas. Para asegurar que los hormigones tuvieran cierta similitud, se estableció como parámetro de control que el ensayo de asentamiento de las mezclas frescas fuera de 120 mm $\pm$ 20 mm y un contenido de mortero de 52%. Después de curar las muestras, 28 días, las muestras fueron probadas utilizando la representación esquemática a continuación (Fig. 1). El ensayo de corrosión acelerada consiste en un proceso de migración iónica proporcionado mediante la inmersión de los CP en una solución de NaCl 35g/L y la aplicación de potenciales fijos (15, 30 y 70 V) durante períodos determinados (8 y 24h)

a través de una fuente de potencial, donde el polo positivo está conectado a la barra de acero en el interior del CP y el polo negativo consiste en un alambre de cobre inmerso en la solución acuosa con un área superficial equivalente a la de la barra de acero. Después de la prueba, se rompieron los CP y se quitó la barra de acero interna de cada CP y se limpió de acuerdo con ASTM A38. El análisis de la pérdida de masa de las barras de acero se estipuló por la diferencia de peso de las barras antes de hormigonar el CP y después de limpiarlas.

Tabla 1. Materiales utilizados en los cuerpos de prueba fabricados

Tipo de trazo	Cemento CP V-ARI (kg)	Arena 4,8mm (kg)	Brita 19mm (kg)	Ceniza da cascara de arroz (kg)	Plastificante (l)	Consumo de cemento/ m³ de hormigón
Referencia (R)	1	1,9	2,72	-		388kg
Plastificante (P)	1	2,2	2,88	-	84	370kg
Ceniza da cascara de arroz (CCA)	0,92	1,9	2,72	0,08		380kg
Água de yuca amarga (AYA)	1	1,9	2,72	-		388kg
Ceniza da cascara de arroz e agua da yuca amarga (CCA+AYA)	0,92	1,9	2,72	0,08		380kg

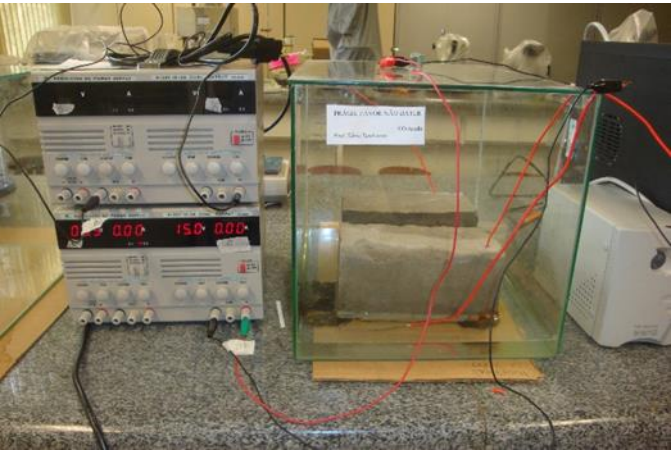


Figura 1. Representación esquemática para las de corrosión acelerada por inmersión modificada (CAIM),fuente, polo positivo en la barra de acero dentro de la muestra de hormigón armado y polo negativo en la solución de Nacl de 36 g/l

3. Resultados

El comportamiento promedio de la corriente total en función del tiempo para los diferentes CP ensayados se muestra en las Figuras 2 y 3. Se observa a 30 V 8h (Fig.2-A) y 24h (Fig.3-B) que los CP conteniendo CCA+AYA presentan los valores de corriente más bajos en relación a los demás, indicando un posible comportamiento sinérgico.

Este comportamiento sinérgico se puede atribuir a sustancias con carácter inhibitor de la corrosión en el hormigón armado como los iones carboxilato (de la yuca silvestre) [5] y los grupos silanol (de la ceniza de cascarilla de arroz) [6] de acuerdo a los espectros infrarrojos de estos materiales (Fig. 4-A y B).

Los picos a 3417 y 1083 cm-1 confirman la presencia de grupos Si-OH y Si-O en la ceniza de cáscara de arroz, respectivamente. Mientras que los picos a 3363 cm-1 y 1640 cm-1 confirman la presencia de grupos –OH y C=O en el agua extraída de la yuca amarga, respectivamente. Las pruebas realizadas a 70V (Fig.2-B), debido a su efecto joule muy intenso, no constituyeron un procedimiento confiable para un buen análisis comparativo [3].

En el proceso de migración de iones con un potencial aplicado menor de 15 V (Fig. 3-A), las corrientes más bajas ocurrieron para el agua CP extraída de la yuca.

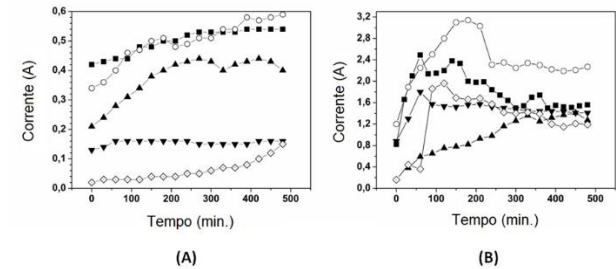


Figura 2A: Valor médio de la corriente total en función del tiempo 8h 30v para los CP. (■) R (●) CCA, (▲) P (▼) AYA y (◇) CCA+AYA. Figura 2B: Valor médio de la corriente total en función del tiempo 8h 70v para los CP. (■) R (●) CCA, (▲) P (▼) AYA y (◇) CCA+AYA.

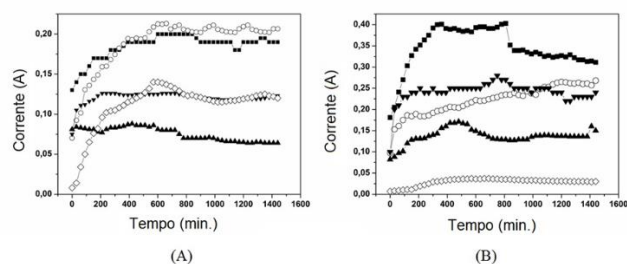


Figura 3A: Valor medio de la corriente total en función del tiempo 24h 15v para los CP. (■) R (●) CCA, (▲) P (▼) AYA y (◇) CCA+AYA. Figura 3B: Valor medio de la corriente total en función del tiempo 24h 30v para los CP. (■) R (●) CCA, (▲) P (▼) AYA y (◇) CCA+AYA.

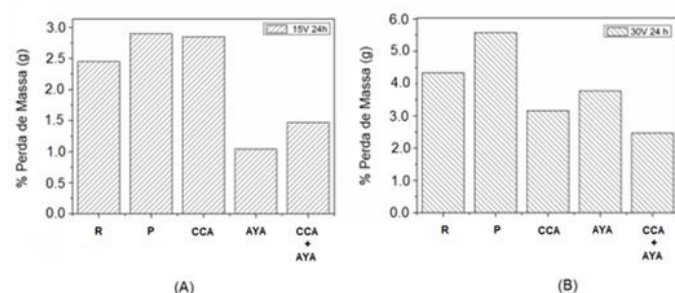


Figura 6: Resultados del porcentaje de pérdida de masa para las muestras analizadas durante 24 h (A) 15 V y (B) 30 V.

4. Conclusiones

El ensayo CAIM (corrosión acelerada por inmersión modificada) demostró ser un método comparativo eficaz para evaluar procesos corrosivos en hormigón armado. Los resultados para las muestras que contenían ceniza de cáscara de arroz y/o agua extraída de yuca silvestre mostraron corrientes más bajas en comparación con la muestra normal. La traza con agua extraída de yuca amarga mostró gran potencial de uso considerando los valores de corriente y pérdida de masa; sin embargo, se deben realizar más pruebas para colaborar con los datos obtenidos por las pruebas de corrosión acelerada.

Agradecimientos

A las empresas CAMAL y CAAL y en especial a Constructora Sotrin por los materiales brindados para la investigación y el estímulo recibido de todos los empleados.

Referencias

- [1] MEHTA, PK; MONTEIRO, P. J. M. Concreto – estructura, propiedades y materiales. 2ª ed.: São Paulo, Pini, 1994.
- [2] BOATENG, AA; SKEETE, DA; Incineración de cáscara de arroz para su uso como material cementante: la experiencia de Guyana, Cement and Concrete Research, 20, páginas 795-802, 1990
- [3] TORRES, A.S. (2006) *Avaliação da sensibilidade do Ensaio CAIM – Corrosão Acelerada por Imersão Modificada – frente ao processo de corrosão em armaduras de concreto armado*. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

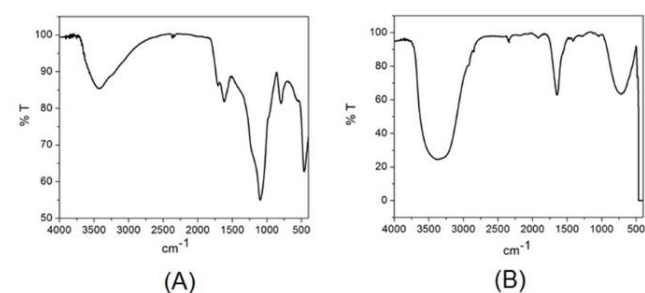


Figura 4: Espectros FTIR de la (a) CCA y (b) AYS.

La Fig. 5 muestra los análisis del porcentaje de pérdida de masa, los cuales están en concordancia con los resultados CAIM, en que se observa un comportamiento sinérgico en los ensayos realizados a 30V, debido a la menor pérdida de masa presentada, para las CP que contienen ceniza de cascarilla de arroz y agua extraída de yuca silvestre (Fig.5A y Fig.6B). Además, los datos obtenidos a 70 V también demuestran la presencia del efecto joule en los datos de pérdida de masa (Fig.6).

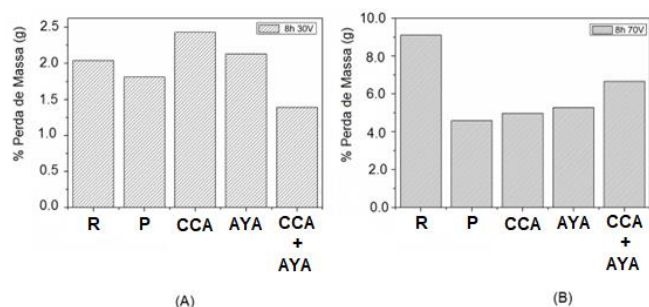


Figura 5: Resultados del porcentaje de pérdida de masa para las muestras analizadas durante 8 h (A) 30V y (B) 70V

[4] ISAIA, G. C. CONCRETO (2007), Materiais de Construção Civil e princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. Volume 1 e Volume 2. Rio de Janeiro, IBRACON
Mehta, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. (1994), Concreto – estrutura, propriedades e materiais. 2. ed.: São Paulo, Pini.

[5] Ormellese M.; Lazzari L.; Goidanich, S.; Fumagalli, G.; Brenna, A. 2009
[6] Tittarelli F., Moriconi G. 2010