

III Jornadas sobre Tecnología de Recubrimientos

Nuevas tendencias en materiales, superficies e interfaces

La Plata, 24 y 25 de abril de 2025.

RESUMEN

Efectos de la superhidrofobicidad en la resistencia a la erosión en recubrimientos antifouling usando nanorefuerzos minerales vía sol-gel

J.F. Uicich^(a), M. Luong^(a), P.E. Montemartini^(a), M.E. Penoff^{(a)*}

^(a)Compuestos Estructurales Termorrígidos (CET), INTEMA-CONICET, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina

*Autor de correspondencia: elisabeth@fi.mdp.edu.ar

El desgaste erosivo generado por corrientes de flujo de líquidos con contenidos de partículas abrasivas, denominados “lodos”, típicamente corrientes de agua con arenas, es un problema tecnológico que afecta el desempeño de superficies funcionales, especialmente las superhidrofóbicas (SHF), al punto de imposibilitar su uso en aplicaciones fuertemente demandadas. En la década del 2000, las superficies SHF mostraron un gran auge y desde entonces su dominio fue creciente. Sin embargo la propiedad SHF es muy sensible a la integridad de la micro y nanoestructura superficial y cuando se altera, la SHF y sus propiedades asociadas (autolimpieza, deslizamiento, antifouling, etc.) disminuyen radicalmente. En las últimas décadas los esfuerzos se concentraron en lograr superficies SHF robustas para extender su aplicación a aquellas áreas tecnológicas de gran impacto donde las condiciones de servicio resultan prohibitivamente agresivas (Verho et.al., 2011). Ejemplos de tales aplicaciones incluyen: industria aeronáutica, aeroespacial, energía, construcción, naval, entre otras. En los casos naval y energético (puntualmente transporte de gas y petróleo), es típico que un material requiera propiedades antiincrustantes (antifouling) y autolimpiantes y sea simultáneamente sometido a flujos de lodos erosivos (Gallardo et. al., 2023). En especial las parafinas y ceras en estas corrientes cristalizan y tapan las cañerías (fouling).

En este trabajo se prepararon recubrimientos a base de resinas epoxi y refuerzos minerales de nanoarcillas con estructura tridimensional (tubos huecos de Halloysita) y unidimensional (fibras de Sepiolita). Se emplearon como modificadores funcionales dos silanos: uno con cadena fluorada (sF), otro análogo con cadena hidrocarbonada (sH) y se integraron químicamente mediante la técnica sol-gel. Se exploraron distintas rutas de obtención: resina como *primer* o integrada en la



mezcla, curado en mezcla masiva o mediante la técnica aerográfica, seguido de un postcurado. Se estudiaron las propiedades superficiales focalizando la mojabilidad, capacidad antifouling, autolimpiante de parafinas de campo cristalizables y resistencia a la erosión. Estas últimas se estudiaron en equipos desarrollados en nuestros laboratorios. Además de resultar exitoso el desarrollo de superficies SHF (Figura 1 a-d) y antifouling/autolimpiante (Tabla 1) mediante las técnicas exploradas, se encontró una clara correspondencia entre el grado de mojabilidad y la resistencia a la erosión (Figura 1e).

Tabla 1. Resultados de ensayos antifouling de recubrimientos de matriz epoxi en términos del área cubierta por una parafina cristalizable. Preparación: en masa; modificador: sF.

Material		Adhesión inicial (fouling)	Luego de la remoción (limpieza)	
Refuerzo	Contenido (%)	Área cubierta (%)	Área cubierta (%)	Porcentaje de cambio en % de área
-	0	48,3	47,5	2
Halloysita	5	22,1	16,7	24
Halloysita	10	16,0	10,8	33
Sepiolita	5	27,9	22,2	20
Sepiolita	10	27,9	23	18

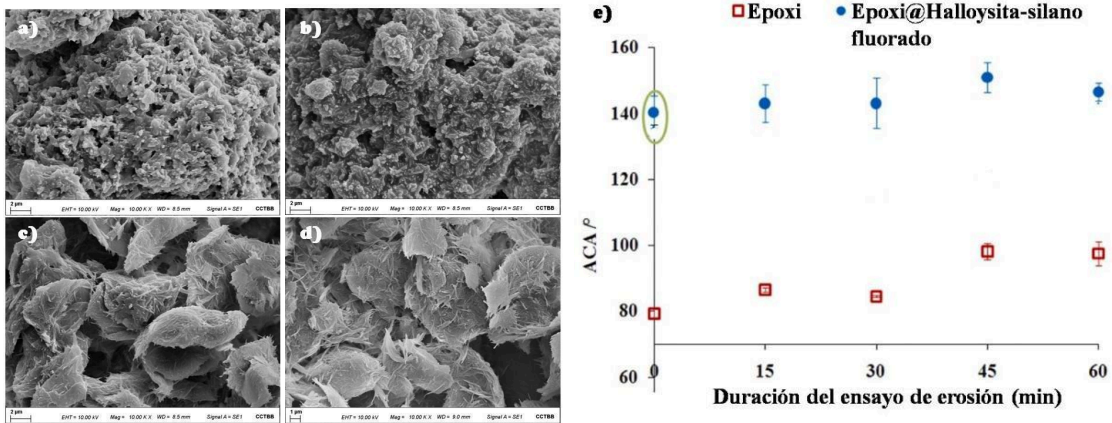


Figura 1. A la izquierda, micrografías electrónicas de barrido (SEM) de recubrimientos obtenidos por aerografía de refuerzos mezclados con resina epoxi de a) Halloysita con sH; b) Halloysita con sF; c) Sepiolita con sH, d) Sepiolita con sF. A la derecha, la imagen e) compara los ángulos de contacto de avance (ACA) usando agua desionizada, del recubrimiento que emplea epoxi como *primer* y Hallosita con sF por aerografía, en función de los minutos de duración de un ensayo de erosión por flujo de lodos. La mojabilidad se mantiene baja (altos ACA) en los materiales modificados con los refuerzos, mostrando resistencia a la erosión.

Se propuso un mecanismo de resistencia erosiva basada en la condición de deslizamiento en la interfaz líquido-sólido y los patrones hidrodinámicos a los que puede dar lugar (Figura 2).

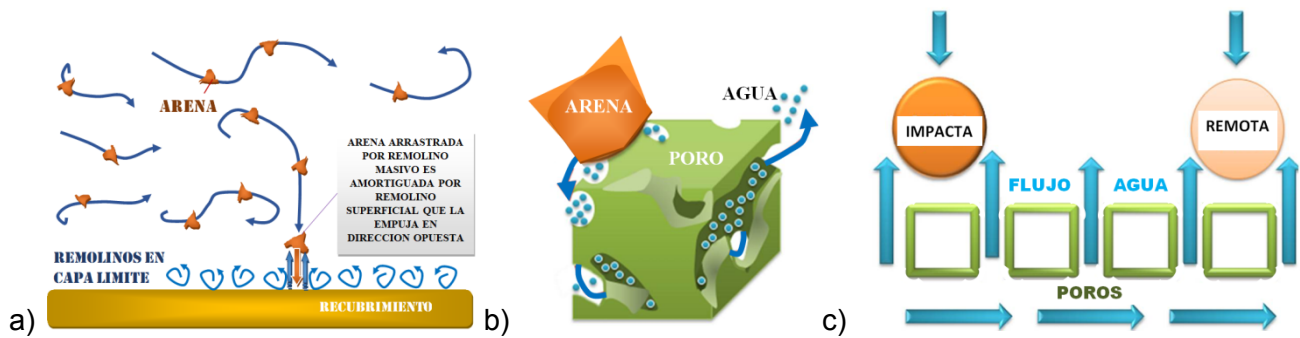


Figura 2. Las partículas de arena son arrastradas en el seno de la corriente; a) En cercanías de la interfaz, en una superficie SHF se pueden generar remolinos debido a la condición de deslizamiento y estos pueden contrarrestar la velocidad de impacto; b) la porosidad del recubrimiento admite la presencia de corrientes internas en el material debido al acercamiento de una partícula; c) el mecanismo de amortiguación se activa para satisfacer el balance de masa debido al flujo en el poro, aún en una partícula remota.

Palabras clave: superhidrofobicidad, erosión, antifouling, autolimpiante, sol-gel

Modalidad: ORAL

Referencias

- Gallardo, L., Montemartini, P. E. y Penoff, M. E. (2023). Enhanced slurry erosion resistance of low friction and highly hydrophobic halloysite-fluoro-polysilsesquioxane coatings. *Wear*, 526-527(204875). <https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.204875>
- Verho, T., Bower, Ch., Andrew, P., Franssila, S., Ikkala, O. y Ras, R. H. A. (2011). Mechanically Durable Superhydrophobic Surfaces. *Advanced Materials*, 23(5), 673-678. <https://doi.org/10.1002/adma.201003129>